

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Análisis de las propiedades volumétricas y mecánicas
para el diseño balanceado de mezclas porosas con
optimización de la capacidad infiltración,
Huancayo 2022**

Richard Julio Romero Gente

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

DEDICATORIA

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi hijo, por entender que, durante el desarrollo de esta tesis, fue necesario sacrificar situaciones y momentos a su lado para así poder completar exitosamente mi trabajo académico. Agradezco cada una de tus sonrisas y tus muestras de cariño hacia mí. Todos mis esfuerzos han valido la pena porque has estado a mi lado, iluminándome con tu amor. Estoy muy orgulloso de ser tu padre.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, docentes y compañeros que creyeron en mí, y me acompañaron en este complejo camino con la culminación de este estudio.

ÍNDICE

PORTADA	1
DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE	4
LISTA DE TABLAS	7
LISTA DE FIGURAS	9
RESUMEN.....	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	18
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	18
1.3. OBJETIVO GENERAL.....	18
1.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	19
1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	19
1.4.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	19
1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	19
1.4.4. IMPORTANCIA	20
1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
1.5.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL.....	20
1.5.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL	20
1.5.3. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL.....	20
1.6. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES	21
1.6.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	21
1.6.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	21
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	22

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	22
2.1.1. ANTECEDENTES NACIONALES	22
2.1.2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	25
2.2. BASES TEÓRICAS	28
2.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO PERMEABLE	28
2.2.2. APLICACIONES.....	32
2.2.3. TIPOS DE ESTRUCTURAS POR CAPAS.....	32
2.2.4. GRADO DE PERMEABILIDAD	33
2.2.5. MANTENIMIENTO	34
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	35
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
3.1. MÉTODOS Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
3.1.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	36
3.1.2. NIVEL	36
3.1.3. TIPO	37
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	37
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	37
3.3.1. POBLACIÓN	37
3.3.2. MUESTRA.....	38
3.3.3. MUESTREO	38
3.4. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	38
3.5. INSTRUMENTO DE ANÁLISIS DE DATOS	39
3.6. VARIABLES	39
3.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	39
3.6.2. VARIABLES DEPENDIENTES.....	39
3.7. OPERACIONALIZACIÓN	40
CAPÍTULO IV RESULTADOS	41
4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES	41

4.1.1. HUSO CAD 12 PARA MEZCLA DE AGREGADOS.....	41
4.1.2. COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA PARA HUSO CAD 12	51
4.1.3. OE 1 – INFILTRACIÓN EN LAS MEZCLAS DRENANTES PROPUESTAS.....	63
4.1.4. OE 2 – PORCENTAJE DE VACÍOS – ENSAYO DE CÁNTABRO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA DRENANTE	71
4.1.5. OE 3 – PROPIEDADES DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES	73
4.1.6. OG – APORTE ESTRUCTURAL DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES.....	79
4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	85
CONCLUSIONES.....	98
RECOMENDACIONES	102
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
ANEXOS.....	106
ANEXO 1. Panel fotográfico	106
ANEXO 2. Certificados de los ensayos realizados	121
ANEXO 3. Matriz de Consistencia.....	134

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de la variable	40
Tabla 2. Especificaciones para mezclas asfálticas drenantes CAD 12	42
Tabla 3. Análisis granulométrico por MTC E 303 – Agregado grueso de 1/2"	42
Tabla 4. Análisis granulométrico por MTC E 303 – Arena zarandeada.....	44
Tabla 5. Análisis granulométrico por MTC E 303 – Arena chancada	45
Tabla 6. Combinación granulométrica CAD 12	47
Tabla 7. Comprobación granulométrica CAD 12 - Mezcla de pasantes obtenida.....	48
Tabla 8. Pesos por malla según CAD 12 (para la elaboración de briquetas).....	50
Tabla 9. Propiedades de las briquetas de mezcla drenante al 4.5% de ligante asfáltico..	51
Tabla 10. Propiedades de las briquetas de mezcla drenante al 5.0% de ligante asfáltico	52
Tabla 11. Propiedades de las briquetas de mezcla drenante al 5.5% de ligante asfáltico	54
Tabla 12. Propiedades de las briquetas de mezcla drenante al 6% de ligante asfáltico...	55
Tabla 13. Porcentaje de vacíos en función del porcentaje asfáltico	64
Tabla 14. Permeabilidad en función del porcentaje de asfalto.....	65
Tabla 15. Densidad geométrica en seco en función del porcentaje de asfalto	68
Tabla 16. Densidad geométrica saturada en función del porcentaje de asfalto	69
Tabla 17. Porcentaje de pérdida Cántabro en seco	71
Tabla 18. Porcentaje de pérdida Cántabro tras inmersión.....	72
Tabla 19. Propiedades de la mezcla asfáltica drenante diseñada.....	74
Tabla 20. Índice de rigidez (kg/cm) en diseño de mezclas asfálticas drenantes.....	80
Tabla 21. Porcentaje de aporte estructural de la mezcla asfáltica drenante	82
Tabla 22. Aporte estructural de la mezcla asfáltica drenante	84
Tabla 23. Descriptivos - Capacidad de infiltración ante la variación de porcentaje de vacíos	85
Tabla 24. Prueba de normalidad - Capacidad de infiltración ante la variación de porcentaje de vacíos.....	87

Tabla 25. Correlación bivariada - Capacidad de infiltración ante la variación de porcentaje de vacíos.....	88
Tabla 26. Descriptivos – Porcentaje de pérdida por desgaste por Cántabro en seco ante la variación de porcentaje de vacíos.....	89
Tabla 27. Prueba de normalidad - Porcentaje de pérdida por desgaste por Cántabro en seco ante la variación de porcentaje de vacíos.....	91
Tabla 28. Correlación bivariada – Porcentaje de pérdida por desgaste por Cántabro en seco ante la variación de porcentaje de vacíos.....	93
Tabla 29. Descriptivos – Porcentaje de aporte estructural ante la variación de porcentaje de vacíos.....	94
Tabla 30. Prueba de normalidad - Porcentaje de aporte estructural ante la variación de porcentaje de vacíos	95
Tabla 31. Correlación bivariada – Porcentaje de aporte estructural ante la variación de porcentaje de vacíos	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Reflectancia en vía normal y en vía porosa respectivamente Fuente: Mezclas asfálticas drenantes Nosetti, 2020	17
Figura 2. Generación de Spray, peatonalmente intransitable. Fuente: Diario Correo, Región Huancayo.....	17
Figura 3. Orden de vacíos de aire.....	31
Figura 4. Curva granulométrica – Agregado grueso de 1/2”	43
Figura 5. Curva granulométrica – Arena zarandeada	45
Figura 6. Curva granulométrica – Arena chancada	46
Figura 7. Curva granulométrica CAD 12.....	49
Figura 8. Porcentaje de Pérdida por desgaste en seco ante variación de asfalto modificado	56
Figura 9. Porcentaje de Pérdida por desgaste tras inmersión ante variación de asfalto modificado	57
Figura 10. Porcentaje de vacíos ante variación de asfalto modificado	58
Figura 11. Peso unitario (gr/cm ²) ante variación de asfalto modificado.....	59
Figura 12. Porcentaje de vacíos de agregado mineral ante variación de asfalto modificado	60
Figura 13. Porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico ante variación de asfalto modificado	61
Figura 14. Estabilidad (kg) ante variación de asfalto modificado.....	62
Figura 15. Flujo (mm) ante variación de asfalto modificado.....	63
Figura 16. Porcentaje de vacíos (%) en función del porcentaje de asfalto (%)	64
Figura 17. Gráfica de tiempo de evacuación (seg) vs. Porcentaje de vacíos (%)	66
Figura 18. Permeabilidad (cm ³ /seg) vs. Porcentaje de vacíos (%)	67
Figura 19. Densidad geométrica en seco (cm ³ /seg) vs. Porcentaje de vacíos (%).....	69
Figura 20. Densidad geométrica saturada (cm ³ /seg) vs. Porcentaje de vacíos (%).....	70

Figura 21. Porcentaje de pérdida por Cántabro en seco (%) vs. Porcentaje de vacíos (%)	72
Figura 22. Porcentaje de pérdida por Cántabro tras inmersión (%) vs. Porcentaje de vacíos (%)	73
Figura 23. Porcentaje de vacíos de agregado mineral (%) vs. Porcentaje de vacíos (%)	75
Figura 24. Porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico (%) vs. Porcentaje de vacíos (%)	76
Figura 25. Peso unitario (gr/cm ³) vs. Porcentaje de vacíos (%)	77
Figura 26. Estabilidad (kg) vs. Porcentaje de vacíos (%)	78
Figura 27. Flujo (mm) vs. Porcentaje de vacíos (%)	79
Figura 28. Índice de rigidez (kg/cm) vs. Porcentaje de vacíos (%)	81
Figura 29. Porcentaje de aporte estructural (%) vs. Porcentaje de vacíos (%)	83
Figura 30. Diagrama de bigotes - Capacidad de infiltración ante la variación de porcentaje de vacíos	87
Figura 31. Diagrama de dispersión de puntos - Capacidad de infiltración ante la variación de porcentaje de vacíos	89
Figura 32. Diagrama de bigotes – Porcentaje de pérdida por desgaste por Cántabro en seco ante la variación de porcentaje de vacíos	92
Figura 33. Diagrama de dispersión de puntos - Porcentaje de pérdida por desgaste por Cántabro en seco ante la variación de porcentaje de vacíos	93
Figura 34. Diagrama de bigotes – Porcentaje de aporte estructural ante la variación de porcentaje de vacíos	96
Figura 35. Diagrama de dispersión de puntos - Capacidad de infiltración ante la variación de porcentaje de vacíos	97

RESUMEN

En la presente investigación, se busca determinar las propiedades volumétricas y mecánicas del diseño balanceado de mezclas porosas, para ello, se debe tener en cuenta el aporte estructural de las mezclas asfálticas drenantes para saber en qué grado se ve afectado por los vacíos que se presentan en éste tipo de mezcla, así se podrá cuantificar la resistencia y encontrar un porcentaje de ligante asfáltico modificado correcto para un diseño de mezcla asfáltica drenante óptimo.

Se realizaron varios estudios y ensayos con el propósito de cumplir con los objetivos planteados, realizando el diseño de mezclas asfálticas drenantes mediante el diseño CAD 12 para cada porcentaje de ligante asfáltico modificado con polímeros. Mediante el ensayo de permeabilidad, se obtuvieron los resultados de tiempo y volumen de evacuación, y densidad geométrica. Para medir la pérdida por desgaste se optaron por ensayos de Cántabro en seco y tras inmersión. Se determinó el aporte estructural en función de los porcentajes de vacíos obtenidos por cada porcentaje de ligante asfáltico modificado con el factor que existe entre las estabilidades obtenidas en función de la estabilidad mínima por Marshall.

Al realizar los ensayos mencionados se llegó a la conclusión de que a un 5% de ligante asfáltico modificado con polímeros se obtienen vacíos de 23%, cumpliendo con ser mayor al mínimo de 20%. Además, se obtuvo el mayor valor de aporte estructural, la capacidad de infiltración cumple con ser mayor al mínimo según la normativa Invías, las pérdidas por desgaste en seco son menores al máximo de 25% y tras inmersión son menores al 30%, por lo que para el 5% de ligante asfáltico se determinó la relación entre sus porcentajes de vacíos y su aporte estructural.

Palabras clave. Mezclas asfálticas drenantes, porcentaje de vacíos, capacidad de infiltración, resistencia al desgaste Cántabro, aporte estructural

ABSTRACT

This research seeks to determine the volumetric and mechanical properties of the balanced design of porous mixtures, for this purpose, the structural contribution of the draining asphalt mixtures must be taken into account to know to what degree it is affected by the voids that are present in this type of mixture, so that the resistance can be quantified and a correct percentage of modified asphalt binder can be found for an optimum design of the draining asphalt mixture.

Several studies and tests were carried out in order to meet the proposed objectives, designing draining asphalt mixtures by means of CAD 12 design for each percentage of polymer-modified asphalt binder. By means of the permeability test, the results of evacuation time and volume, and geometric density were obtained. To measure wear loss, dry and immersion Cantabrian tests were used. The structural contribution was determined as a function of the percentages of voids obtained for each percentage of modified asphalt binder with the factor existing between the stabilities obtained as a function of the minimum stability per Marshall.

After performing the aforementioned tests, it was concluded that at 5% of polymer-modified asphalt binder, voids of 23% were obtained, which is higher than the minimum of 20%. In addition, the highest value of structural contribution was obtained, the infiltration capacity complies with being greater than the minimum according to Invías regulations, the dry wear losses are less than the maximum of 25% and after immersion are less than 30%, so for the 5% asphalt binder, the relationship between its void percentages and its structural contribution was determined.

Key words. Asphalt mixing properties, transport temperature of asphalt mix, palm oil in asphalt mixtures, modified asphalt mixtures

INTRODUCCIÓN

Las mezclas asfálticas drenantes mejoran la problemática del agua en contacto con los pavimentos, mediante escorrentías que son producidas por intensas lluvias, por lo que al tener un elevado porcentaje de vacíos las mezclas asfálticas drenantes deben presentar un comportamiento adecuado ante otras problemáticas que puedan presentar los pavimentos, es por ello que las mezclas de asfalto drenantes están hechas de agregados gruesos, aglutinante de asfalto y relleno mineral y su alto porcentaje de vacíos de aire, es su característica principal. Para mezclas asfálticas drenantes, el porcentaje de vacíos de aire mínimo es del 20%, mientras que, para las mezclas asfálticas en caliente, no son mayores al 8%.

Las mezclas asfálticas drenantes provienen principalmente de la década de 1950, cuando se registraron sus primeros usos en diferentes estados de Estados Unidos, desde entonces han mostrado un progreso notable en áreas como diseño, desarrollo, desempeño y mantenimiento, teniendo como objetivo inicial mejorar las condiciones de fricción de la superficie de los vehículos, cuando se producía la lluvia. Diversas agencias en todo el mundo utilizan diversos nombres para referirse a estas mezclas, algunas de las cuales incluyen: mezclas asfálticas porosas, cursos de fricción permeable y cursos de fricción de grado abierto, sin embargo, existen sutiles diferencias entre ellos.

Por otro lado, los europeos introdujeron asfaltos y fibras modificados en el concepto estadounidense de cursos de fricción de grado abierto desarrollado entre 1930 y 1970 y mejoraron significativamente el rendimiento de esas mezclas. Según la revisión de la literatura la primera aplicación de las mezclas asfálticas porosas en España fue en 1980. Como resultado, las pruebas de laboratorio realizadas en la Universidad de Cantabria, como la pérdida por abrasión con máquina de Los Ángeles y la permeabilidad in situ mediante permeámetro LCS, aún se consideran a seguir como metodología para diseñar y controlar las mezclas asfálticas porosas. Mientras tanto, en 1982, Francia inició estudios para la implementación de un aglutinante asfáltico modificado novedoso utilizando una mezcla de agregado de caucho asfáltico, este ligante asfáltico mostró propiedades reológicas notables y una adecuada resistencia al envejecimiento. Después de realizar varias pruebas de rugosidad, drenaje y uniformidad, las mezclas asfálticas drenantes con ligante

asfáltico modificado mostraron un mejor desempeño, en comparación con los que utilizan ligante asfáltico puro. Otros países como Irlanda, Bélgica, Suiza, Alemania, Austria, Reino Unido, Australia, Francia, Dinamarca y los Países Bajos han informado de buenas experiencias con el uso de mezclas asfálticas drenantes.

Finalmente, la presente investigación abarcará el análisis de las propiedades volumétricas y mecánicas del diseño balanceado de mezclas porosas, para así determinar la relación entre los porcentajes de vacíos de las mezclas asfálticas drenantes y la capacidad de infiltración y aporte estructural planteado en las problemáticas que se presentan, y los análisis de ensayos de laboratorios a realizar, todo presentado para cumplir con el objetivo de la investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sector de infraestructura vial tiene representatividad en la actualidad debido a que existe una gran necesidad de investigar y mejorar las mezclas asfálticas en función a los requerimientos que contemplan los diversos contextos, se tiene como característica fundamental su construcción y el comportamiento climático al cual se expone la carpeta de rodadura asfáltica. Se presenta una problemática en relación a la exposición a intemperie al que se ve expuesta la carretera, como es, el efecto que causa la escorrentía de agua que pasa por la vía, originada por diversas fuentes como el paso de drenajes, la saturación de sistemas de evacuación de agua, lluvias torrenciales que generan acumulación de agua, fuentes pluviales al tener pasos de pequeños ríos aledaños a la vía en cuestión. Estos factores generan problemas de carácter funcional en la vía como es el riesgo de accidentes por hidroplaneo, esto debido a la pérdida de fricción entre el neumático del vehículo y la superficie del pavimento producto del agua que genera pérdida de control al volante y la pérdida visual del conductor, debido al reflejo generado por el agua acumulada en la superficie del pavimento y las luces producidas por automóviles o luminarias; también se presentan problemas a nivel sonoro al paso vehicular, debido a que el contacto con el agua aumenta la contaminación auditiva generada por el tráfico logrando incomodidad a viviendas y negocios cercanos a estas vías; posteriormente, se presenta también un problema de generación de spray, esto se define como el fenómeno que causa la lluvia al chocar con la superficie mojada generando un spray que perjudica a transeúntes que requieren moverse caminando, también lo generan los vehículos al pasar a altas velocidades sobre una superficie saturada, mojando a los transeúntes que pasan por las veredas.

La problemática descrita es ampliamente estudiada a nivel internacional proponiendo diversas alternativas de solución, enfocadas a brindar un alto nivel de serviciabilidad en ciudades importantes, como son la capital de cada potencia mundial donde se presencia altos índices de tráfico. Como modelo más cercano se tiene a la ciudad de Buenos Aires en Argentina, donde se presentaba una problemática crítica en la vía que conecta con la Universidad de La Plata. Donde según la revista “Carreteras” redactada por la Asociación de Argentina de Carreteras en el cual describe un complejo habitacional universitario con una vía rápida que en épocas de lluvia generaba una gran problemática a los residentes. En respuesta construyeron todo el tramo con una mezcla asfáltica porosa que mitigó la problemática haciendo más funcional la mezcla, pero generando un alto costo para la construcción de la vía al contemplar una capa más por encima de la carpeta de rodadura impermeable y sin asignarle ningún aporte estructural a la carpeta porosa. (Asociación Argentina de Carreteras, 2019).

Planteando un contraste a nivel nacional debido a que no existen registros ni estudios referidos a mezclas asfálticas porosas ejecutadas en algún tramo o en alguna ciudad importante, esta problemática se agrava aún más, al tener ciudades donde existen altos índices de lluvias y además no existan sistemas de drenaje suficientes. Las vías presentan problemas de carácter estructural con fallas como piel de cocodrilo y huecos producidos por el estado de saturación al que se expone a la carpeta de rodadura, conllevando a un índice de serviciabilidad pésimo porque aumenta los costos de mantenimiento rutinario, averías en los vehículos y un alto índice de accidentes producidos por todos estos agentes en conjunto. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2020).

A nivel local, la problemática se agudiza, debido a que la región de Huancayo tiene un alto índice de precipitaciones a lo largo del año, evidenciando la problemática cuando se presenta lluvias constantes y de larga duración, donde se generan grandes acumulaciones de agua en las distintas vías, haciendo imposible el transporte peatonal durante la lluvia y teniendo también que los sistemas de drenaje no se abastecen para controlar la escorrentía de agua

pluvial generada. En adición se tiene que, al no existir un factor estructural como aporte a carpeta de rodadura impermeable, se podría considerar una mezcla asfáltica costosa. Como aporte de solución es necesario realizar un análisis del aporte estructural que puede generar el pavimento poroso a la carpeta de rodadura, de esta forma optimizar los costos de producción brindando un una serviciabilidad óptima y mejorando las propiedades funcionales de la mezcla asfáltica en caliente. En la figura 1 y Figura 2 se evidencia la problemática actual.



Figura 1. Reflectancia en vía normal y en vía porosa respectivamente

Fuente: Mezclas asfálticas drenantes Nosetti, 2020



Figura 2. Generación de Spray, peatonalmente intransitable.

Fuente: Diario Correo, Región Huancayo

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo las propiedades volumétricas y mecánicas influyen para el diseño balanceado de mezclas porosas con optimización de la capacidad infiltración, Huancayo 2022?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cómo el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica drenante afecta la capacidad de infiltración de las mezclas asfálticas drenantes en el distrito de Huancayo 2022?

- ¿Cómo el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica drenante afecta a la pérdida de masa por desgaste de las mezclas asfálticas drenantes en el distrito de Huancayo 2022?

- ¿Cómo el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica drenante afecta la estabilidad y flujo de las mezclas asfálticas drenantes en el distrito de Huancayo 2022?

1.3. OBJETIVO GENERAL

Analizar cómo las propiedades volumétricas y mecánicas influyen para el diseño balanceado de mezclas porosas con optimización de la capacidad infiltración, Huancayo 2022.

1.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar cómo el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica drenante afecta la capacidad de infiltración de las mezclas asfálticas drenantes en el distrito de Huancayo 2022.

- Determinar cómo el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica drenante afecta el porcentaje de pérdida de masa por desgaste en las mezclas asfálticas drenantes en el distrito de Huancayo 2022.
- Determinar cómo el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica drenante afecta la estabilidad y flujo de las mezclas asfálticas drenantes en el distrito de Huancayo 2022.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

En este estudio se proyecta realizar un análisis del aporte estructural específico que genera la mezcla asfáltica porosa en la carpeta de rodadura con la finalidad de reducir el espesor de diseño en la vía convencional y optimizar los recursos disponibles para brindar un índice de serviciabilidad adecuado a los peatones y a los conductores que son usuarios cotidianos de las vías en la ciudad.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Esta investigación se justifica económicamente debido a que al generar un factor de ajuste en los espesores de la capa de rodadura se genera un impacto económico positivo en los estudios de viabilidad. Al mismo tiempo se ahorran gastos de mantenimiento vial al exponer una mezcla asfáltica porosa superficial que cumple con las condiciones en resistencia mecánica para tráficos pesados, además de todos los beneficios funcionales que aportan a impulsar una economía más activa en épocas de lluvia.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Esta investigación se justifica metodológicamente debido a que se cuenta con la normativa necesaria para la elaboración de mezclas asfálticas

drenantes y generar un coeficiente de ajuste para el diseño de pavimento asfáltico que cumpla con los requerimientos Marshall para vías de alto tráfico y tráfico pesado.

1.4.4. IMPORTANCIA

La importancia de la presente investigación radica en la necesidad de contar con vías que cumplan con las propiedades funcionales en la región de Huancayo. Así mismo, sobre la seguridad vial que se requiere en épocas de intensas lluvias.

1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL

Esta investigación se desarrollará en el distrito de Huancayo teniendo como delimitación espacial a configuraciones climáticas similares a los de Huancayo, debido a que se priorizará un diseño de mezcla elaborado con materiales y recursos disponibles en esta región.

1.5.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL

La delimitación temporal de la presente investigación se estima para cinco meses su desarrollo, que comprende al inicio en el planteamiento de la investigación y la obtención de toda bibliografía básica para el contraste de las hipótesis planteadas, terminando con el procesamiento de datos de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

1.5.3. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL

La delimitación conceptual de la presente investigación radica en la escasa investigación y normativa referida a mezclas asfálticas drenantes por lo cual es necesario recurrir a normativa internacional que especifique las condiciones básicas de diseño para mezclas drenantes.

1.6. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

1.6.1. HIPÓTESIS GENERAL

El porcentaje de vacíos y la capacidad estructural influyen en mayor medida para el diseño balanceado de mezclas porosas con optimización de la capacidad infiltración, Huancayo 2022.

1.6.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- El porcentaje de vacíos de aire de la mezcla asfáltica drenante afecta considerablemente la capacidad de infiltración de las mezclas asfálticas drenantes en el distrito de Huancayo 2022.
- El porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica drenante afecta considerablemente el porcentaje de pérdida de masa por desgaste de las mezclas asfálticas drenantes en el distrito de Huancayo 2022.
- El porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica drenante afecta considerablemente la estabilidad y flujo de las mezclas asfálticas drenantes en el distrito de Huancayo 2022.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1. ANTECEDENTES NACIONALES

Según (Usquiano Tantalán, I. A & Villareal Guimarey, J. F., 2016) en la tesis de pregrado titulada: “Diseño de una mezcla asfáltica tibia con aceite de palma” desarrollada en la Universidad Señor de Sipán; teniendo como objetivo principal, el diseñar una mezcla asfáltica tibia, a partir de aceite de palma, que cumpla con las exigencias de estabilidad y flujo para pavimentos flexibles contemplados en la norma EG 2013. Se comprobó mediante ensayos de calidad realizados a los agregados que componen en la mezcla, el cumplimiento con todos los rangos, valores mínimos y máximos que sugiere el MTC en su “Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013” en los distintos ensayos completados. El asfalto óptimo obtenido para tránsito liviano fue de un porcentaje de 5.00% y para tránsito medio y pesado se obtuvo un 5.50%, cumpliendo en todas las situaciones los parámetros de flujo y estabilidad. Se estableció que el tipo de aceite de palma más correcto para el uso en mezclas asfálticas tibias es el de tipo industrial (Tipo). Se descubrió que el ACP optimiza las propiedades mecánicas (flujo y estabilidad) como se indica en los siguientes porcentajes. 1.0% para tránsito liviano y medio y 0.5% para tránsito pesado.

Según (Tueros Davila, 2017) en la tesis de pregrado titulada: “Incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional para mejorar el

comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016”. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil de la Universidad Peruana los Andes. El objetivo de esta investigación es determinar como actúa la superficie de rodadura ante el ahuellamiento al incluir polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional. Como resultados se obtuvieron indicadores que demuestran la utilidad de un óptimo contenido de polvo de caucho, evaluando las características mecánicas, con varios ensayos de laboratorio de muestras de mezcla asfáltica en caliente con 1%, 2% y 3% de polvo de caucho. Concluyendo que existe una influencia del 85%, 87% y 97% en las propiedades de las muestras a las que se incorporó polvo de caucho, las cuáles presentaron mejor comportamiento plástico y durabilidad.

Según (Durant Broden, 2017) en la tesis de posgrado titulada “Relleno elastomérico para pavimentos asfálticos en climas de altura mediante el reciclado de neumáticos” investigada en Universidad Nacional del Altiplano; se referencia como antecedente dado que en la investigación se trabaja con asfalto modificado con reciclado de neumáticos. Esta investigación tiene como objetivo determinar que tan factible sería utilizar caucho reciclado de neumáticos en desuso como relleno elastomérico en pavimentos asfálticos que puedan soportar los factores climatológicos a elevadas alturas. La investigación se centra en encontrar los efectos que tendrán el volumen de caucho reciclado y la temperatura de la mezcla a emplear y sus interacciones con las características del comportamiento asfalto-caucho; teniendo como resultados que los efectos de las mezclas presentan mejores propiedades que el asfalto común y que soportan la gradiente térmica para elevadas alturas mejorando la durabilidad de los pavimentos y empleando una mezcla que no dañe el medio ambiente. En conclusión, la relación cuantitativa que ejerce el empleo del caucho reciclado de neumático sobre el comportamiento del asfalto obtenido es de 4.27; El empleo de caucho reciclado incrementa la viscosidad en un 140%, brindándole al asfalto mejores propiedades

respecto a la elasticidad a bajas temperaturas (que será mayor) y estabilidad a elevadas temperaturas (que será superior).

Según (Quiñones Paucar, 2017) en la tesis de postgrado titulada “Diagnóstico y diseño vial del pavimento flexible: avenida Alfonso Ugarte (tramo: carretera central – avenida Ferrocarril), en el distrito de Hualhuas, provincia de Huancayo 2016”, Universidad Peruana Los Andes; Las vías existentes ya cumplieron con su vida útil o están dañadas, debido al empleo de materiales de baja calidad, por no incluir o ser insuficientes los sistemas de drenajes, los estudios de tráfico presentan datos erróneos, y tienen como resultado una inadecuada gestión técnica en la ejecución de la obra, que conlleva a gastos en reconstrucción, por lo que se presenta como objetivo determinar la mejor proposición estructural de un pavimento flexible empleando el método AASHTO 1993 en el distrito de Hualhuas. Se obtiene como resultados, el pavimento con mejor propuesta estructural tendría 35cm de espesor en la base, empleando un 50% de agregado de cantera, 50% de agregado existente y 2” de estabilizador con cemento y la carpeta asfáltica tendría un espesor de 5cm, que aparte de ofrecer el SNr para el que fue diseñado su construcción es económica. Concluyendo así que emplear una base reciclada y estabilizador de cemento de espesor base de 35cm, aporta estructuralmente al pavimento al ser diseñado con el método AASHTO 1993 y además el costo de los materiales al emplear este diseño resulta más económico en comparación a otras propuestas.

Según (Chávez Céspedes, y otros, 2017) en la tesis de posgrado titulada “Diseño estructural de un pavimento básico reciclado y mejorado con cemento portland para diferentes dosificaciones en el proyecto de conservación vial de Huancavelica”, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas; el objetivo de ésta tesis es encontrar y mostrar un tipo de estructura de pavimento mejorado con cemento portland que cumpla con las exigencias para un correcto diseño de pavimento, sea económico dentro de las limitaciones que brinda el contrato de conservación vial que maximice la

rentabilidad de la empresa. Después de analizar los tramos a diseñar se obtienen los siguientes resultados: En el primer caso se recicló el total del afirmado que ya había y se mejoró con 1.5% de cemento y el resultado se encuentra por encima del SNreq; en el segundo sólo se recicló el 67% del afirmado, se agregó el 33% de recarga y se mejoró con 1.5% de cemento y el resultado también es mayor que el SNreq; para el tercer caso se recicló el 33% del afirmado que ya existía, se agregó el 67% de recarga y mejoró tanto para el 1% como para el 1.5% de cemento, resultando con un mayor SNreq. Para el segundo tramo sólo cumple con superar el SNreq en el tercer caso en el que se emplea el 33% del afirmado que ya existía, 67% de recarga y 1.5% de cemento. Para el tercer tramo con todos los casos se cumple con superar el SNreq. Y para el cuarto tramo sólo cumple con superar el SNreq en el tercer caso en el que se emplea el 33% del afirmado que ya existía, 67% de recarga y 1.5% de cemento. En conclusión, agregar un tipo de estabilizador como el cemento portland aunque sea en cantidades bajas como del 1% al 2% hace que no sea necesario tener un elevado espesor de capa, lo cual significaría un ahorro en la construcción de una carretera por kilómetro, también significa reducir costos de flete y de explotación de canteras. Sin embargo, este tipo de agente estabilizador se puede emplear sólo si se tiene un estudio que demuestre éstos resultados.

2.1.2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Según (Jongmin, y otros, 2016) en la tesis de pregrado titulada: “Un sistema de drenaje para mitigar los daños por humedad en los pavimentos de la plataforma del puente”; Institución Báltica de Ingeniería de Carreteras y puentes; el objetivo de esta investigación es la elaboración de un sistema de drenaje que permita el paso del agua que penetra en el pavimento del armazón del puente, de manera más rápida. También se espera que este sistema evite baches que puedan producir fallas en los pavimentos. El sistema se basa en aplicar una capa fina de drenaje entre la impermeable y la superior, se busca que la capa impermeabilizante tenga un buen desempeño y encontrar una técnica para construir la capa de drenaje de

manera correcta. La investigación se enfocó en analizar la capa de drenaje con mezclas asfálticas porosas, que fueron diseñadas para 10mm de tamaño máximo de agregado y que fue aprobada en diversas pruebas de laboratorio tanto mecánicas como físicas para así tener todas sus características. Se empleó metacrilato de metilo para la elaboración de la capa impermeabilizante y se realizaron diversas pruebas para determinar que tan bien funciona este material como impermeabilizante. En conclusión, al incorporar este nuevo sistema de drenaje en un puente actualmente funciona correctamente para drenar el agua que llega a penetrar en las capas del pavimento.

Según (Ahmed, 2015) en la tesis “Rendimiento de obstrucción de asfalto poroso en condiciones suecas”, investigación de Vetenskap Och Konst, es tomada como referencia debido al empleo de mezclas asfálticas drenantes la cual es objeto de análisis para optimizar las situación en la que se encuentran las evacuaciones de agua de acuerdo a las características de escorrentía en Suecia, esta investigación presenta como principal objetivo entender cómo se pueden reparar o disminuir las obstrucciones por medio de mantenimientos operativos. La investigación se centró en comparar muestras (núcleos de campo) de asfalto poroso de Huskvarna, esto con el objetivo de obtener un análisis de la distribución de los agujeros antes y después de las limpiezas realizadas anteriormente sin éxito, empleando un nuevo método. Se concluye después de una inspección visual que hay una pérdida de piedras notoria causada por las limpiezas anteriores, por lo que se debe tener una limpieza adecuada para este tipo de obstrucciones en pavimentos porosos y así evitar pérdida de material.

Según (Brown, y otros, 2016) en la tesis de postgrado titulada: “Concentraciones de infiltrado de nutrientes de tres tipos de pavimentos permeables”, investigación del Instituto de Ciencia y Educación de la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU., es tomada como antecedente por el empleo de mezclas asfálticas drenantes en el ámbito del medio

ambiente. El objetivo de esta tesis es analizar diferentes mezclas porosas en cuatro secciones de pavimento permeable de 54.9m², los cuales dirigen lo infiltrado a tanques de capacidad de 5.8m³, los cuales permitirán tener un completo muestreo. Los resultados después de doce meses se obtienen 13 muestras, debidas a la lluvia, las cuales fueron analizadas buscando carbono orgánico, ortofosfato y nitrógeno. Se concluyó que el infiltrado de AP tenía mayores concentraciones de Tn que el de PICP y PC. También se encontró que en el infiltrado de PA la concentración de TN es mucho mayor que las otras concentraciones, en sí se demostró que el nitrógeno se filtra en los estratos de PA.

Según (Ayala Loza, y otros, 2010) en la tesis de pregrado titulada: "Diseño de mezcla drenante con asfalto modificado disponible en El Salvador", Universidad de El Salvador; el principal objetivo de este trabajo es diseñar una mezcla drenante empleando materiales disponibles de esa zona, con el propósito que el agua se pueda escurrir de la superficie del pavimento. Como resultado se obtuvo que el porcentaje de contenido de asfalto debe ser bajo, de 3.3% aproximadamente, con la finalidad que el porcentaje de vacíos sea de 22.5% y el porcentaje de desgaste sea de 36.1% por encima de lo estipulado por la norma que es de 25%. Sin embargo, no se debe omitir que según la norma INVIAS, el óptimo de asfalto no debe ser menor del 4.5%, por lo que se deberá aumentar el porcentaje de asfalto obtenido. Otro resultado es que al tratar de llegar al 25% de desgaste se obtuvo un porcentaje de vacíos de 4.2% y el óptimo de asfalto de 4.3%, el cuál sigue siendo menor a lo recomendado por la norma. Finalmente al trabajar con el óptimo de asfalto de 4.5% se obtiene resultados con los parámetros que se necesitaban, los vacíos presentan el 20% (dentro de las especificaciones de la norma), el porcentaje de pérdida es de 22.8% y el húmedo es de 28.7%, todo dentro de las especificaciones. En conclusión, es necesario garantizar el desgaste en condición seca en el ensayo cántabro, el porcentaje de vacíos dentro de lo permitido y que la porosidad de la mezcla se encuentre dentro de los parámetros exigidos.

Según (López Moreno, 2013) en la tesis titulada “Comportamiento mecánico de mezclas asfáltica drenante” en la investigación de la Universidad Nacional de Colombia; presenta como objetivo encontrar un diseño óptimo para una mezcla asfáltica drenante que permita controlar el manejo de aguas de lluvias y evaluar cuál sería su comportamiento mecánico para diversos porcentajes de asfalto. Como resultados se obtiene que para 3.5% de asfalto se tiene un porcentaje de vacíos del 23%, la estabilidad varía de 926 a 805kg, y se registró que a mayor porcentaje de vacíos el flujo es menor. Para un 4% de asfalto se obtuvo el mismo porcentaje de vacíos, la estabilidad y flujo son bajos. Para el 4.5% se obtiene del 19% al 20% de vacíos, altos valores de estabilidad y que a mayor porcentaje de vacíos, mayor el flujo. Para el 5% de asfalto se registraron un 20% de vacíos, los valores de estabilidad no son muy dispersos mientras que los valores de flujo si. Finalmente para el 5.5% el peso de las probetas disminuye considerablemente, el porcentaje de vacíos llega al 20% , la estabilidad y flujo presentan una tendencia muy dispersa. Resultando que la mayor estabilidad es de 1074kg que se presentó para el 4% de ligante asfáltico, el mayor flujo es de 2.5mm y se presentó al 4.5% de ligante asfáltico y con respecto a los ensayos de tracción indirecta realizados se obtuvo que el porcentaje de asfalto con mejores resultados del 4%.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO PERMEABLE

2.2.1.1. CONCEPTOS

Los asfaltos permeables presentan un elevado porcentaje de agujeros en el aire, los pavimentos con este tipo de asfalto deben tener un tipo de soporte de carga adecuado y un tipo de drenaje apropiado para las aguas pluviales. Ya que el agua afecta más a la capa que servirá como depósito para el agua que se recolectará, también afecta en menos proporción a las capas estructurales del pavimento hasta la subrasante.

En el proceso de diseño de asfaltos permeables, no sólo se debe tener en cuenta las características del material, carga de tráfico, etc., también otros parámetros que ayudan a la reducción de los niveles de ruido general y mejorar sus capacidades de drenaje, como son las dimensiones de los agregados, la discontinuidad de la mezcla y la porosidad. Las dimensiones de los agregados en la mezcla afectan la permeabilidad, durabilidad y estabilidad bajo la carga del tráfico. Al reducir estas dimensiones, también disminuye el ruido causado por la interacción del neumático con la superficie de la carretera. Si se eleva la porosidad, también se elevará la absorción de ruido y el drenaje de agua a través de capas porosas.

2.2.1.2. BENEFICIOS EFICACES

Debido al elevado contenido de agujeros en la mezcla, se tiene una mejora en las propiedades eficaces del diseño de mezcla, el empleo de asfalto permeable disminuye significativamente que se produzca el efecto de "aqua planing", si estos agujeros no están obstruidos. Se tiene una tendencia sobre los pavimentos permeables en carreteras y caminos rurales que mantengan abiertas las estructuras porosas durante su vida, y esto se debe a la existencia de un "mecanismo de autolimpieza", en el que las cargas transmitidas por los neumáticos del vehículo presionan el agua en los agujeros del pavimento poroso a alta presión durante los períodos de escorrentía. En cambio, en vías urbanas de baja velocidad la presión del agua, debido a la rotación más lenta de los neumáticos no es lo suficientemente alta como para asegurar un efecto de "autolimpieza" en el pavimento, provocando que los agujeros de los pavimentos se obstruyan. Esto se dio a conocer en una investigación experimental en calles rurales por los ingenieros de Copenhague en Dinamarca. (Bendtsen et al. 2005).

2.2.1.3. CARACTERÍSTICAS DE MEZCLAS PERMEABLES

a. Agregados:

Es importante para la mezcla, la forma y la orientación de los agregados para una elevada porosidad. También es importante la interacción neumático – carretera, debido al ruido del tráfico que se presenta, la forma en la que irán los agregados también influyen en cómo se propagará este ruido. Los agregados constituyen entre el 70 al 85% del peso de asfalto de mezcla en caliente y también determina la resistencia. Es importante también que los agregados soporten ser triturados debido al largo tiempo de vida útil que se les da como una estructura compactada.

b. Conectividad:

Los agujeros de aire conectados en el asfalto drenante son extremadamente importantes, ya que permiten la reducción de ruido y de permeabilidad. Estos vacíos de aire resultan del contacto entre cada piedra de los agregados, que se logra mientras se coloca y compacta la superficie. Esta característica es la principal causa de reducción de ruido. El pavimento drenante tiene una textura negativa debido al contacto piedra con piedra que ayuda a crear espacios abiertos pero estrechos.

Ellebjer y Bendsten describieron la combinación de los agujeros añadidos y el espesor de un pavimento drenante que influyen en el ruido generado por el mecanismo de desplazamiento del aire. Cuanto más sea el porcentaje de vacíos y más grueso sea el pavimento, la capacidad para mejorar la conectividad será más elevada.

Hay una ilustración elaborada por Lefebvre sobre la conectividad y clasificación de los agujeros de aire en el asfalto poroso y su importancia para desechar el agua de forma eficaz y mejorar la absorción del ruido. En la Figura 3, se muestra diferentes tipos de vacíos de aire existentes. Desde la superficie, el agujero b1 es no interconectado, es decir que la superficie porosa pierde su permeabilidad y no absorbería el ruido. Los agujeros b2 y d están aislados y no tienen conexión con los bordes lo que significa que son impermeables. Esta caracterización presentada de la estructura del

vacío es sumamente útil; ya que ayuda a identificar maneras de transporte del agua y los daños por humedad.

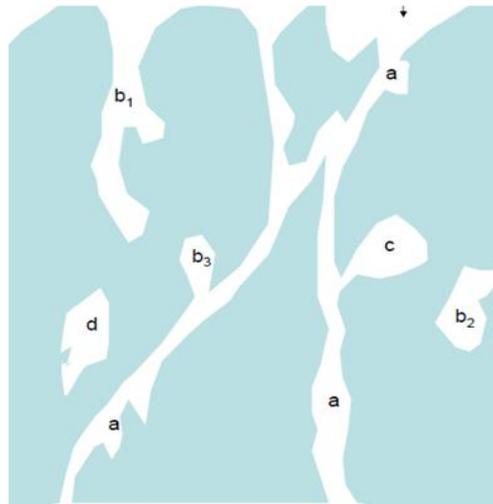


Figura 3. Orden de vacíos de aire

Fuente: Lefebvre G. Porous asphalt. Technical report, 1993.

Una conclusión elemental es que los vacíos de aire funcionan como una capa que proporciona calor en condiciones de clima fríos y viceversa, esta conclusión fue determinada en una investigación en Minnesota en el que se observaron los efectos de enfriamiento de las aguas pluviales en capas drenantes. (A Pilot Study, 2007)

c. Vacíos de aire:

Los agujeros de aire son trascendentales en todas las mezclas asfálticas y en el asfalto drenante, la estructura de estos agujeros de aire desempeña un rol importante además de lo ya mencionado previamente, los vacíos permiten crear espacios en los cuales puede fluir el asfalto que se coloca en la superficie. También es sabido que la cantidad de agujeros de aire proporciona el nivel de durabilidad de un pavimento.

d. Ligante asfáltico:

El ligante asfáltico es un material adhesivo e impermeable que deriva del petróleo crudo y que actúa como un tipo de pegamento que mantiene unido el agregado. Se obtiene desechando las partes livianas del petróleo crudo en el proceso de refinado resultando en una especie de material viscoso a temperaturas ambiente. El ligante asfáltico desempeña un rol importante

en el rendimiento que tendrá el pavimento debido a su compleja estructura. Se realizaron diversos estudios para entender la estructura del ligante asfáltico y se determinó que alrededor del 80% de los elementos que afectan la relación adherencia-agregado se controlan en la producción del ligante y en la construcción del pavimento.

2.2.2. APLICACIONES

Entre las propiedades más relevantes de los pavimentos drenantes está precisamente la capacidad de drenaje que tiene, es decir, que se busca reducir el agua de lluvia que discurre en la superficie del pavimento. Para entender mejor el equilibrio hidrológico que se debe dar al construir el pavimento drenante, primero se debe entender cómo se da la escorrentía en el sistema de construcción.

Una de las fuentes de llenado son las precipitaciones de lluvia y la infiltración superficial del pavimento. Una parte de ésta se evapora debido a nuestra atmósfera, otra sigue la fluencia debido a los desniveles de la capa de superficie, mientras que otra va a infiltrarse en la capa drenante del pavimento. Esta porción infiltrada puede ser recolectada por medio de tubos de drenaje que irían colocadas en la superficie de la capa subrasante, el resto se drenaría a través del material de la subrasante llevándola al subsuelo.

Como la textura del pavimento drenante es abierta, se reduce la probabilidad de salpicaduras al 95% después de construir una nueva capa de asfalto drenante. Sin embargo, esta característica no es permanente porque los poros se tapanían con el tiempo.

2.2.3. TIPOS DE ESTRUCTURAS POR CAPAS

Se puede dividir este tipo de pavimentos drenantes de acuerdo al tipo de estructura con capas de asfalto drenante gastadas:

a. Reservoirio:

Este tipo de estructura de pavimentos sirven para elaborar capas de asfalto drenante sobre una capa base penetrable, donde el agua que se desembocará en un "reservoirio" conformado por agregados no ligados y a una subrasante no compactada, llegando al subsuelo. La capa a la que desembocará finalmente debe estar conformada por agregados puramente granulados con un porcentaje de vacíos del 30 al 40%. (Eisenberg et al. 2015).

b. Superposición:

Este tipo de estructura consiste en que la capa de asfalto drenante pavimentada actúe como capa de desgaste encima del pavimento rígido o flexible impermeable que sería previamente construido. Este tipo de asfalto también es denominado "Curso de fricción permeable - PFC" término empleado en Estados Unidos. El agua infiltrada llegaría de manera transversal a través de agujeros a unas canaletas diseñadas en los bordes del pavimento. El problema con este tipo de pavimento drenante se encuentra en que en la mayoría de ocasiones el agua no sigue su curso y permanece en la superficie entre el pavimento rígido o flexible ya existente y el pavimento drenante.

2.2.4. GRADO DE PERMEABILIDAD

El grado de permeabilidad se refiere a la capacidad que tienen los materiales para dejar pasar los fluidos sin pérdidas. En el asfalto drenante esta permeabilidad depende de los agujeros de aire, como se encuentra interconectado al sistema, es decir, la velocidad con la que estos materiales drenantes a emplear pueden transmitir el fluido. Para cualquier tipo de pavimento el mayor enemigo es la humedad, ya que al estar en contacto con los pavimentos las daña de manera casi irreparable. Los pavimentos drenantes son como filtros que eliminan los líquidos, aun así, es negativo en el material a emplear.

La relación entre la disminución del ruido y la permeabilidad reveló que la permeabilidad reducida de la superficie porosa está relacionada directamente a la efectividad del ruido. También hay una regla heurística que menciona que cuando la superficie ha sido recientemente construida, el agua tarda 7 segundos en pasar y 200 segundos cuando hay obstrucciones.

2.2.5. MANTENIMIENTO

Para tener un buen comportamiento de las mezclas drenantes es importante tener en cuenta las condiciones que este tipo de mezcla drenante genera.

2.2.5.1. ATASCO POR COLMATACIÓN DE LOS POROS

Ya se había mencionado sobre uno de los problemas que presenta el pavimento drenante, y es que tiende a presentar obstrucciones generadas por suciedad y desechos, y que afectan el ruido que debería llegar a las superficies. Diversos estudios que abarcan este tema concluyen que la porosidad que caracteriza a este tipo de pavimento se pierde con el tiempo debido a las obstrucciones que se deben a los siguientes factores:

- Los desechos que se encuentran alrededor de la carretera son arrastrados y presionados hacia la superficie por los neumáticos.
- Raspado de carreteras durante climas fríos.
- Deterioro de la masilla dentro de la mezcla.
- Desechos producidos por neumáticos que llevan clavos.

2.2.5.2. MANTENIMIENTO

El mantenimiento del asfalto drenante es mucho más caro que el asfalto convencional, siendo uno de los pavimentos menos empleado. La pulverización y las salpicaduras de agua durante los períodos de lluvia son una de las características que demuestra que el pavimento se está deteriorando. Sin embargo, este proceso depende de la duración y el uso de la carretera, la velocidad, las condiciones climáticas, etc.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Bitumen**

El betún comprende una mezcla de sustancias orgánicas altamente viscosas, la mayoría de veces presenta un color negro, también presenta una elevada densidad que puede ser soluble en carbón disulfide y se encuentra compuesta por hidrocarburos aromáticos policíclicos. (Wulf Rodriguez, 2008)

- **Drenabilidad**

Mide la facilidad con la que se evacuan los líquidos que pasan por una superficie. Es importante para mantener caudales de circulación de agua en un sistema hidráulico. (López Moreno, 2013)

- **Asfalto Modificado**

Comprende un ligante asfáltico con alguna mejora o modificación en una de sus propiedades más básicas, en su mayoría modifican la viscosidad del CAP – PEN asfáltico lo que hace que mejoren sus propiedades físicas y mecánicas. (Agudelo Cendales, 2019)

- **Porosidad**

Es la cantidad de vacíos o agujeros que presenta una superficie. Poros se origina del latín “porus” y significa 'agujero pequeño'. (Briggs, 2006)

- **Carpeta de rodadura**

La carpeta de rodadura es la capa superior del firme que es colocada sobre la base y resiste directamente los esfuerzos que genera el tráfico. (Caicedo, 2014)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. MÉTODOS Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Según (Gomez Bastar, 2012) la investigación es un proceso mediante el cual se hace uso del método científico que adquiere información relevante y verdadera, con el fin de entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento.

Se aplica el método científico según la observación y deducción se analizará cada variable y su relación, que es el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica drenante y el aporte estructural de pavimentos con el propósito de generar conocimiento según los resultados de ensayos en laboratorio.

3.1.2. NIVEL

(Hernandez-Sampieri, y otros, 2018) menciona que tienen como propósito conocer la relación o grado de asociación que existe entre dos o más conceptos, variables, categorías o fenómenos en un contexto en particular.

De acuerdo a las características de la investigación y sobre el comportamiento de las variables definidas, el estudio corresponde al nivel correlacional, debido a que se analiza la relación o asociación que existe entre la variable independiente y dependiente en el contexto de prueba que son los ensayos desarrollados en laboratorio.

3.1.3. TIPO

Según (Vargas Cordero, 2009) el tipo de investigación es Aplicada porque está constituida por un importante enlace entre ciencia y sociedad.

El estudio es de tipo Aplicada porque el énfasis del estudio consiste en solucionar el problema planteado que se presenta en un contexto real, la solución práctica del problema se refiere a realizar ensayos en laboratorio certificado y la obtención de resultados se aplicaran como solución del problema planteado.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Según (Hernandez-Sampieri, y otros, 2018) el diseño de investigación Experimental manipula, de manera intencional, una o más variables independientes para analizar las consecuencias de tal manipulación sobre una o más variables dependientes.

La presente tesis cumple con el diseño Experimental porque las variables definidas serán probadas según su comportamiento en un entorno controlado y estricto como son los ensayos de laboratorio. La manipulación intencional del porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica drenante permitirá comprobar el desempeño en el aporte estructural de pavimentos, los resultados obtenidos serán analizados e interpretados con la finalidad de corroborar las hipótesis planteadas.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN

(Arias, 2006) menciona que la población es un conjunto finito o infinito de elementos con características similares, los cuales hacen extensivas las conclusiones del trabajo de investigación, la cual queda limitada por los objetivos del estudio de la investigación.

Se tiene como población 10000 kilogramos de mezcla asfáltica en caliente, como capacidad de producción de una planta asfáltica grande debido a que de esta forma se busca enfocar los resultados de forma funcional al diseño propuesto y la producción de grandes volúmenes de mezcla.

3.3.2. MUESTRA

(Monje Alvarez, 2011) indica que la muestra es un conjunto de sujetos que son parte de una población, en otras palabras, un subgrupo de la población que cumplen con determinadas especificaciones.

Se define la muestra de 450 kilogramos de mezcla asfáltica en caliente para los ensayos pertinentes.

3.3.3. MUESTREO

Según (Hernández–Siampieri y otros, 2018) es un subgrupo de la población en la que la elección de los elementos no depende de la probabilidad sino de las características de la investigación. Según lo referido, en el presente estudio se utiliza el muestreo no probabilístico o dirigido por las características propias que debe cumplir la muestra según el estudio y a criterio del investigador, el corte es longitudinal por recopilar datos del porcentaje de vacíos establecidos de manera repetida hasta determinar un factor estructural.

3.4. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica de recolección de datos está contemplada a ser analizada por la observación sistemática debido a que recogemos información de los análisis de resultados de los ensayos de laboratorio según la normativa para evaluar, interpretar y obtener conclusiones.

3.5. INSTRUMENTO DE ANÁLISIS DE DATOS

El instrumento de análisis de datos será evaluado con la ayuda de fichas de recolección de datos, evidenciados mediante certificados de ensayos realizados al diseño de mezcla asfáltica porosa planteada.

3.6. VARIABLES

3.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Propiedades volumétricas y mecánicas.

3.6.2. VARIABLES DEPENDIENTES

- Aporte estructural del diseño balanceado

3.7. OPERACIONALIZACIÓN

Tabla 1. Operacionalización de la variable

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Escala
PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS Y MECÁNICAS	El porcentaje de vacíos de una mezcla asfáltica se determina calculando la proporción de aire entre su estructura interna.	Valor expresado en porcentaje de la porosidad existente en la muestra en estudio	16% DE VACÍOS	Ensayo Cántabro NTL 352 - 86	Ficha recolección de datos	Razón
				Ensayo de vacíos MTC E 505		
				Ensayo peso específico MTC E 508		
			20% DE VACÍOS	Ensayo Cántabro NTL 352 - 86		
				Ensayo de vacíos MTC E 505		
				Ensayo peso específico MTC E 508		
			23% DE VACÍOS	Ensayo de vacíos MTC E 505		
				Limpieza I.N.V.E-125/13		
				Ensayo peso específico MTC E 508		
APORTE ESTRUCTURAL DE DISEÑO BALANCEADO	El aporte estructural se define como el factor que incide en el cálculo del espesor de la carpeta de rodadura.	Representa la resistencia, deformación, adherencia, cohesión, entre otras propiedades que determinan las características del material a estudiar.	ESTABILIDAD	Ensayo de gradación MTC E 204	Ficha recolección de datos	Razón
				Ensayo de muestra MTC E 501		
				Ensayo Marshall MTC E 504		
			FLUJO	Ensayo de gradación MTC E 204		
				Ensayo de muestra MTC E 501		
				Ensayo Marshall MTC E 504		
			INDICE DE RIGIDEZ	Ensayo Cántabro NTL 352 - 86		
				Ensayo de muestra en seco		
				Ensayo de muestra mojada		

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES

Para elaborar una mezcla asfáltica drenante se requiere una granulometría distinta a las mezclas típicas, en estas el contenido de agregados finos es más elevado, generalmente entre un 30% y 60%, es por ello que la resistencia depende más del asfalto empleado.

Las mezclas asfálticas drenantes se diseñan empleando el huso granulométrico CAD 12, ya que se busca un equilibrio entre los vacíos de aire y la resistencia a la pérdida de masa para tener una mezcla asfáltica óptima, cabe resaltar que se evalúa la resistencia a la pérdida de masa para que actúe de manera satisfactoria a las demandas del tránsito.

Es por ello que para obtener las propiedades de la mezcla asfáltica drenante a investigar se elaboraron seis briquetas de mezclas asfálticas drenantes empleando el huso CAD 12 por cada porcentaje de ligante asfáltico modificado con polímeros, para los ensayos de permeabilidad, el ensayo de Cántabro en seco, el ensayo de Cántabro tras inmersión y el ensayo de Marshall.

4.1.1. HUSO CAD 12 PARA MEZCLA DE AGREGADOS

Se emplearon agregados de la planta de Chupuro ya que este tipo de material producido se puede emplear para el huso CAD 12, se verificaron las especificaciones para mezclas asfálticas drenantes y el tamaño máximo nominal de 1/2". Este huso granulométrico dispone una distribución abierta entre las partículas y esta disposición permite drenar el agua entre sus vacíos.

En la tabla 2, se presenta los rangos de porcentajes de pesos pasantes por tamiz según las especificaciones IRAM 1505. Se trabajaron con agregados de diferentes clasificaciones ya que la granulometría requiere diferentes fracciones de árido.

Tabla 2. Especificaciones para mezclas asfálticas drenantes CAD 12

HUSO GRANULOMÉTRICO – CAD 12				
MALLA	ABERTURA	% MÍNIMO		% MÁXIMO
TM - 3/4"	19.00 mm	100	-	100
TM – 1/2"	12.50 mm	70	-	100
TM – 3/8"	9.50 mm	50	-	80
TM – N°4	4.75 mm	15	-	300
TM – N°8	2.36 mm	10	-	22
TM – N°30	0.60 mm	6	-	13
TM – N°200	0.075 mm	3	-	6

Fuente: C P Asfalto mezclas asfálticas drenantes IRAM 1505

En la tabla 3, se presenta el análisis granulométrico obtenido según la norma MTC E 303 para 3 kilogramos de agregado grueso de tamaño nominal máximo de 1/2" proveniente de la cantera de Chupuro.

Se realizaron distintos cálculos para que cada porcentaje de pasantes cumpla con las especificaciones del CAD 12 para así obtener una correcta distribución de partículas.

Tabla 3. Análisis granulométrico por MTC E 303 – Agregado grueso de 1/2"

Malla	Peso	% Ret	% Ret	% que	
Tamiz	mm.	(gr)	Parcial	Acum.	Pasa
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	1464.00	48.80	48.80	51.20
3/8"	9.525	1362.60	45.42	94.22	5.78
No4	4.763	79.80	2.66	96.88	3.12
No8	2.381	57.60	1.92	98.80	1.20
No10	1.905	36.00	1.20	100.00	0.00
No16	1.191	0.00	0.00	100.00	0.00
No30	0.595	0.00	0.00	100.00	0.00
No40	0.423	0.00	0.00	100.00	0.00

No50	0.298	0.00	0.00	100.00	0.00
No80	0.179	0.00	0.00	100.00	0.00
No100	0.149	0.00	0.00	100.00	0.00
No200	0.074	0.00	0.00	100.00	0.00
<No200	0.010	0.00	0.00	100.00	0.00
Fondo	<i>GueAP-03-tesis</i>	3000.00			

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4, se presenta la curva granulométrica correspondiente al análisis granulométrico del agregado grueso de 1/2" proveniente de Chupuro, en el que se emplearon 3kg para resultados más precisos, también se observa que no hay finos porque se trabajó con agregado lavado, cabe mencionar que el agregado grueso presentó un buen comportamiento y trabajabilidad en los ensayos. La curva presentada será complementada con las curvas de los agregados finos para cumplir con el huso CAD 12 requerido para mezclas asfáltica drenante.

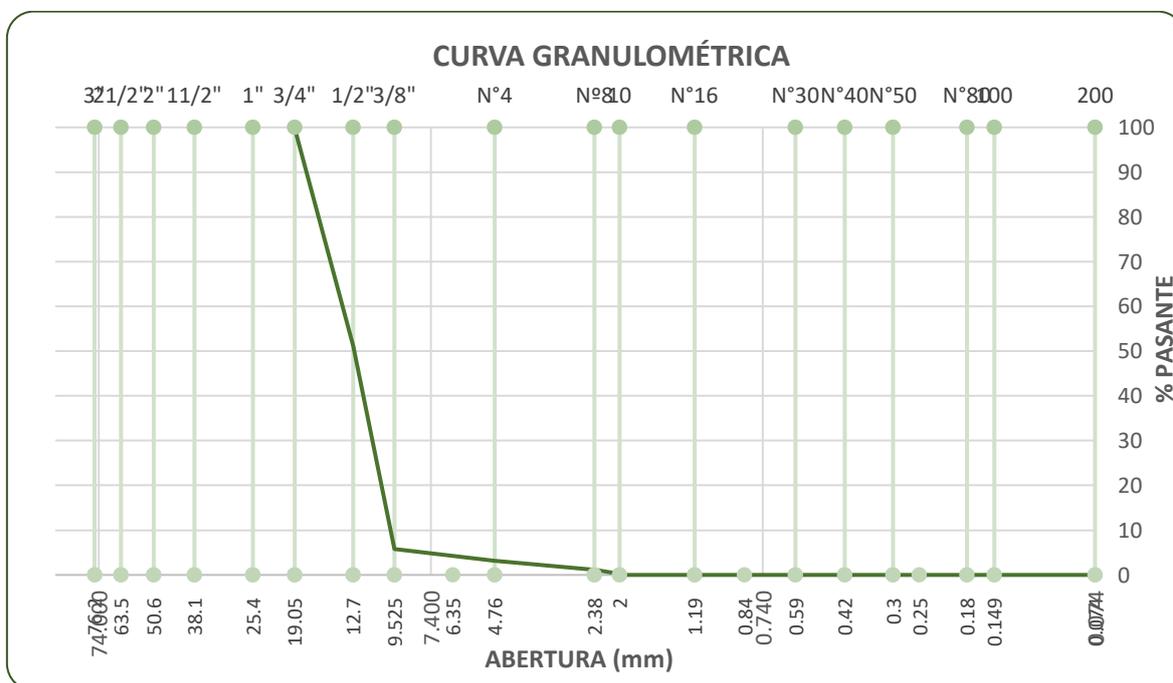


Figura 4. Curva granulométrica – Agregado grueso de 1/2"

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4, se presenta el análisis granulométrico obtenido según la norma MTC E 303 para 1.5 kilogramos de agregado fino clasificado como arena zarandeada proveniente de la cantera de Chupuro. Se realizaron distintos cálculos para que cada porcentaje de pasantes cumpla con las

especificaciones del CAD 12 para así obtener una correcta distribución de partículas.

Tabla 4. Análisis granulométrico por MTC E 303 – Arena zarandeada

Malla	Peso	% Ret	% Ret	% que	
Tamiz	mm.	(gr)	Parcial	Acum.	Pasa
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
No4	4.763	1093.50	72.90	72.90	27.10
No8	2.381	133.20	8.88	81.78	18.22
No10	1.905	45.15	3.01	84.79	15.21
No16	1.191	37.05	2.47	87.26	12.74
No30	0.595	28.35	1.89	89.15	10.85
No40	0.423	31.45	2.10	91.25	8.75
No50	0.298	23.60	1.57	92.82	7.18
No80	0.179	24.45	1.63	94.45	5.55
No100	0.149	12.50	0.83	95.28	4.72
No200	0.074	25.05	1.67	96.95	3.05
<No200	0.010	45.70	3.05	100.00	0.00
Fondo		1500.00			

Fuente: Elaboración propia

En la figura 5, se presenta la curva granulométrica correspondiente al análisis granulométrico de 1.5kg de agregado fino, para resultados más precisos, clasificado como arena zarandeada proveniente de Chupuro, también se observa que la cantidad de finos es elevada ya que se buscó una muestra de arena zarandeada que cumpla con las especificaciones para el diseño de mezclas drenantes, cabe mencionar que el agregado fino presentó un buen comportamiento y trabajabilidad en los ensayos. La curva presentada será complementada con las curvas del agregado grueso para cumplir con el huso CAD 12 requerido para mezclas asfáltica drenante.

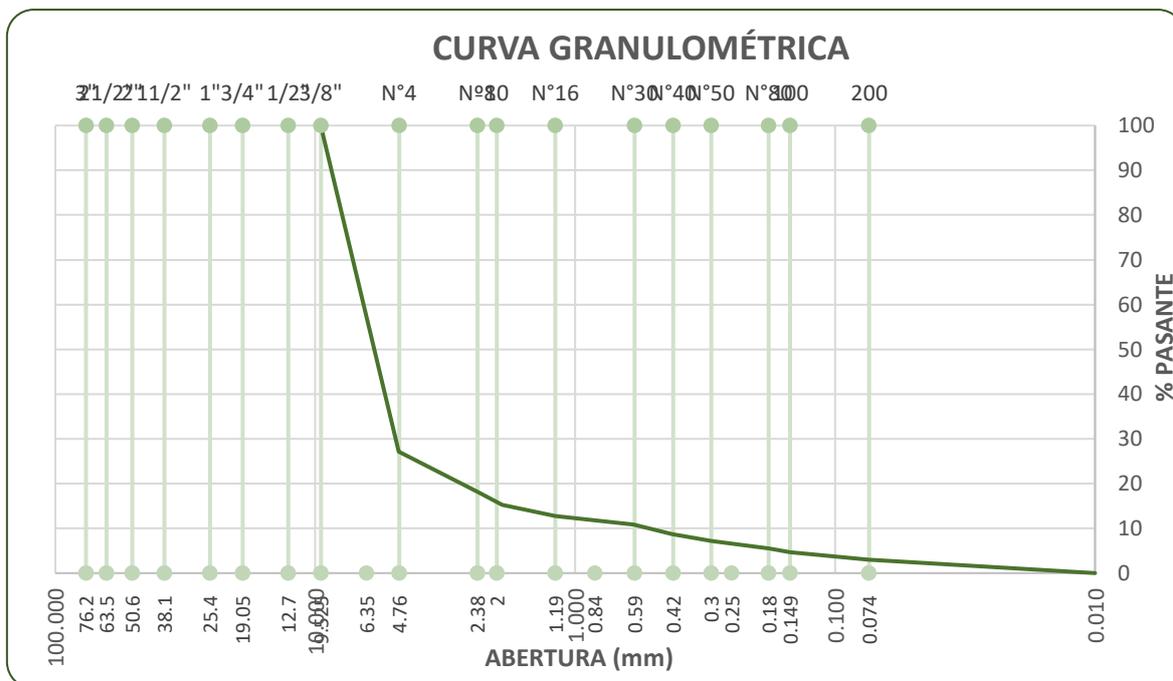


Figura 5. Curva granulométrica – Arena zarandeada

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5, se presenta el análisis granulométrico obtenido según la norma MTC E 303 para 1.5 kilogramos de agregado fino clasificado como arena chancada proveniente de la cantera de Chupuro. Se realizaron distintos cálculos para que cada porcentaje de pasantes cumpla con las especificaciones del CAD 12 para así obtener una correcta distribución de partículas.

Tabla 5. Análisis granulométrico por MTC E 303 – Arena chancada

Malla	Peso	% Ret	% Ret	% que	
Tamiz	mm.	(gr)	Parcial	Acum.	Pasa
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
No4	4.763	1056.45	70.43	70.43	29.57
No8	2.381	123.95	8.26	78.69	21.31
No10	1.905	57.90	3.86	82.55	17.45
No16	1.191	34.20	2.28	84.83	15.17
No30	0.595	44.15	2.94	87.78	12.22

No40	0.423	28.05	1.87	89.65	10.35
No50	0.298	24.75	1.65	91.30	8.70
No80	0.179	23.70	1.58	92.88	7.12
No100	0.149	21.15	1.41	94.29	5.71
No200	0.074	36.90	2.46	96.75	3.25
<No200	0.010	48.80	3.25	100.00	0.00
Fondo		1500.00			

Fuente: Elaboración propia

En la figura 6, se presenta la curva granulométrica correspondiente al análisis granulométrico de 1.5 kg de agregado fino clasificado como arena chancada proveniente de Chupuro para resultados más precisos, también se observa que la cantidad de finos es elevada ya que se buscó una muestra de arena chancada que cumpla con las especificaciones para el diseño de mezclas drenantes, cabe mencionar que el agregado fino presentó un buen comportamiento y trabajabilidad en los ensayos. La curva presentada será complementada con las curvas del agregado grueso para cumplir con el huso CAD 12 requerido para mezclas asfáltica drenante.

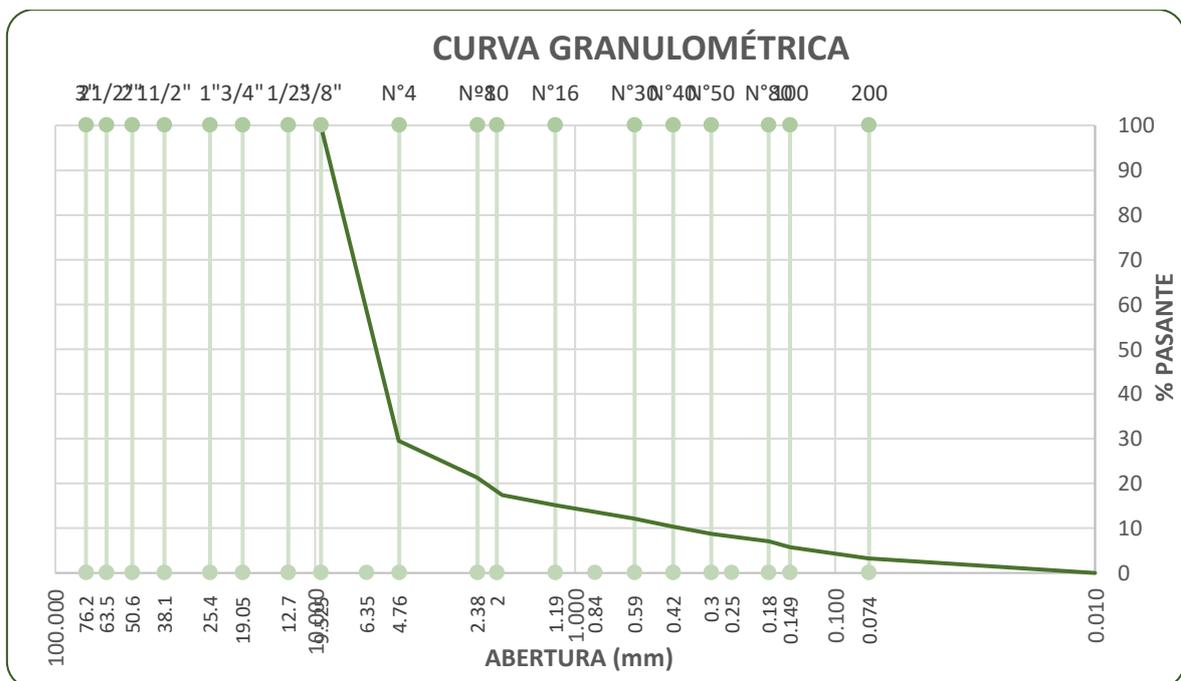


Figura 6. Curva granulométrica – Arena chancada

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6, se presenta la combinación teórica de agregados finos y gruesos para el huso CAD 12 cumpliendo las especificaciones requeridas.

Teniendo 32% de arena zarandeada, 36% de arena chancada, 1% de Cal y 32% de agregado grueso de 1/2" para la combinación final.

En la combinación final se empleará cal ya que ayuda a conformar mejor el mastico asfáltico y es muy importante al trabajar gradaciones abiertas para las mezclas drenantes.

Tabla 6. Combinación granulométrica CAD 12

Malla		PORCENTAJES PASANTES (%)					MEZCLA
		Agregados					
		ARENAS			PIEDRA		
		Arena Zarandeada	Arena Chancada	Cal	piedra 1/2" CRUSHING		
		Proporciones					
No tamiz	Abertura (mm)	ZARANDEADA	CHANCADA	CAL	1/2"		
		32.0%	36.0%	1.0%	31.0%	100.0%	
3/4"	19.050	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
1/2"	12.700	100.00	100.00	100.00	51.20	84.87	
3/8"	9.525	100.00	100.00	100.00	5.78	70.79	
No4	4.763	27.10	29.57	100.00	3.12	21.28	
No8	2.381	18.22	21.31	100.00	1.20	14.87	
No10	1.905	15.21	17.45	100.00	0.00	12.15	
No16	1.191	12.74	15.17	100.00	0.00	10.54	
No30	0.595	10.85	12.22	100.00	0.00	8.87	
No40	0.423	8.75	10.35	100.00	0.00	7.53	
No50	0.298	7.18	8.70	100.00	0.00	6.43	
No80	0.179	5.55	7.12	100.00	0.00	5.34	
No100	0.149	4.72	5.71	100.00	0.00	4.57	
No200	0.074	3.05	3.25	100.00	0.00	3.15	
pasa		0.00	0.00	100.00	0.00	1.00	

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los porcentajes de mezcla obtenidos mediante la combinación granulométrica, es importante verificar que los valores se encuentren dentro de los rangos determinados por el CAD 12, por ello en la tabla 7 se presentan

los porcentajes mínimos y máximos de pasantes que deben de cumplirse para lograr la gradación abierta a partir de la mezcla propuesta.

Tabla 7. Comprobación granulométrica CAD 12 - Mezcla de pasantes obtenida

Malla		PORCENTAJES PASANTES (%)	Especificaciones			Observaciones
		MEZCLA	CAD 12			Tam. Máx.
No tamiz	Abertura (mm)	100.0%	% Mín.	% Máx.	Curva Ideal	
3/4"	19.050	100.00	100	-	100	100
1/2"	12.700	84.87	70	-	100	85
3/8"	9.525	70.79	50	-	80	65
No4	4.763	21.28	15	-	30	23
No8	2.381	14.63	10	-	22	16
No10	1.905	12.63				
No16	1.191	10.78				
No30	0.595	9.11	6	-	13	10
No40	0.423	7.85				
No50	0.298	6.93				
No80	0.179	5.93				
No100	0.149	5.77				
No200	0.074	5.42	3	-	6	5
pasa		1.00				

Fuente: Elaboración propia

En la figura 7 se presenta la curva granulométrica obtenida a partir de la mezcla de agregados CAD 12, donde se tiene que las líneas punteadas de color verde, las cuales representan los límites especificados para una

gradación abierta, la línea punteada de color rojo representa la curva promedio entre ambas, la cual es considerada como la curva ideal para el huso CAD 12 y la línea de color azul es la curva resultante de la combinación granulométrica, que como se puede observar se encuentra dentro de los límites establecidos, y esto es debido al buen comportamiento de los agregados y la trabajabilidad que tuvo en los ensayos realizados. Se tiene también analizando el grafico de la curva obtenida que la línea de la combinación granulométrica presenta un comportamiento muy semejante al de la línea de la curva ideal, con excepciones en los tamices de 3/8" y N°10.

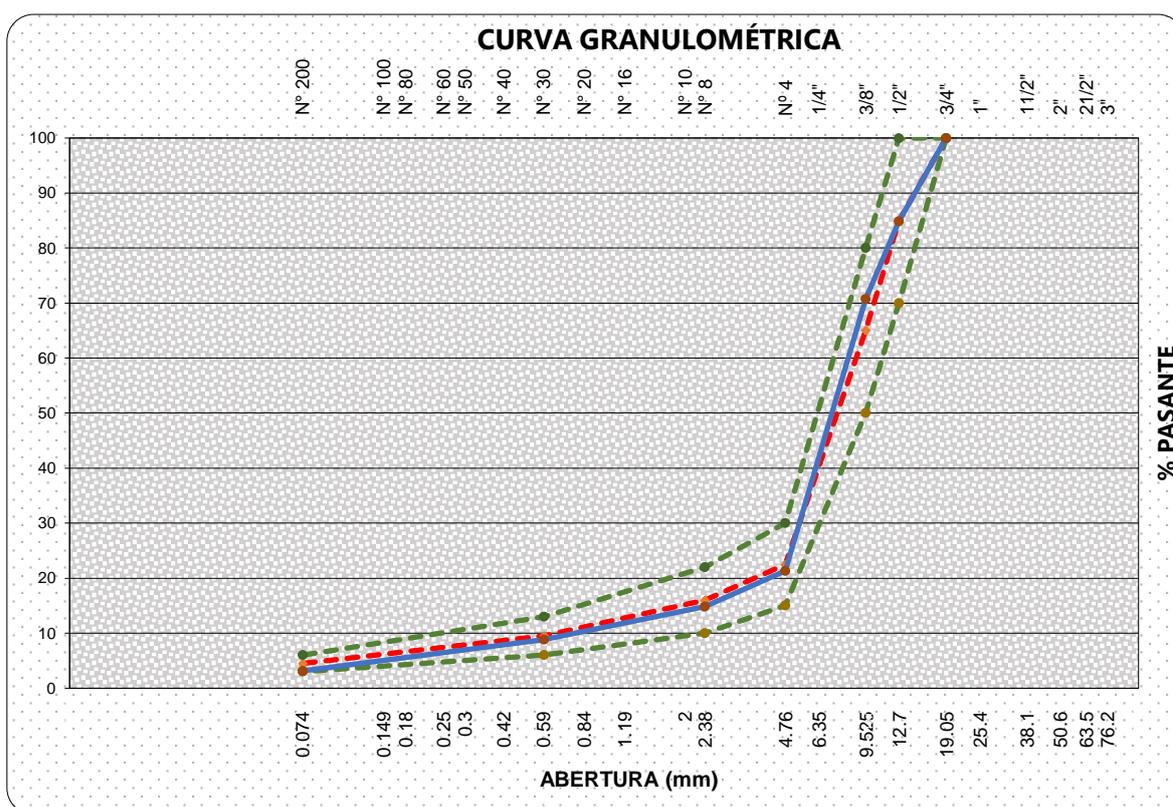


Figura 7. Curva granulométrica CAD 12

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8, se presentan los pesos de agregados gruesos y finos por cada tamiz especificado para la elaboración de briquetas según la gradación abierta CAD 12, donde se tienen pesos específicos para distintos porcentajes de asfalto. Tomando como punto de partida en porcentaje de asfalto mínimo establecido según los requisitos de dosificación para ligantes

en mezclas sin fibras incorporadas de 4.5%. Cabe mencionar que se emplea un asfalto modificado con polímeros según las recomendaciones UNE – EN 12697-18.

Tabla 8. Pesos por malla según CAD 12 (para la elaboración de briquetas)

MATERIAL	% Asfalto	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%
	Malla				
Arena Zarandeada	1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0
	3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0
	No4	278.5	277.0	275.6	274.1
	No8	33.9	33.7	33.6	33.4
	< No8	69.6	69.2	68.9	68.5
	SUB TOTAL	382.0	380.0	378.0	376.0
Arena Chancada	1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0
	3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0
	No4	302.7	301.1	299.5	297.9
	No8	35.5	35.3	35.1	35.0
	< No8	91.6	91.1	90.6	90.1
	SUB TOTAL	429.8	427.5	425.3	423.0
Cal	1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0
	3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0
	No4	0.0	0.0	0.0	0.0
	No8	0.0	0.0	0.0	0.0
	< No8	11.9	11.9	11.8	11.8
	SUB TOTAL	11.9	11.9	11.8	11.8
piedra 1/2" CRUSHING	3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0
	1/2"	180.6	179.6	178.7	177.8
	3/8"	168.1	167.2	166.3	165.4
	No4	9.8	9.8	9.7	9.7
	No8	7.1	7.1	7.0	7.0
	< No8	4.4	4.4	4.4	4.4
SUB TOTAL	370.1	368.1	366.2	364.3	
TOTAL AGREGADOS		1193.8	1187.5	1181.3	1175.0
PEN 60 - 70		56.3	62.5	68.8	75.0
TOTAL MUESTRA		1250.0	1250.0	1250.0	1250.0

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA PARA HUSO CAD 12

Al caracterizar la mezcla drenante al 4.5% de asfalto modificado se presentan los resultados en la tabla 9, donde se tienen las propiedades de pérdida de masa al cántabro de las briquetas en seco y tras inmersión. Además, se estudian las propiedades del ensayo Marshall, determinando la estabilidad y flujo los cuales de obtuvieron independientemente de las especificaciones de dosificación establecidos para las mezclas asfálticas drenantes. Es importante resaltar que la energía de compactación simulada, se realizó según el ensayo Cántabro (NTL 352 – 86) para el análisis del porcentaje de pérdida de masa en seco y tras inmersión con el equipo de abrasión los ángeles, a 300 revoluciones sin emplear la carga de las bolas metálicas y que las briquetas obtenidas presentaron buen comportamiento al realizar el ensayo de Marshall y el ensayo de Cántabro en el laboratorio.

Tabla 9. Propiedades de las briquetas de mezcla drenante al 4.5% de ligante asfáltico

BRIQUETAS		Nº	1	2	3	1	2	3
1	Cemento Asfáltico Drenante en peso de la mezcla	%	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	29.61	29.61	29.61	29.61	29.61	29.61
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	64.94	64.94	64.94	64.94	64.94	64.94
4	Filler en peso de la mezcla	%	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cc	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
6	Peso específico del agregado grueso – Bulk	gr/cc	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71
7	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cc	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
8	Peso específico del filler - aparente	gr/cc	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11
9	Peso de la briketa al aire	gr	1251.70	1244.10	1242.70	1249.60	1244.40	1249.80
10	Peso de la briketa saturada	gr	1261.10	1255.10	1254.80	1260.80	1256.90	1263.00
11	Peso de la briketa en agua	gr	632.10	626.20	615.40	626.50	630.30	616.40
12	Volumen de briketa + parafina	c.c.	629.00	628.90	639.40	634.30	626.60	646.60
13	Peso específico Bulk de la briketa	gr/cc	1.921	1.918	1.884	1.907	1.886	1.893
14	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cc	2.681	2.681	2.681	2.681	2.681	2.681
15	Peso final de la briketa en seco tras ensayo de Cántabro	gr	951.10	967.10	981.60			
16	Pérdida por desgaste en seco	%	24.02	22.27	21.01			
17	Peso final de la briketa inmersa tras ensayo de Cántabro	gr				899.10	923.60	944.60
18	Pérdida por desgaste tras inmersión	%				28.69	26.52	25.21
19	Vacíos (MTC E-505)	%	25.77	26.21	27.51	26.52	25.12	27.90

20	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cc	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71
21	V.M.A.	%	29.82	28.24	29.46	28.53	27.96	29.84
22	Vacios llenos con cemento asfáltico drenante	%	15.57	16.10	14.63	14.05	16.28	15.49
23	Peso específico del agregado total	gr/cc	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90
24	Cemento asfáltico drenante absorbido por el agregado total	%	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
25	Cemento asfáltico efectivo	%	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
26	Flujo	mm	2.49	2.19	2.54	2.37	2.28	2.39
27	Estabilidad sin corregir	kg	534.7	542.7	551.7	536.6	547.9	540.3
28	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
29	Estabilidad corregida	kg	534.70	542.70	551.70	536.60	547.90	540.30
30	Estabilidad - Flujo	kg/cm	2147.39	2478.08	2172.05	2264.14	2403.07	2260.67
31	Compactación, numero de golpes por cara		50					

Fuente: Elaboración propia

Al caracterizar la mezcla drenante al 5.0% de asfalto modificado se presentan los resultados en la tabla 10, donde se tienen las propiedades de pérdida de masa al Cántabro de las briquetas en seco y tras inmersión. Además, se estudiaron las propiedades del ensayo Marshall, determinando la estabilidad y flujo los cuales se obtuvieron independientemente de las especificaciones de dosificación establecidos para las mezclas asfálticas drenantes, cabe mencionar que las briquetas elaboradas para estos ensayos presentaron un buen comportamiento y trabajabilidad. Obteniendo así un diseño que cumpla con las especificaciones del CAD 12 para un 5.0% de asfalto modificado.

Tabla 10. Propiedades de las briquetas de mezcla drenante al 5.0% de ligante asfáltico

BRIQUETAS		Nº	1	2	3	1	2	3
1	Cemento Asfáltico Drenante en peso de la mezcla	%	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	29.45	29.45	29.45	29.45	29.45	29.45
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	64.60	64.60	64.60	64.60	64.60	64.60
4	Filler en peso de la mezcla	%	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cc	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
6	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cc	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71
7	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cc	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
8	Peso específico del filler - aparente	gr/cc	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11
9	Peso de la briketa al aire	gr	1248.70	1245.20	1246.20	1243.10	1245.30	1245.10

10	Peso de la briqueta saturada	gr	1262.00	1257.70	1259.10	1257.00	1257.50	1257.20
11	Peso de la briqueta en agua	gr	657.30	637.80	630.50	669.40	655.70	632.20
12	Volumen de briqueta + parafina	c.c.	604.70	619.90	628.60	587.60	601.80	625.00
13	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cc	1.955	1.929	1.943	1.936	1.955	1.912
14	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cc	2.660	2.660	2.660	2.660	2.660	2.660
15	Peso final de la briqueta en seco tras ensayo de Cántabro	gr	1024.20	995.60	1015.20			
16	Pérdida por desgaste en seco	%	17.98	20.04	18.54			
17	Peso final de la briqueta inmersa tras ensayo de Cántabro	gr				971.20	940.70	958.70
18	Pérdida por desgaste tras inmersión	%				22.74	25.19	23.74
19	Vacíos (MTC E-505)	%	22.37	24.48	25.47	23.47	22.21	25.11
20	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cc	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71
21	V.M.A.	%	27.56	26.53	25.45	26.78	27.41	25.91
22	Vacíos llenos con cemento asfáltico drenante	%	18.83	17.41	19.08	17.88	18.17	19.41
23	Peso específico del agregado total	gr/cc	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91
24	Cemento asfáltico drenante absorbido por el agregado total	%	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56
25	Cemento asfáltico efectivo	%	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59
26	Flujo	mm	2.74	2.66	2.49	2.59	2.50	2.73
27	Estabilidad sin corregir	kg	553.4	552.9	561.2	571.8	558.1	565.4
28	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
29	Estabilidad corregida	kg	553.40	552.90	561.20	571.80	558.10	565.40
30	Estabilidad - Flujo	kg/cm	2019.71	2078.57	2253.82	2207.72	2232.40	2071.06
31	Compactación, número de golpes por cara		50					

Fuente: Elaboración propia

Al caracterizar la mezcla drenante al 5.5% de asfalto modificado se presentan los resultados en la tabla 11, donde se tienen las propiedades de pérdida de masa al cántabro de las briquetas en seco y tras inmersión. Además, se estudian las propiedades del ensayo Marshall, determinando la estabilidad y flujo los cuales de obtuvieron independientemente de las especificaciones de dosificación establecidos para las mezclas asfálticas drenantes, cabe mencionar que las briquetas elaboradas para estos ensayos presentaron un buen comportamiento y trabajabilidad. Obteniendo así un diseño que cumpla con las especificaciones del CAD 12 para un 5.5% de asfalto modificado.

Tabla 11. Propiedades de las briquetas de mezcla drenante al 5.5% de ligante asfáltico

BRIQUETAS		Nº	1	2	3	1	2	3
1	Cemento Asfáltico Drenante en peso de la mezcla	%	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	29.30	29.30	29.30	29.30	29.30	29.30
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	64.26	64.26	64.26	64.26	64.26	64.26
4	Filler en peso de la mezcla	%	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cc	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
6	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cc	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71
7	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cc	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
8	Peso específico del filler - aparente	gr/cc	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11
9	Peso de la briketa al aire	gr	1248.50	1245.10	1244.50	1243.40	1245.20	1247.50
10	Peso de la briketa saturada	gr	1260.40	1254.30	1256.60	1257.20	1257.60	1258.70
11	Peso de la briketa en agua	gr	682.10	655.20	669.10	666.90	675.40	677.50
12	Volumen de briketa + parafina	c.c.	578.30	599.10	587.50	590.30	582.20	581.20
13	Peso específico Bulk de la briketa	gr/cc	1.995	2.028	1.988	1.996	2.019	2.017
14	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cc	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641
15	Peso final de la briketa en seco tras ensayo de Cántabro	gr	1064.10	1072.50	1091.20	GueAP-10-tesis	GueAP-10-tesis	GueAP-10-tesis
16	Pérdida por desgaste en seco	%	14.77	13.86	12.32	GueAP-10-tesis	GueAP-10-tesis	GueAP-10-tesis
17	Peso final de la briketa inmersa tras ensayo de Cántabro	gr	GueAP-10-tesis	GueAP-10-tesis	GueAP-10-tesis	1019.60	998.20	985.20
18	Pérdida por desgaste tras inmersión	%	GueAP-10-tesis	GueAP-10-tesis	GueAP-10-tesis	18.90	20.63	21.73
19	Vacíos (MTC E-505)	%	18.25	21.31	19.79	20.24	19.02	18.73
20	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cc	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71
21	V.M.A.	%	29.66	27.48	28.08	28.61	28.36	29.10
22	Vacíos llenos con cemento asfáltico drenante	%	22.46	23.35	21.52	23.60	21.95	22.65
23	Peso específico del agregado total	gr/cc	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91
24	Cemento asfáltico drenante absorbido por el agregado total	%	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62
25	Cemento asfáltico efectivo	%	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05
26	Flujo	mm	2.90	2.75	2.61	2.78	2.80	2.63
27	Estabilidad sin corregir	kg	558.2	554.6	537.1	544.5	542.6	549.7
28	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
29	Estabilidad corregida	kg	558.20	554.60	537.10	544.50	542.60	549.70
30	Estabilidad - Flujo	kg/cm	1924.83	2016.73	2057.85	1958.63	1937.86	2090.11
31	Compactación, numero de golpes por cara		50					

Fuente: Elaboración propia

Al caracterizar la mezcla drenante al 6.0% de asfalto modificado se presentan los resultados en la tabla 12, donde se tienen las propiedades de

pérdida de masa al cántabro de las briquetas en seco y tras inmersión. Además, se estudian las propiedades del ensayo Marshall, determinando la estabilidad y flujo los cuales se obtuvieron independientemente de las especificaciones de dosificación establecidos para las mezclas asfálticas drenantes, cabe mencionar que las briquetas elaboradas para estos ensayos presentaron un buen comportamiento y trabajabilidad. Obteniendo así un diseño que cumpla con las especificaciones del CAD 12 para un 6.0% de asfalto modificado.

Tabla 12. Propiedades de las briquetas de mezcla drenante al 6% de ligante asfáltico

BRIQUETAS		Nº	1	2	3	1	2	3
1	Cemento Asfáltico Drenante en peso de la mezcla	%	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	29.14	29.14	29.14	29.14	29.14	29.14
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	63.92	63.92	63.92	63.92	63.92	63.92
4	Filler en peso de la mezcla	%	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cc	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
6	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cc	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71
7	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cc	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
8	Peso específico del filler - aparente	gr/cc	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11
9	Peso de la briketa al aire	gr	1248.60	1243.80	1244.70	1247.90	1245.20	1248.30
10	Peso de la briketa saturada	gr	1255.40	1252.20	1255.90	1258.60	1254.80	1260.40
11	Peso de la briketa en agua	gr	684.90	696.20	678.50	693.40	683.60	697.10
12	Volumen de briketa + parafina	c.c.	570.50	556.00	577.40	565.20	571.20	563.30
13	Peso específico Bulk de la briketa	gr/cc	2.089	2.117	2.106	2.068	2.120	2.076
14	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cc	2.616	2.616	2.616	2.616	2.616	2.616
15	Peso final de la briketa en seco tras ensayo de Cántabro	gr	1117.40	1101.30	1131.80			
16	Pérdida por desgaste en seco	%	10.51	11.46	9.07			
17	Peso final de la briketa inmersa tras ensayo de Cántabro	gr				1031.80	1065.20	1057.30
18	Pérdida por desgaste tras inmersión	%				18.02	15.11	16.11
19	Vacios (MTC E-505)	%	16.34	14.49	17.60	15.60	16.67	15.29
20	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cc	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71
21	V.M.A.	%	31.03	29.35	31.67	30.16	30.33	29.98
22	Vacios llenos con cemento asfáltico drenante	%	27.35	24.90	25.68	25.99	26.75	26.43
23	Peso específico del agregado total	gr/cc	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91
24	Cemento asfáltico drenante absorbido por el agregado total	%	2.57	2.57	2.57	2.57	2.57	2.57
25	Cemento asfáltico efectivo	%	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61
26	Flujo	mm	3.12	2.95	2.81	2.85	3.02	3.11

27	Estabilidad sin corregir	kg	547.9	528.4	537.1	531.4	550.7	542.1
28	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
29	Estabilidad corregida	kg	547.90	528.40	537.10	531.40	550.70	542.10
30	Estabilidad - Flujo	kg/cm	1756.09	1791.19	1911.39	1864.56	1823.51	1743.09
31	Compactación, numero de golpes por cara		50					

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el análisis gráfico de cada propiedad inherente de las mezclas asfálticas drenantes, obtenidas mediante los respectivos ensayos para cumplir las especificaciones para mezclas CAD 12.

En la figura 8, se presenta gráficamente el comportamiento de la pérdida de masa por desgaste en seco mediante el ensayo Cántabro, ante la variación del ligante asfáltico modificado con polímeros. Se puede observar que los valores obtenidos presentan una tendencia negativa y que cumplen con ser menores a la pérdida máxima por desgaste en seco de 25%, según las especificaciones para mezclas CAD 12.

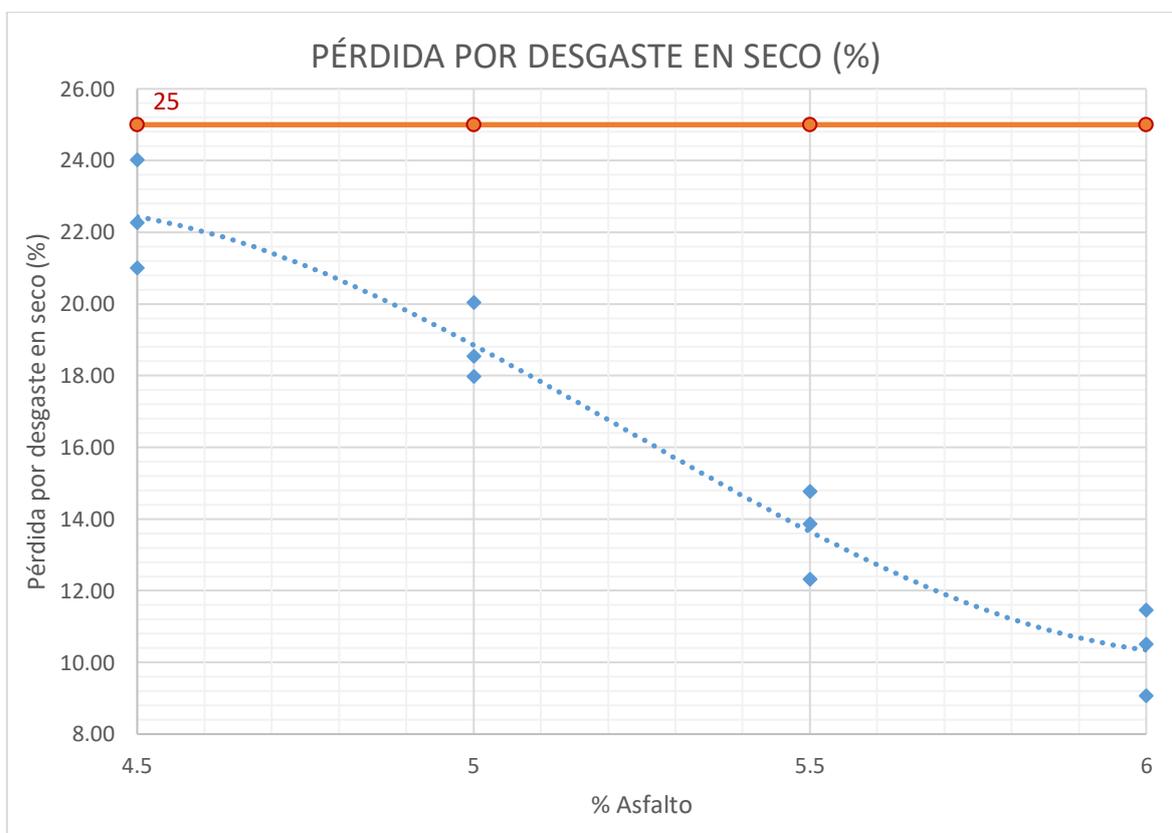


Figura 8. Porcentaje de Pérdida por desgaste en seco ante variación de asfalto modificado

Fuente: Elaboración propia

En la figura 9, se presenta gráficamente el comportamiento de la pérdida de masa por desgaste tras inmersión mediante el ensayo Cántabro, ante la variación del ligante asfáltico modificado con polímeros. Se puede observar que los valores obtenidos presentan una tendencia negativa y que cumplen con ser menores a la pérdida máxima por desgaste tras inmersión de 30%, según las especificaciones para mezclas CAD 12.

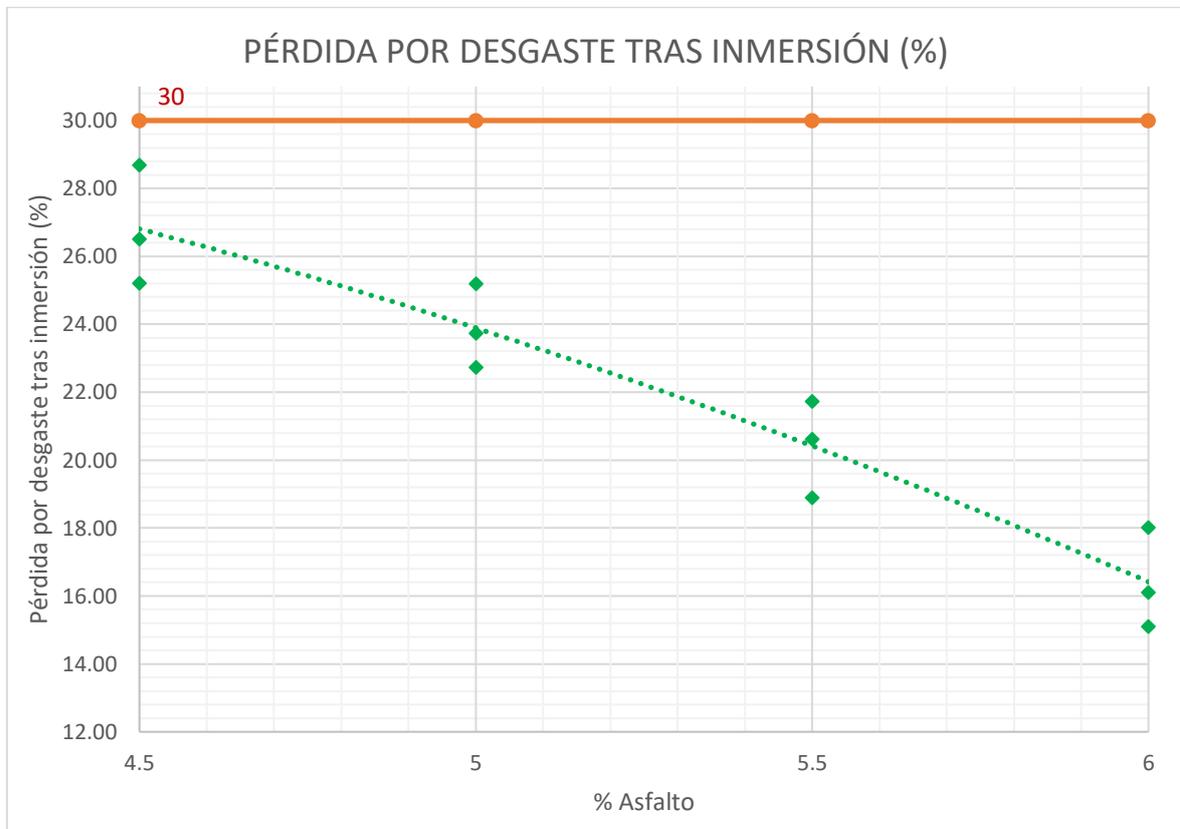


Figura 9. Porcentaje de Pérdida por desgaste tras inmersión ante variación de asfalto modificado

Fuente: Elaboración propia

En la figura 10, se presenta el comportamiento gráfico del porcentaje de vacíos de la mezcla drenante ante la variación del ligante asfáltico modificado. Se puede observar que los porcentajes de vacíos de aire presentan una tendencia negativa y que cumplen con ser mayores al porcentaje de vacíos mínimo de 20% para los porcentajes de ligante asfáltico modificado de 4.5% y 5%, según las especificaciones del CAD 12, mientras que los valores para 5.5% y 6% de ligante asfáltico modificado los valores no cumplen con las especificaciones.

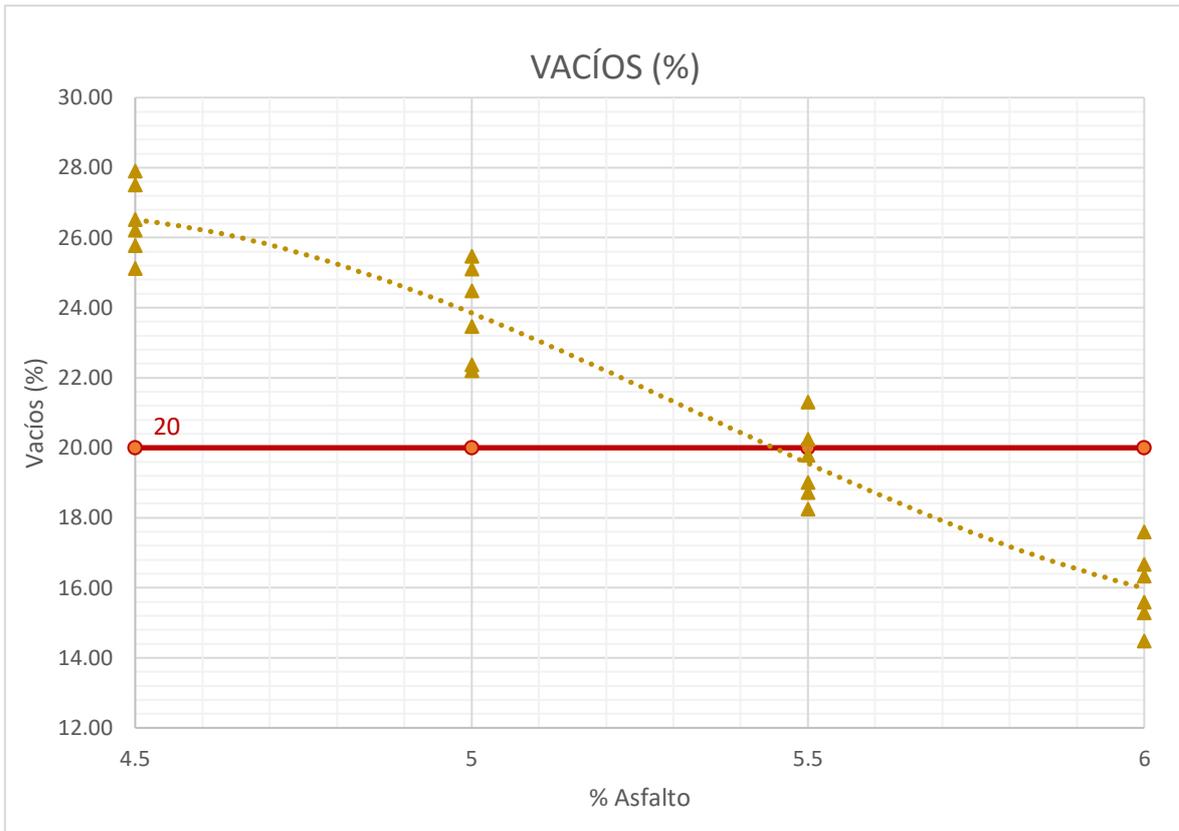


Figura 10. Porcentaje de vacíos ante variación de asfalto modificado

Fuente: Elaboración propia

Se presenta el comportamiento gráfico del peso unitario en la mezcla drenante propuesta en la figura 11, donde se puede observar una tendencia positiva y que los valores obtenidos cumplen con las especificaciones del diseño de mezclas asfálticas CAD 12. También se puede apreciar que se cuentan con 6 datos por porcentaje de ligante asfáltico, ya que se pudo realizar este ensayo para las muestras elaboradas en seco y tras inmersión.

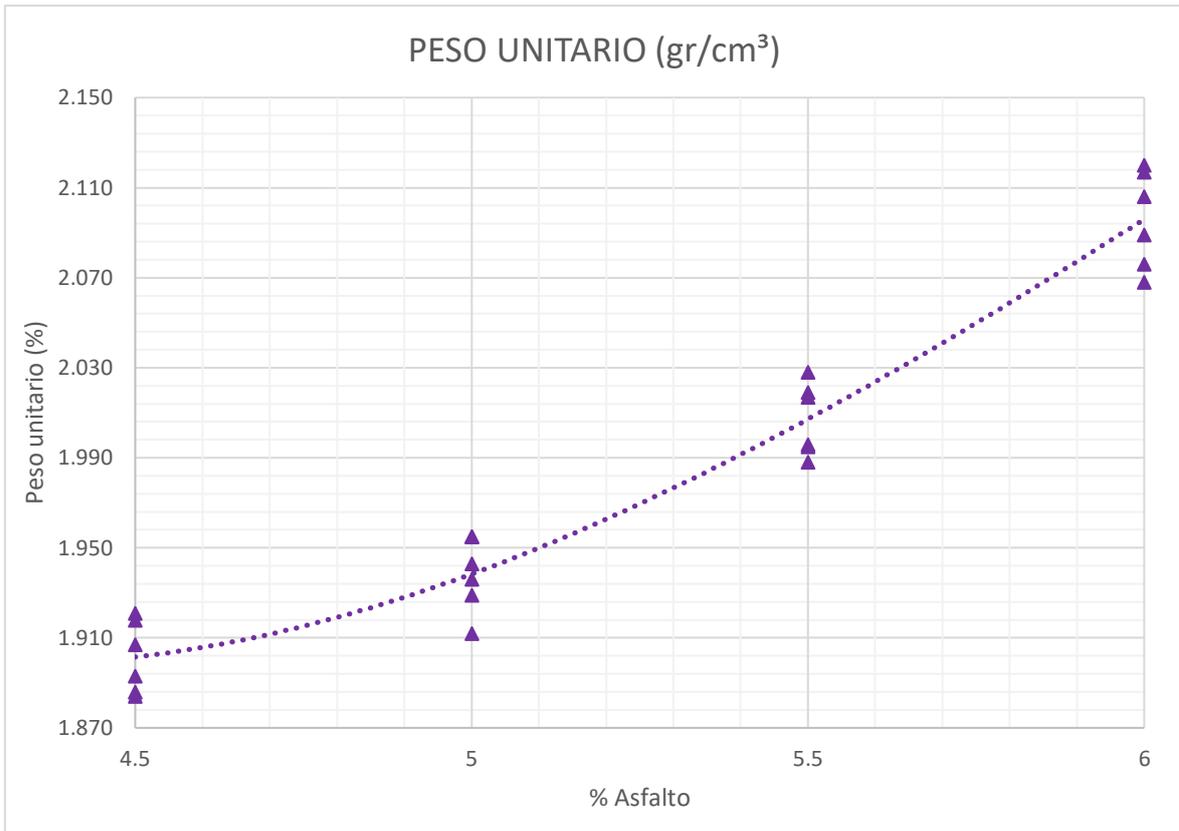


Figura 11. Peso unitario (gr/cm³) ante variación de asfalto modificado

Fuente: Elaboración propia

Se presenta el comportamiento gráfico del porcentaje de vacíos de agregado mineral de la mezcla drenante ante la variación del ligante asfáltico modificado con polímeros en la figura 12, donde se puede observar que los valores obtenidos cumplen con las especificaciones del diseño de mezclas asfálticas CAD 12. También se puede apreciar que se cuentan con 6 datos por porcentaje de ligante asfáltico, ya que se pudo realizar este ensayo para las muestras elaboradas en seco y tras inmersión.

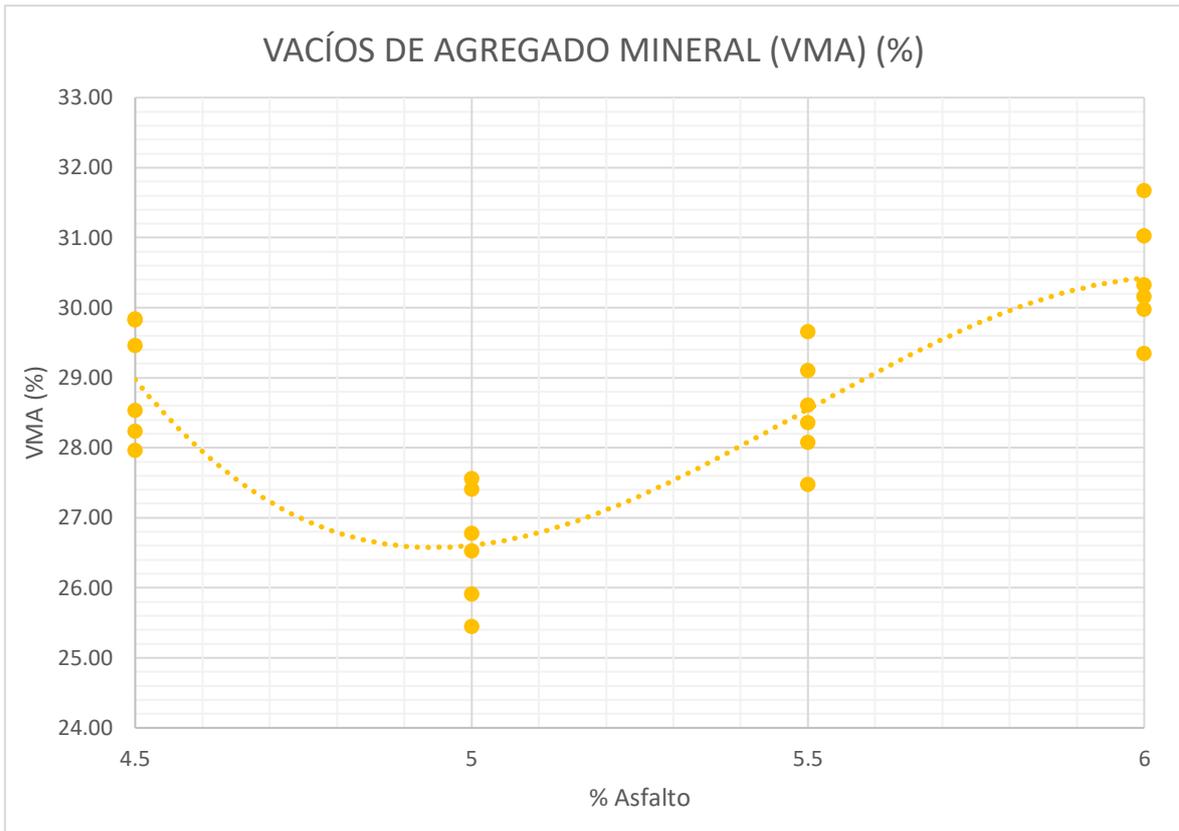


Figura 12. Porcentaje de vacíos de agregado mineral ante variación de asfalto modificado

Fuente: Elaboración propia

Se presenta el comportamiento gráfico del porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico de la mezcla drenante ante la variación del ligante asfáltico modificado con polímeros en la figura 13, donde se puede observar una tendencia positiva y que los valores obtenidos cumplen con las especificaciones del diseño de mezclas asfálticas CAD 12. También se puede apreciar que se cuentan con 6 datos por porcentaje de ligante asfáltico, ya que se pudo realizar este ensayo para las muestras elaboradas en seco y tras inmersión.

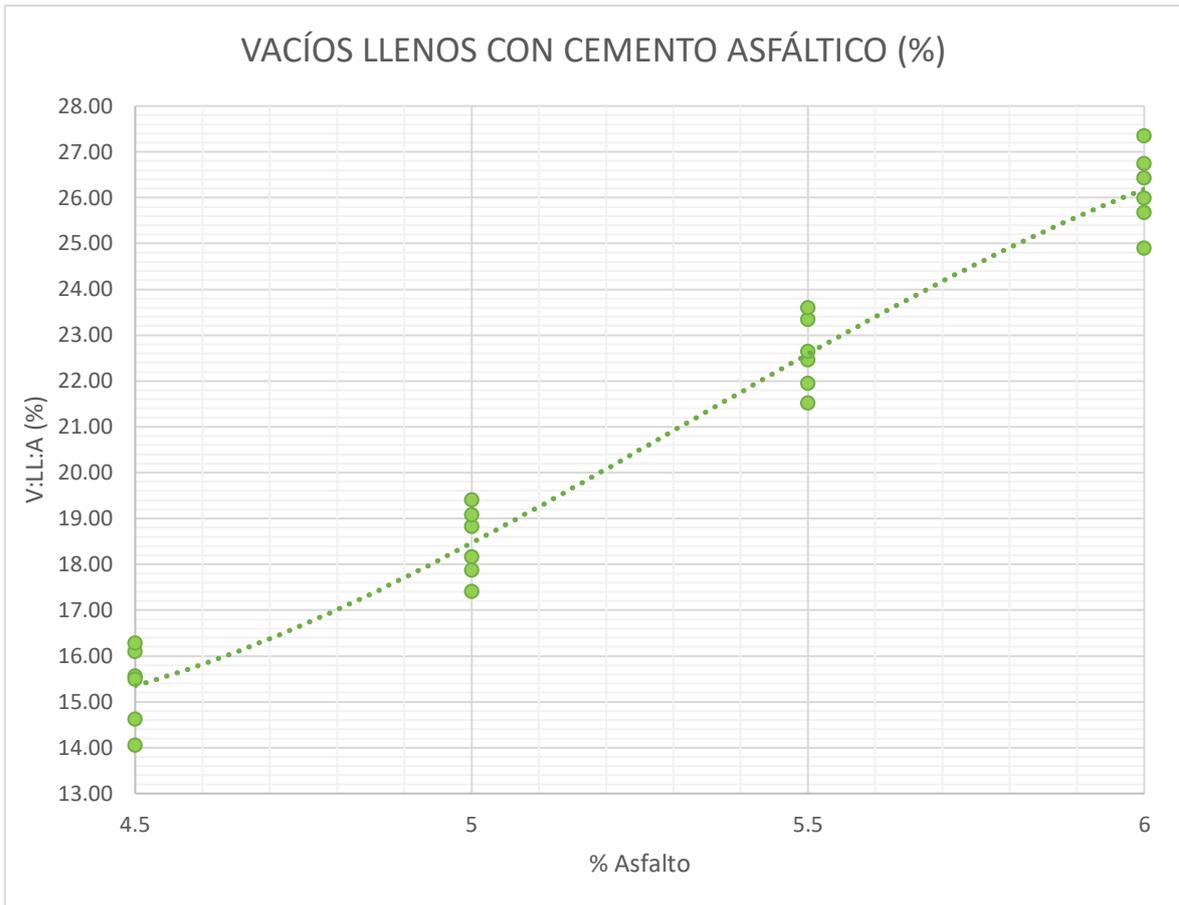


Figura 13. Porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico ante variación de asfalto modificado

Fuente: Elaboración propia

Además de las especificaciones de dosificación para mezclas CAD 12, se presentan las propiedades especificadas por el ensayo de Marshall, ya que es importante tener en cuenta la normativa vigente nacional. Por lo que se presenta el análisis gráfico de la estabilidad y el flujo para la mezcla asfáltica drenante ante la variación del ligante asfáltico modificado.

Se presenta el comportamiento gráfico de la estabilidad ante la variación del ligante asfáltico modificado con polímeros en la figura 14, donde se puede observar que los datos de estabilidad presentan una tendencia negativa y que todos los resultados se encuentran por debajo del valor de estabilidad mínima permitida según el ensayo de Marshall, tener en cuenta que se cuentan con 6 datos por porcentaje de ligante asfáltico, ya que se pudo realizar este ensayo para las muestras elaboradas en seco y tras inmersión.

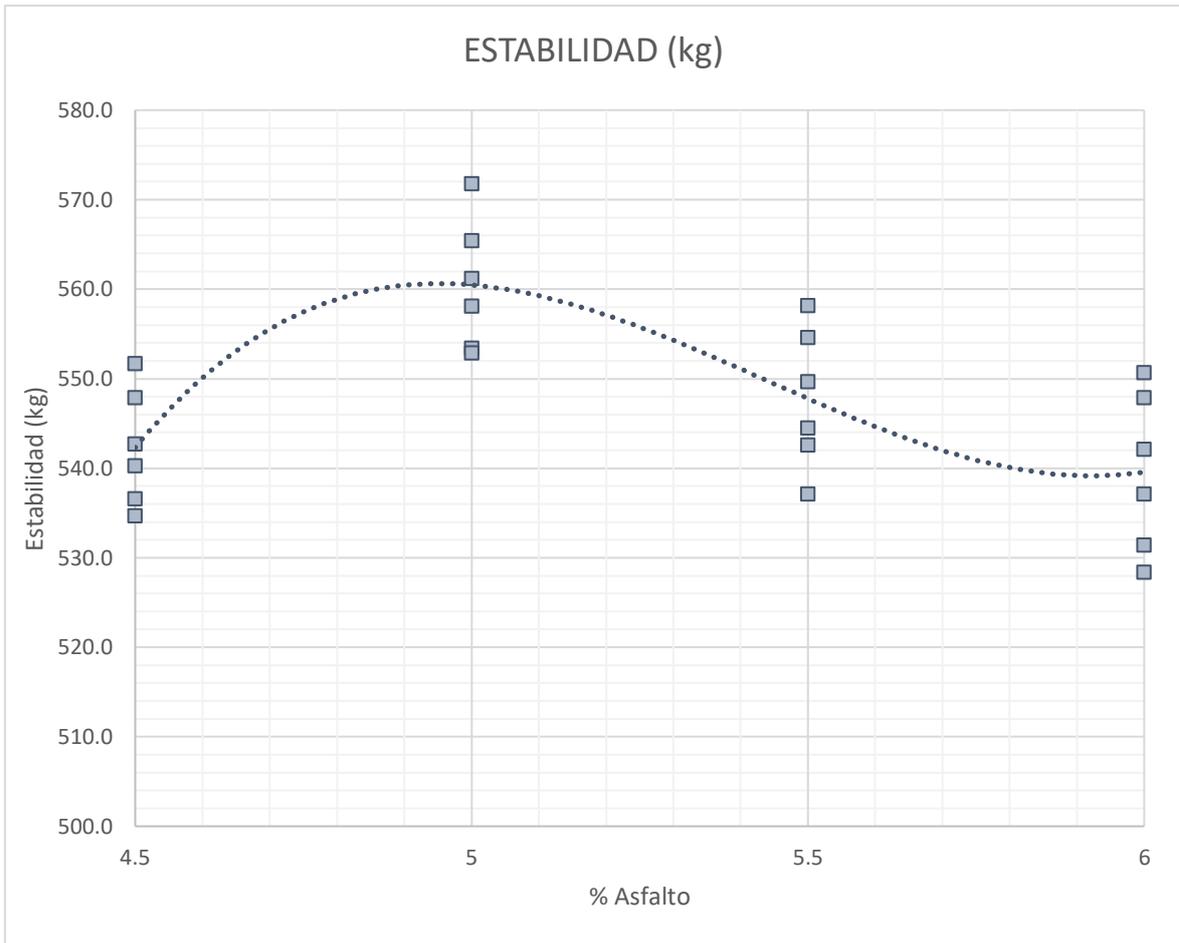


Figura 14. Estabilidad (kg) ante variación de asfalto modificado

Fuente: Elaboración propia

Se presenta el comportamiento gráfico del flujo ante la variación del ligante asfáltico modificado con polímeros en la figura 15, donde se puede observar que los datos de flujo presentan una tendencia ligeramente positiva y que todos los resultados obtenidos se encuentran dentro de los límites permitidos en la norma del ensayo de Marshall, tener en cuenta que se cuentan con 6 datos por porcentaje de ligante asfáltico, ya que se pudo realizar este ensayo para las muestras elaboradas en seco y tras inmersión.

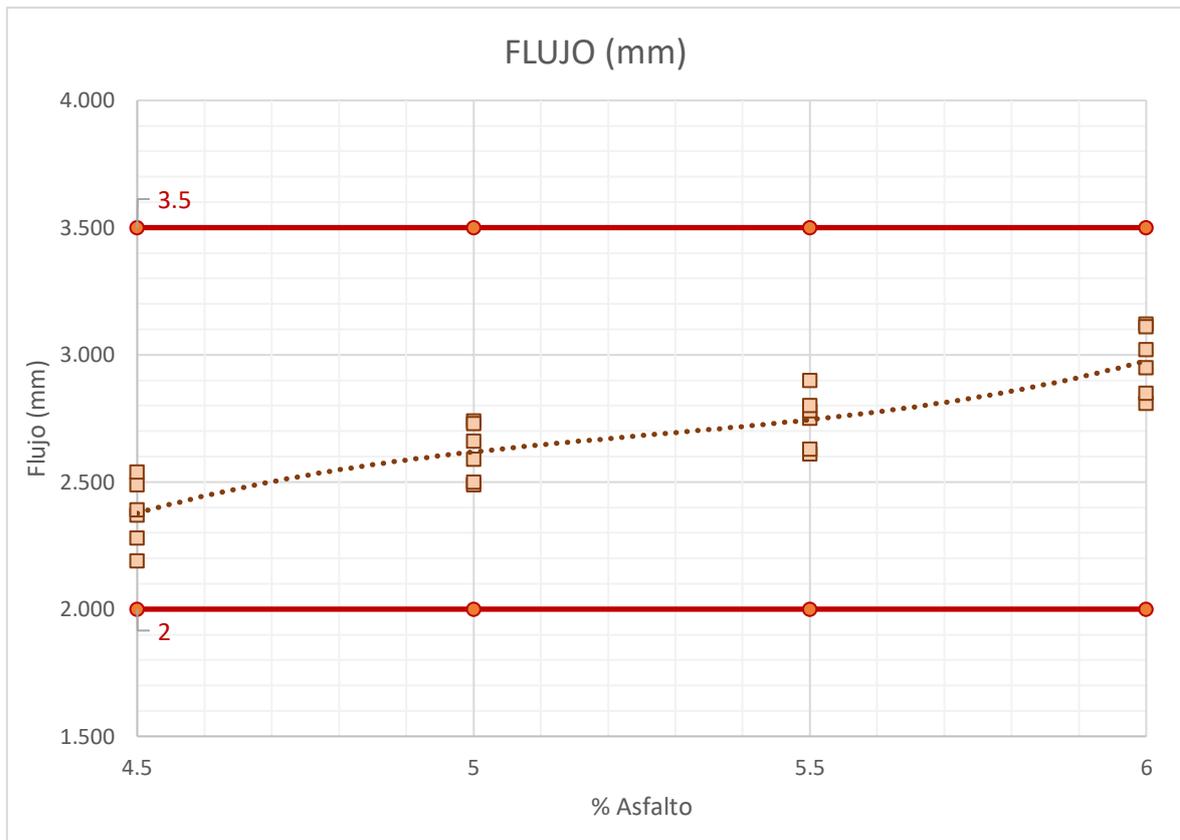


Figura 15. Flujo (mm) ante variación de asfalto modificado

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. OE 1 – INFILTRACIÓN EN LAS MEZCLAS DRENANTES PROPUESTAS

Para llegar a los objetivos planteados, como primer paso, es necesario conocer los porcentajes de vacíos del diseño de mezcla asfáltica drenante obtenidos por cada porcentaje de ligante asfáltico del 4.5% al 6.0%. Los ensayos de laboratorio fueron realizados con la precaución de obtener briquetas con las medidas y pesos correctos, debido a que es una mezcla porosa la que se empleó corre el riesgo de que la cantidad de vacíos sea muy elevada, por ello se eligieron las briquetas que cumplan con las características correctas para los ensayos de permeabilidad y los ensayos de Marshall. A continuación, en la tabla 13 se presentan los porcentajes de vacíos en relación al porcentaje de ligante asfáltico modificado con polímeros, los cuales se hallaron para una muestra de seis briquetas, debido a que se elaboró una briketa adicional por cada briketa a analizar al Cántabro.

Tabla 13. Porcentaje de vacíos en función del porcentaje asfáltico

	4.5%						5.0%					
N° DE MUESTRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
% VACÍOS	26.02	27.97	27.79	28.42	27.21	25.32	24.04	20.93	20.48	22.26	25.29	23.82
	5.5%						6.0%					
N° DE MUESTRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
% VACÍOS	19.03	20.93	17.53	21.42	22.34	21.73	13.28	15.80	17.17	14.76	17.99	15.30

Fuente: Elaboración propia

En la figura 16, se presenta la gráfica del porcentaje de vacíos obtenida por cada porcentaje de ligante asfáltico modificado con polímeros, observándose que se presenta una tendencia negativa y que para los porcentajes de ligante asfáltico de 4.5% y 5.5% se cumple con ser mayores al porcentaje mínimo de 20% según las especificaciones para diseño de mezcla asfáltica drenante.

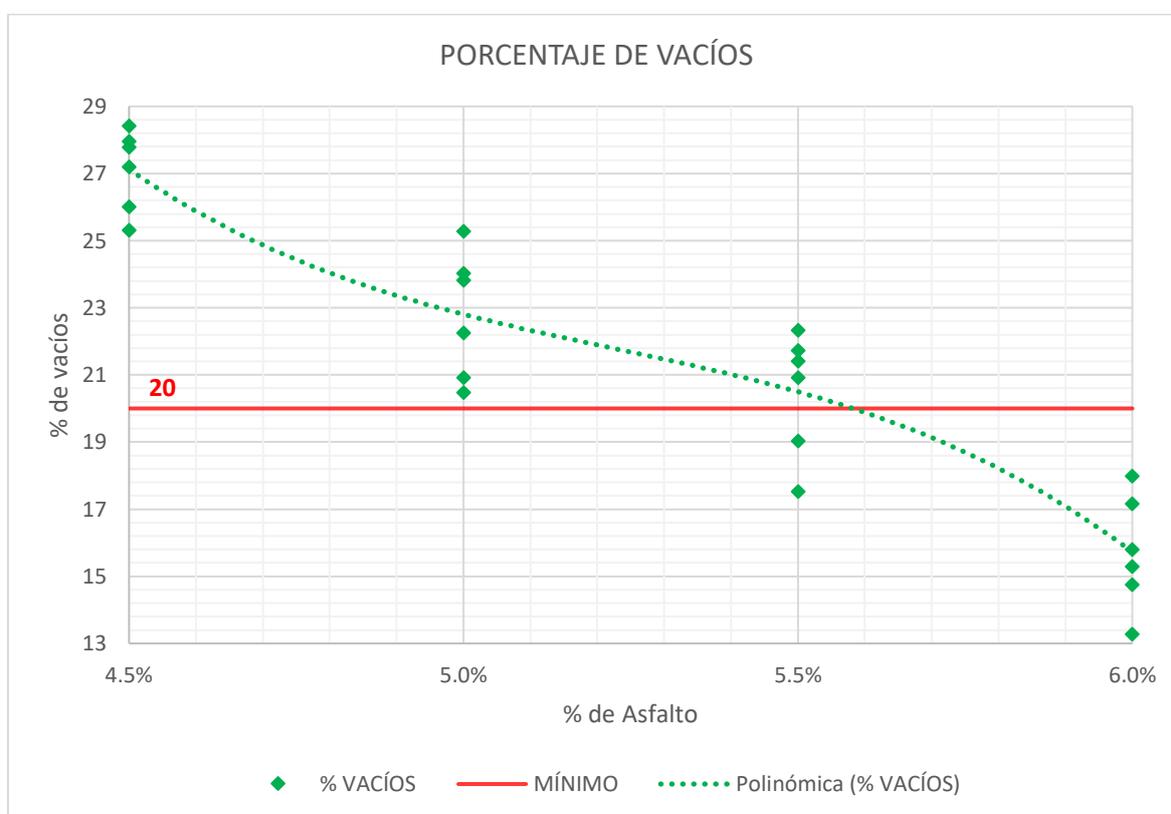


Figura 16. Porcentaje de vacíos (%) en función del porcentaje de asfalto (%)

Fuente: Elaboración propia

Además, se realizó el ensayo de permeabilidad empleando la normativa Inviás artículo 453-07, en el que se usó como volumen de ensayo 100 cm³ de agua destilada, se calculó el tiempo de evacuación en segundos y finalmente se halló el volumen de evacuación para cada briqueta.

En la tabla 14, se presentan los resultados del volumen de evacuación de aguas pluviales, el cual nos sirve para medir la capacidad de infiltración. Los resultados se obtuvieron para una muestra de 6 briquetas en relación a cada porcentaje de ligante asfáltico modificado con polímeros.

Tabla 14. Permeabilidad en función del porcentaje de asfalto

% DE LIGANTE ASFÁLTICO	4.5%						5.0%					
N° DE MUESTRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
% VACÍOS	26.02	27.97	27.79	28.42	27.21	25.32	24.04	20.93	20.48	22.26	25.29	23.82
VOLUMEN DE ENSAYO (cm ³)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
TIEMPO DE EVACUACIÓN (seg)	8.4	7.8	6.4	6.6	7.6	5.9	9.4	11.2	10.7	8.5	10.3	12.1
PERMEABILIDAD (cm ³ /seg)	11.90	12.82	15.63	15.15	13.16	16.95	10.64	8.93	9.35	11.76	9.71	8.26
% DE LIGANTE ASFÁLTICO	5.5%						6.0%					
N° DE MUESTRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
% VACÍOS	19.03	20.93	17.53	21.42	22.34	21.73	13.28	15.80	17.17	14.76	17.99	15.30
VOLUMEN DE ENSAYO (cm ³)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
TIEMPO DE EVACUACIÓN (seg)	14.8	10.6	14.2	14.4	13.6	12.3	16.6	21.1	16.7	15.8	18.5	19.3
PERMEABILIDAD (cm ³ /seg)	6.76	9.43	7.04	6.94	7.35	8.13	6.02	4.74	5.99	6.33	5.41	5.18

Fuente: Elaboración propia

En la figura 17, se presenta el comportamiento gráfico de los tiempos de evacuación que se generan por cada porcentaje de ligante asfáltico modificado con polímeros. También se observa que el comportamiento gráfico es negativo, pudiendo inferir que a mayor porcentaje de vacíos menor es el tiempo de evacuación y que para el 4.5% de ligante asfáltico se da el menor tiempo de evacuación con un porcentaje de vacíos de 26.8% y para el 6.0% de ligante asfáltico se da el mayor tiempo de evacuación con un 15.7% de porcentaje de vacíos.

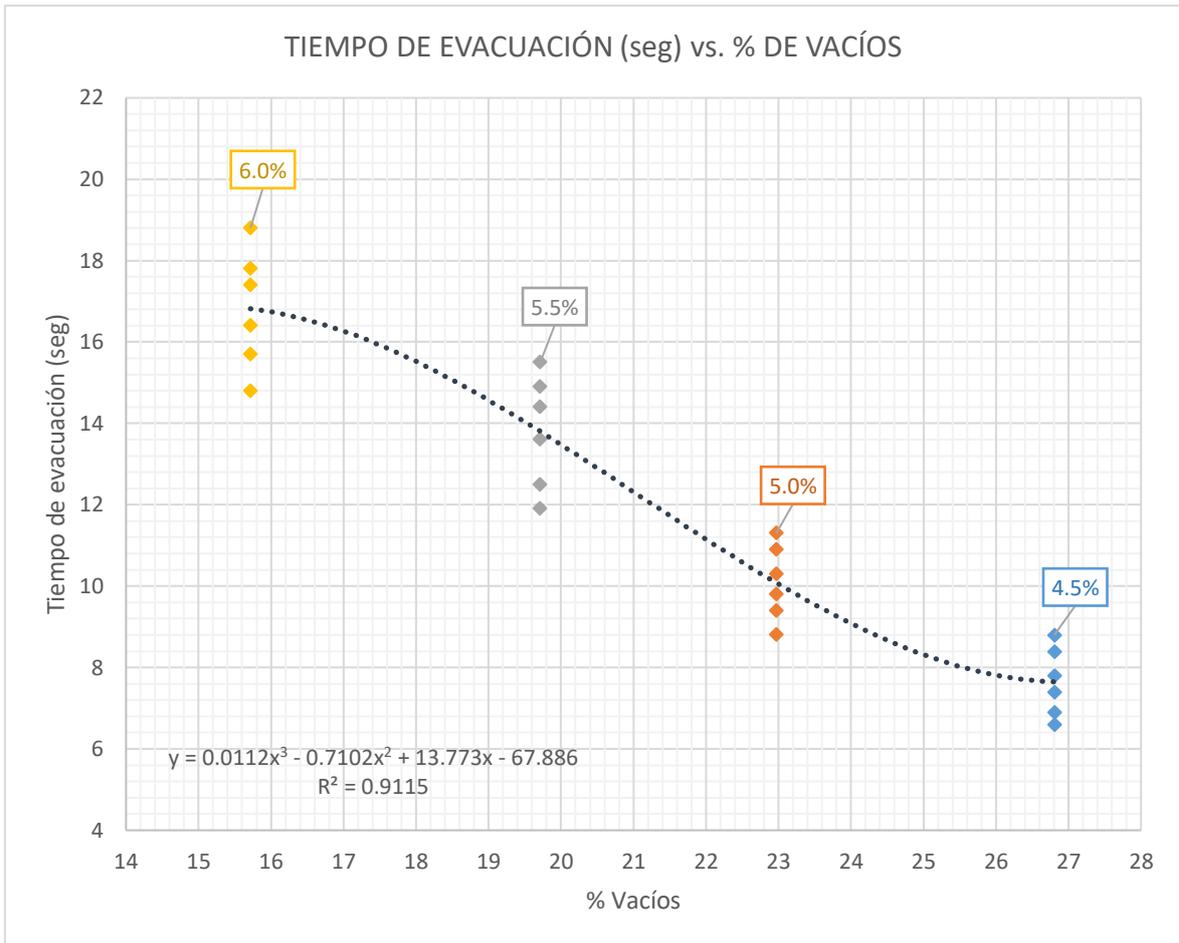


Figura 17. Gráfica de tiempo de evacuación (seg) vs. Porcentaje de vacíos (%)

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el efecto del porcentaje de vacíos en la capacidad de infiltración se realizó una gráfica de la relación entre la permeabilidad y el porcentaje de vacíos por cada porcentaje de ligante asfáltico modificado con polímeros.

En la figura 18, se presenta el comportamiento gráfico de la permeabilidad con relación a los porcentajes de vacíos, ambos datos obtenidos para las briquetas elaboradas con 4.5% al 6.0% de ligante asfáltico modificado con polímeros. Se puede observar en la gráfica que se muestra una tendencia positiva, en el que a mayor porcentaje de vacíos mayor es la permeabilidad, además que para el 6% de ligante asfáltico los resultados no son mayores al valor mínimo de permeabilidad de 6.7 cm³/seg según la normativa Invías.

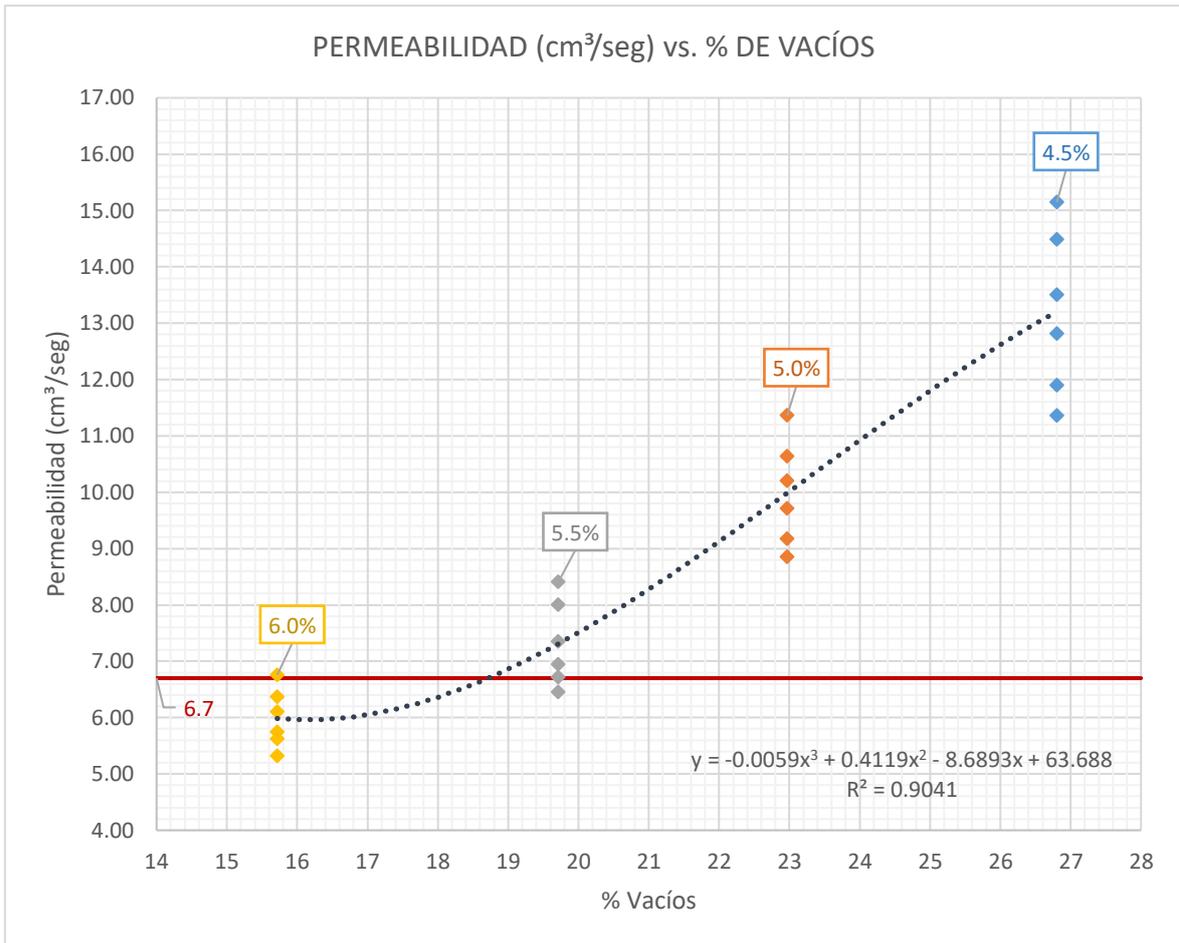


Figura 18. Permeabilidad (cm³/seg) vs. Porcentaje de vacíos (%)

Fuente: Elaboración propia

Para caracterizar de manera completa la mezcla asfáltica diseñada empleando el huso CAD 12, también se determinó la densidad geométrica en seco y saturado. Empleando los datos de las briquetas diseñadas se pudieron obtener los pesos en seco y pesos saturados para cada porcentaje de ligante asfáltico modificado con polímeros.

En la tabla 15, se presentan los resultados de la densidad geométrica en seco obtenida en relación a los porcentajes de vacíos por cada porcentaje de ligante asfáltico modificado.

Tabla 15. Densidad geométrica en seco en función del porcentaje de asfalto

% ASFALTO	4.5%						5.0%					
N° DE MUESTRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
PESO DE BRIQUETA SECO (gr)	1242.4	1250.4	1243.0	1244.8	1246.5	1244.3	1248.6	1250.4	1244.2	1249.8	1246.2	1241.9
VOLUMEN GEOMÉTRICO (cm ³)	659.2	664.4	656.8	660.2	654.1	655.4	644.3	655.8	647.3	648.4	649.8	649.3
DENSIDAD GEOMÉTRICA EN SECO (gr/cm ³)	1.885	1.882	1.893	1.885	1.906	1.899	1.938	1.907	1.922	1.928	1.918	1.913
% ASFALTO	5.5%						6.0%					
N° DE MUESTRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
PESO DE BRIQUETA SECO (gr)	1250.2	1251.0	1248.3	1244.6	1250.5	1250.7	1249.6	1250.1	1248.7	1249.2	1249.9	1245.3
VOLUMEN GEOMÉTRICO (cm ³)	640.7	635.8	643.6	642.5	638.9	638.1	634.8	629.6	637.2	635.2	632.1	631.8
DENSIDAD GEOMÉTRICA EN SECO (gr/cm ³)	1.951	1.968	1.940	1.937	1.957	1.960	1.968	1.986	1.960	1.967	1.977	1.971

Fuente: Elaboración propia

En la figura 19, se presenta el comportamiento gráfico de la densidad geométrica en seco con relación a los porcentajes de vacíos, ambos datos obtenidos para las briquetas elaboradas con 4.5%, 5.0%, 5.5% y 6.0% de ligante asfáltico modificado con polímeros. Además, se puede observar en la gráfica que se muestra una tendencia negativa, en el que a mayor porcentaje de vacíos menor es la densidad geométrica en seco.

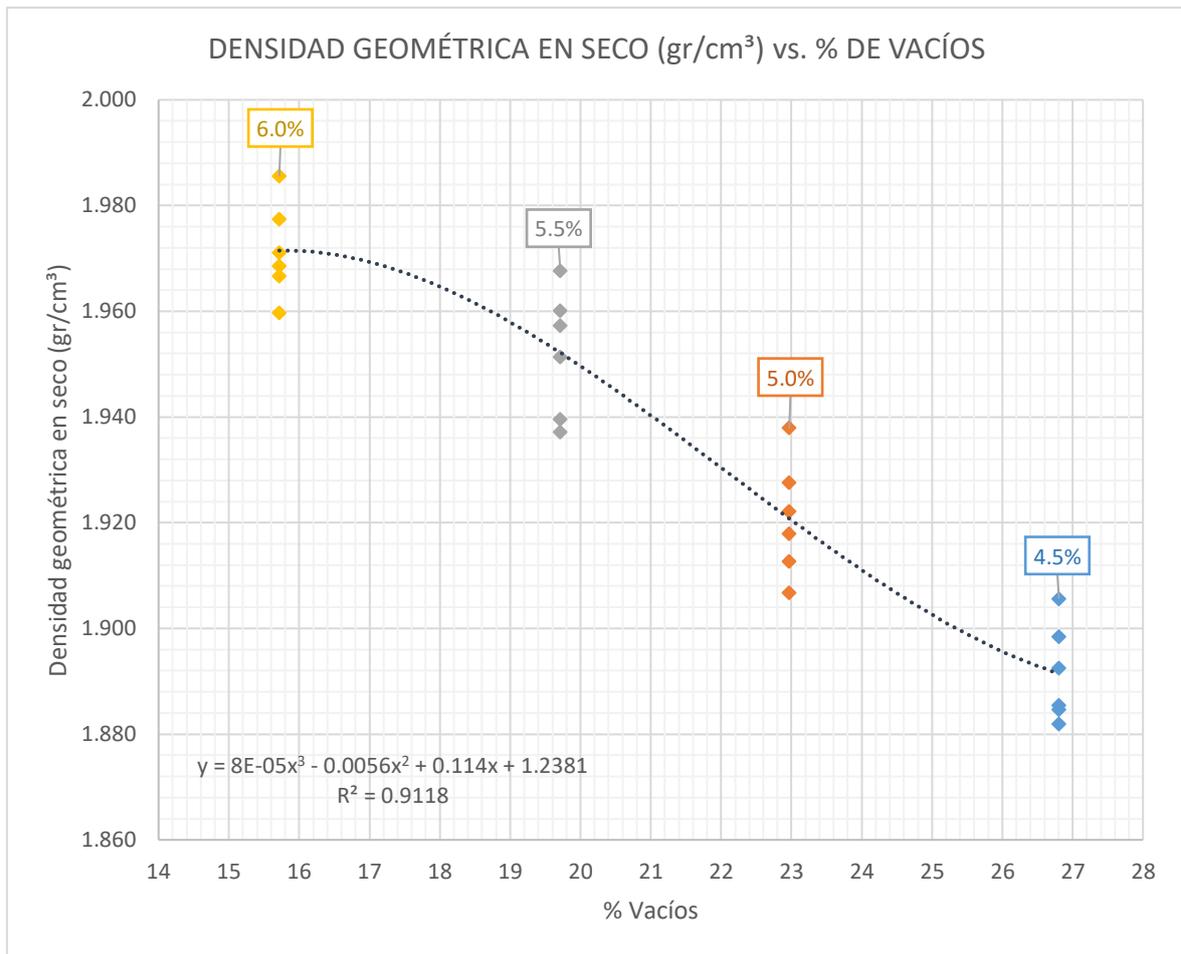


Figura 19. Densidad geométrica en seco (cm³/seg) vs. Porcentaje de vacíos (%)

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 16, se presentan los resultados de la densidad geométrica saturada obtenida en relación a los porcentajes de vacíos por cada porcentaje de ligante asfáltico modificado.

Tabla 16. Densidad geométrica saturada en función del porcentaje de asfalto

% ASFALTO	4.5%						5.0%						
	N° DE MUESTRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
PESO DE BRIQUETA SECO (gr)		1261.8	1258.7	1254.2	1255.2	1259.4	1257.1	1255.1	1261.9	1258.1	1255.3	1255.2	1258.9
VOLUMEN GEOMÉTRICO (cm ³)		659.2	664.4	656.8	660.2	654.1	655.4	644.3	655.8	647.3	648.4	649.8	649.3
DENSIDAD GEOMÉTRICA SATURADA (gr/cm ³)		1.914	1.894	1.910	1.901	1.925	1.918	1.948	1.924	1.944	1.936	1.932	1.939

% ASFALTO	5.5%						6.0%					
N° DE MUESTRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
PESO DE BRIQUETA SECO (gr)	1257.8	1255.0	1261.1	1254.8	1256.6	1260.7	1260.0	1258.0	1254.0	1255.8	1260.4	1260.7
VOLUMEN GEOMÉTRICO (cm ³)	640.7	635.8	643.6	642.5	638.9	638.1	634.8	629.6	637.2	635.2	632.1	631.8
DENSIDAD GEOMÉTRICA SATURADA (gr/cm ³)	1.963	1.974	1.959	1.953	1.967	1.976	1.985	1.998	1.968	1.977	1.994	1.995

Fuente: Elaboración propia

En la figura 20, se presenta el comportamiento gráfico de la densidad geométrica saturada con relación a los porcentajes de vacíos, ambos datos obtenidos para las briquetas elaboradas con 4.5%, 5.0%, 5.5% y 6.0% de ligante asfáltico modificado con polímeros. Además, se puede observar en la gráfica que se muestra una tendencia negativa, en el que a mayor porcentaje de vacíos menor es la densidad geométrica saturada.

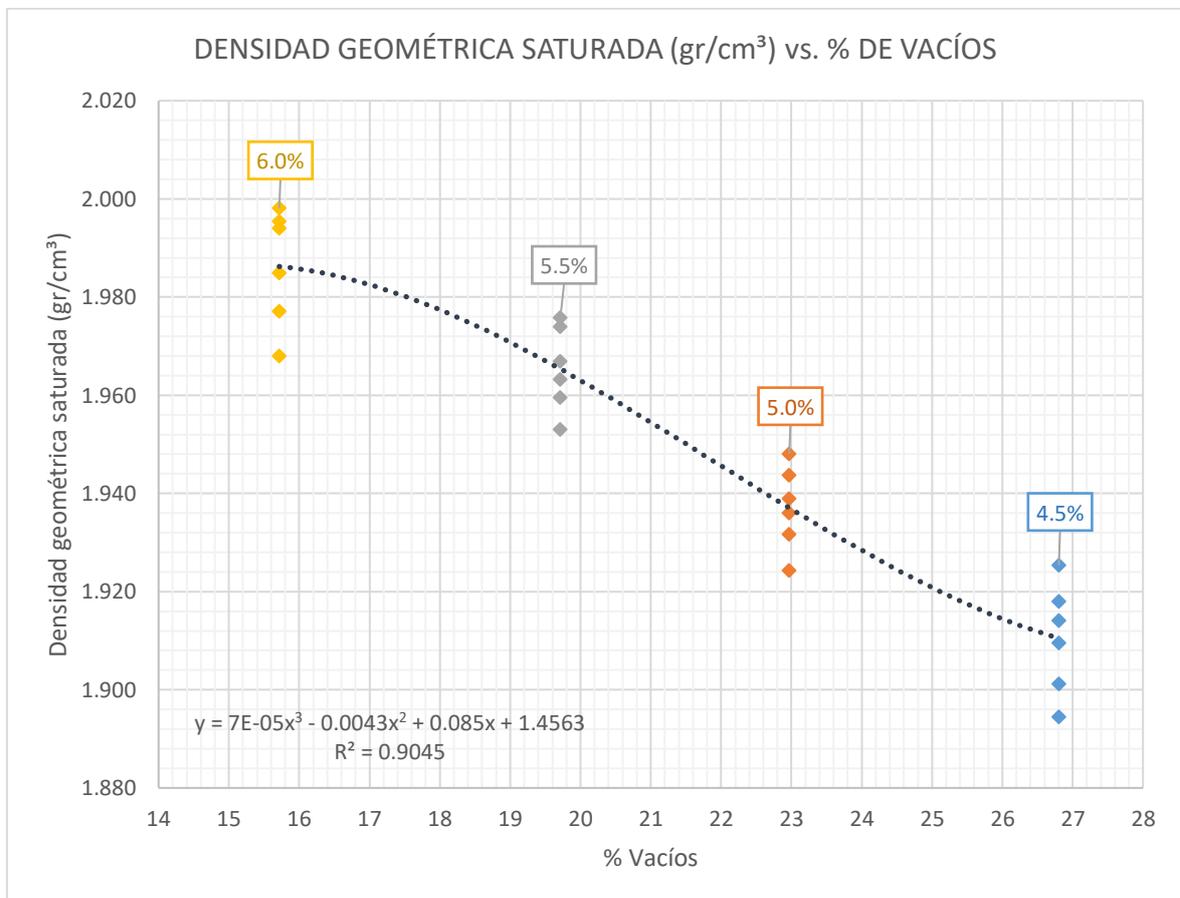


Figura 20. Densidad geométrica saturada (cm³/seg) vs. Porcentaje de vacíos (%)

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. OE 2 – PORCENTAJE DE VACÍOS – ENSAYO DE CÁNTABRO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA DRENANTE

Seguidamente, se presentan los resultados obtenidos de pérdida de masa en seco y tras inmersión, empleando el ensayo de Cántabro. Se determinaron estos valores ante la variación de ligante asfáltico modificado con polímeros del 4.5%, 5.0%, 5.5% y 6.0%, para un mismo diseño de mezcla drenante base.

PORCENTAJE DE PÉRDIDA EN CÁNTABRO EN SECO

En la tabla 17, se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de Cántabro en seco, donde se ensayaron tres muestras para obtener el porcentaje de pérdida por Cántabro en seco ante la variación del porcentaje de ligante asfáltico modificado con polímeros.

Tabla 17. Porcentaje de pérdida Cántabro en seco

% ASFALTO	4.5%			5.0%			5.5%			6.0%			
	N° DE MUESTRA	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
% VACÍOS		26.02	27.97	27.79	24.04	20.93	20.48	19.03	20.93	17.53	13.28	15.8	17.17
% PÉRDIDA - CÁNTABRO EN SECO		19.21	24.53	22.05	17.26	19.2	16.74	14.55	12.67	11.43	10.51	8.55	11.33

Fuente: Elaboración propia

En la figura 21, se presenta el comportamiento gráfico del porcentaje de pérdida por Cántabro en seco para cada porcentaje de ligante asfáltico modificado con polímeros empleado, en el que se observa que todos los valores cumplen con ser menor al máximo de 25% según las especificaciones de diseño de mezclas drenantes CAD 12, también se observa una tendencia positiva, por lo que se podría inferir que a mayor porcentaje de vacíos mayor es la pérdida por Cántabro en seco.

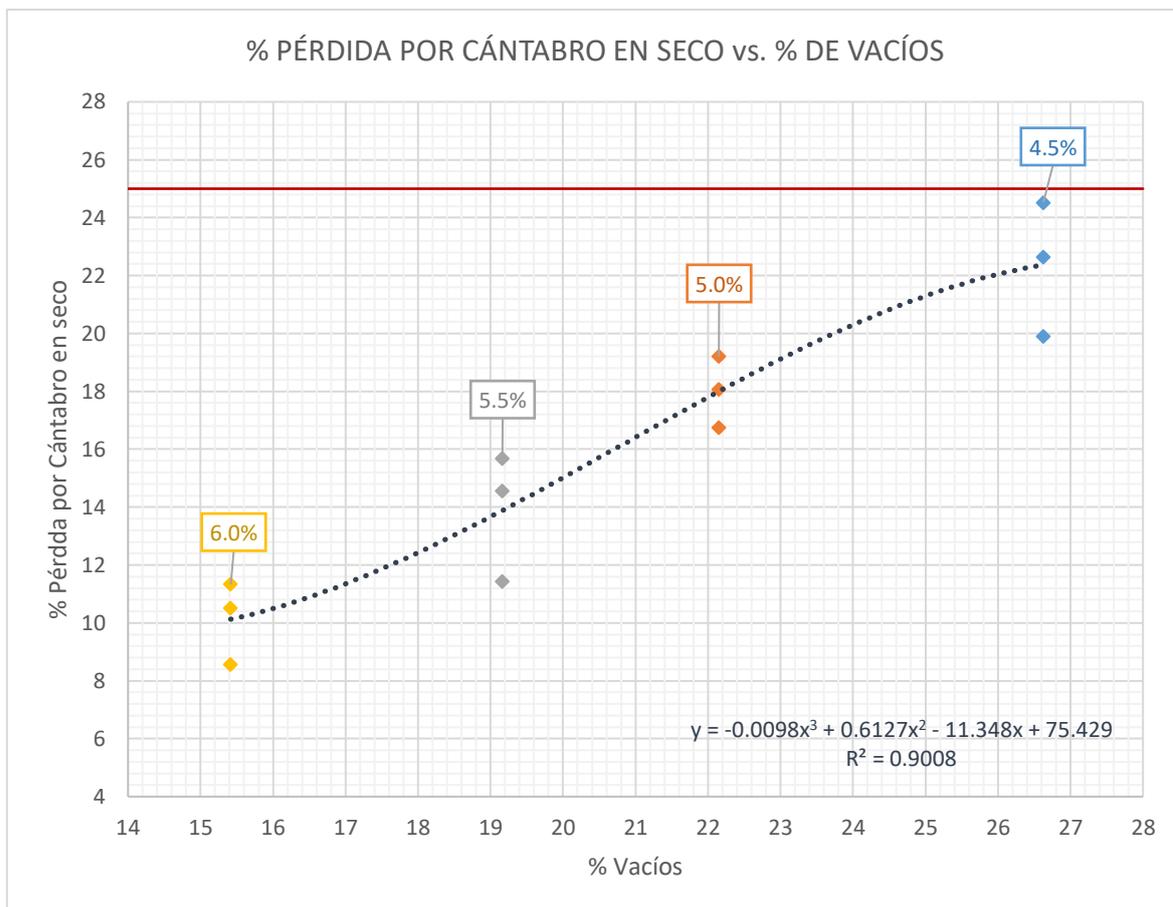


Figura 21. Porcentaje de pérdida por Cántabro en seco (%) vs. Porcentaje de vacíos (%)

Fuente: Elaboración propia

PORCENTAJE DE PÉRDIDA EN CÁNTABRO TRAS INMERSIÓN

En la tabla 18, se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de Cántabro tras inmersión, donde se ensayaron tres muestras para obtener el porcentaje de pérdida por Cántabro tras inmersión ante la variación del porcentaje de ligante asfáltico modificado con polímeros.

Tabla 18. Porcentaje de pérdida Cántabro tras inmersión

% ASFALTO	4.5%			5.0%			5.5%			6.0%			
	N° DE MUESTRA	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6
% VACÍOS		28.42	27.21	25.32	22.26	25.29	23.82	21.42	22.34	21.73	14.76	17.99	15.3
% PÉRDIDA - CÁNTABRO TRAS INMERSIÓN		25.5	28.09	26.07	21.68	23.23	25.12	18.49	22.95	20.65	16.31	14.19	17.26

Fuente: Elaboración propia

En la figura 22, se presenta el comportamiento gráfico del porcentaje de pérdida por Cántabro tras inmersión para cada porcentaje de ligante asfáltico modificado con polímeros empleado, en el que se observa que todos los valores cumplen con ser menor al máximo de 30% según las especificaciones de diseño de mezclas drenantes CAD 12, también se observa una tendencia positiva, por lo que se podría inferir que a mayor porcentaje de vacíos mayor es la pérdida por Cántabro tras inmersión.

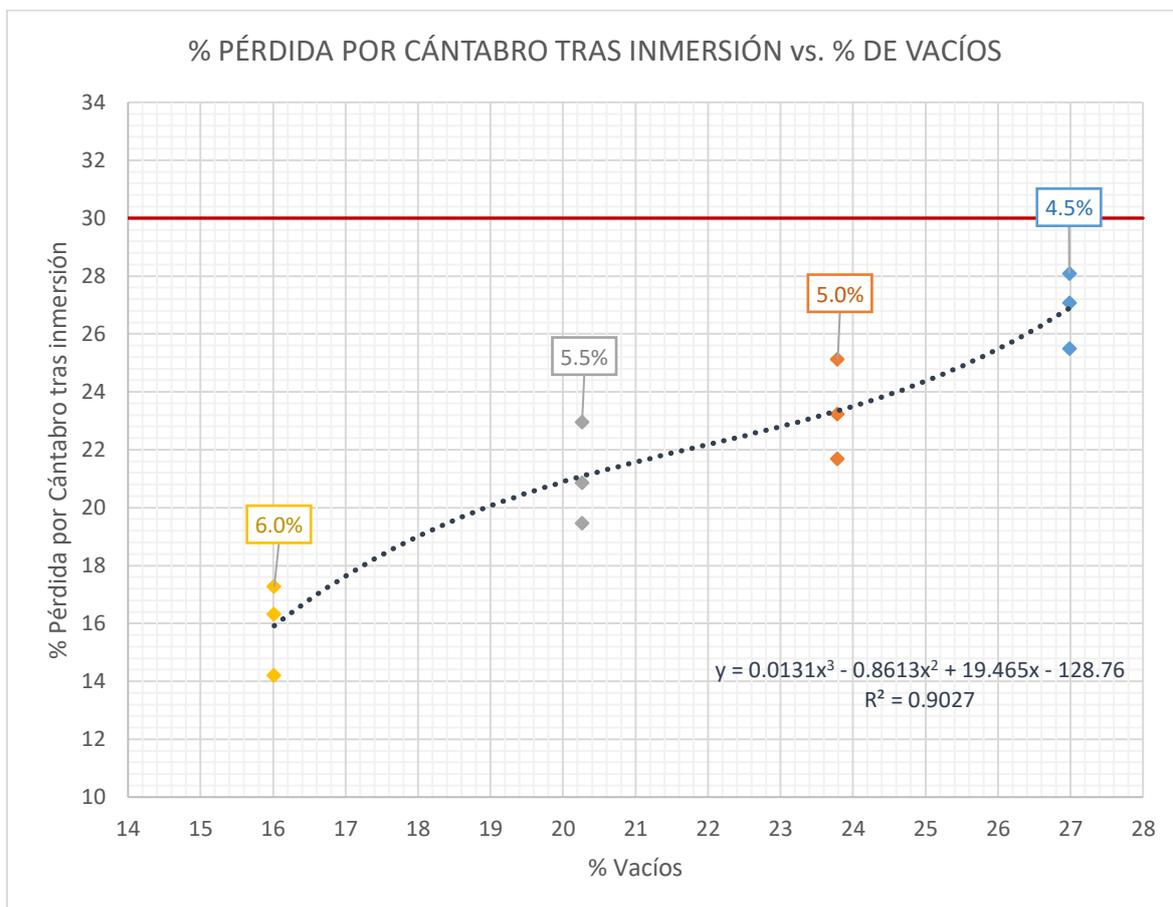


Figura 22. Porcentaje de pérdida por Cántabro tras inmersión (%) vs. Porcentaje de vacíos (%)

Fuente: Elaboración propia

4.1.5. OE 3 – PROPIEDADES DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES

Adicionalmente, a los requisitos de dosificación para mezclas CAD 12, se presentan las propiedades especificadas por Marshall, debido a que es

importante tener en cuenta también la normativa vigente nacional. Por lo cual se realiza un análisis gráfico de sus propiedades de vacíos, vacíos de agregado mineral, vacíos llenos de cemento asfáltico, peso unitario, estabilidad y flujo para la mezcla asfáltica drenante ante la variación del porcentaje de vacíos por cada porcentaje de ligante asfáltico modificado con polímeros.

En la tabla 19, se muestran las propiedades de las briquetas obtenidas con el diseño de mezclas asfálticas drenantes por cada porcentaje de ligante asfáltico empleado de 4.5%, 5.0%, 5.5% y 6.0%.

Tabla 19. Propiedades de la mezcla asfáltica drenante diseñada

% ASFALTO	4.5%						5.0%					
N° DE MUESTRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
% VACÍOS	25.0	28.0	26.9	28.4	27.2	25.3	24.0	21.9	20.5	22.3	25.3	23.8
%VACÍOS DE AGREGADO MINERAL	27.8	27.6	28.2	28.6	28.7	29.3	27	26.5	26.1	27.6	27.9	26.2
%VACÍOS LLENOS DE CEMENTO ASFÁLTICO	16.6	15.9	16.2	15.2	14.6	16.7	17.3	19.2	18.1	17.2	19.2	19.5
PESO UNITARIO (gr/cm ³)	1.910	1.916	1.890	1.925	1.877	1.882	1.924	1.940	1.921	1.918	1.951	1.938
ESTABILIDAD (kg)	542.6	536.6	533.9	537.9	539.6	544.6	566.2	571.4	573.2	571.2	563.9	568.7
FLUJO (mm)	2.41	2.36	2.45	2.34	2.31	2.49	2.59	2.46	2.52	2.66	2.63	2.53
% ASFALTO	5.5%						6.0%					
N° DE MUESTRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
% VACÍOS	19.0	20.9	17.5	17.7	22.3	20.7	13.3	15.8	17.2	14.8	18.0	15.3
%VACÍOS DE AGREGADO MINERAL	28.8	29.4	29.1	29.7	29.9	28.3	30.5	31	30.1	31.1	30	31.6
%VACÍOS LLENOS DE CEMENTO ASFÁLTICO	23.8	22.4	22.8	22.4	22.7	21.9	24.9	24.7	27.7	26.1	25.4	24.8
PESO UNITARIO (gr/cm ³)	1.993	2.022	1.991	2.004	2.026	1.997	2.088	2.102	2.098	2.064	2.095	2.109
ESTABILIDAD (kg)	567.7	565.3	569.2	560.2	561.7	563.3	550.5	540.9	543.2	551.2	548.4	544.5
FLUJO (mm)	2.79	2.63	2.70	2.61	2.75	2.67	2.96	2.86	2.85	2.94	2.99	2.89

Fuente: Elaboración propia

En la figura 23, se presenta el comportamiento gráfico del porcentaje de vacíos de agregado mineral en la mezcla asfáltica drenante ante la variación del porcentaje de vacíos para cada porcentaje de ligante asfáltico modificado

con polímeros. Donde se puede observar que los datos obtenidos presentan una tendencia ligeramente negativa, obteniendo que para el 23% de vacíos se da el menor valor del porcentaje de vacíos de agregado mineral de 27% aproximadamente, además estos resultados se hallaron para una muestra de seis briquetas debido a que se elaboró una briketa adicional por cada briketa a analizar al Cántabro.

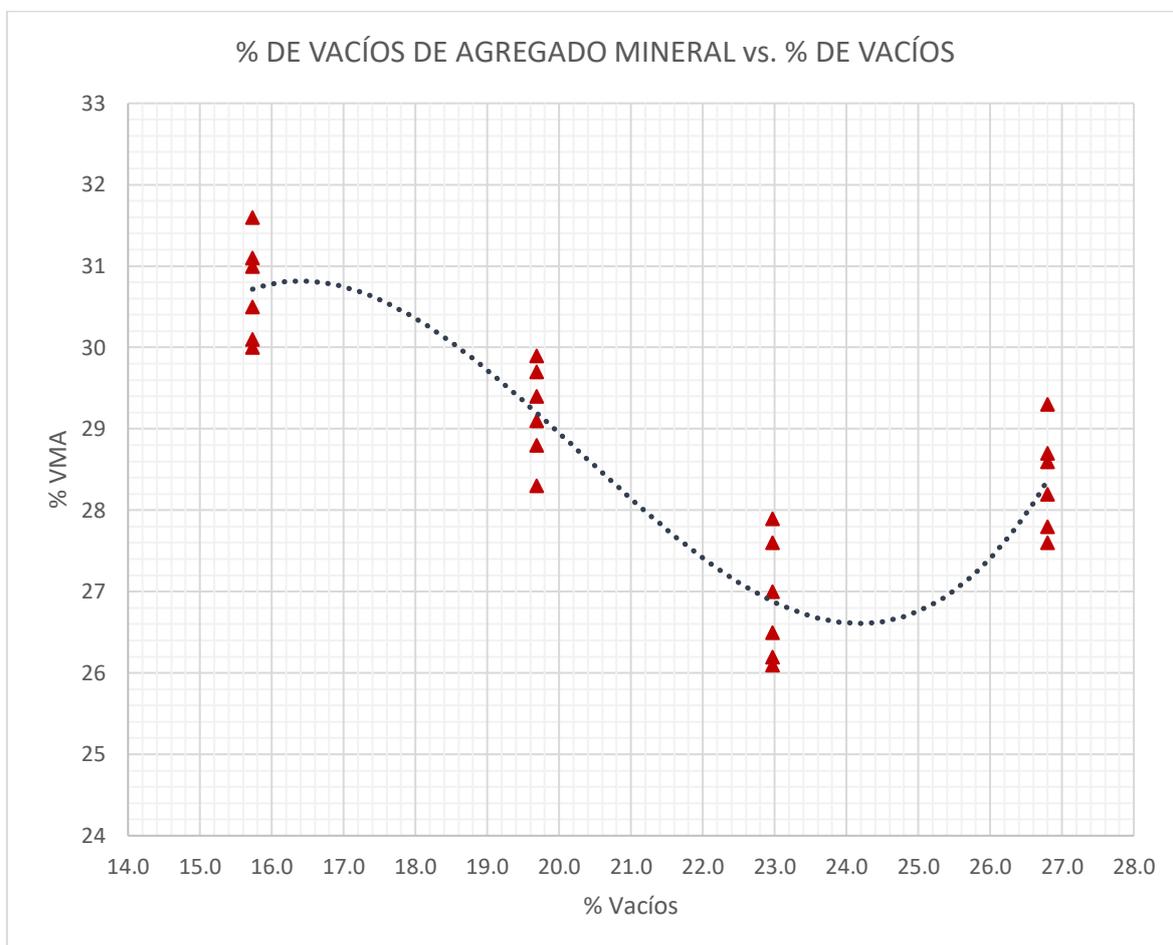


Figura 23. Porcentaje de vacíos de agregado mineral (%) vs. Porcentaje de vacíos (%)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 24, se presenta el comportamiento gráfico del porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico en la mezcla asfáltica drenante ante la variación del porcentaje de vacíos para cada porcentaje de ligante asfáltico modificado con polímeros. Donde se puede observar que los datos obtenidos presentan una tendencia negativa, obteniendo que a mayor porcentaje de vacíos menor es el porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico, para

el 26.8% de vacíos se da el menor valor del porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico de 16% aproximadamente, además estos resultados se hallaron para una muestra de seis briquetas debido a que se elaboró una briketa adicional por cada briketa a analizar al Cántabro.

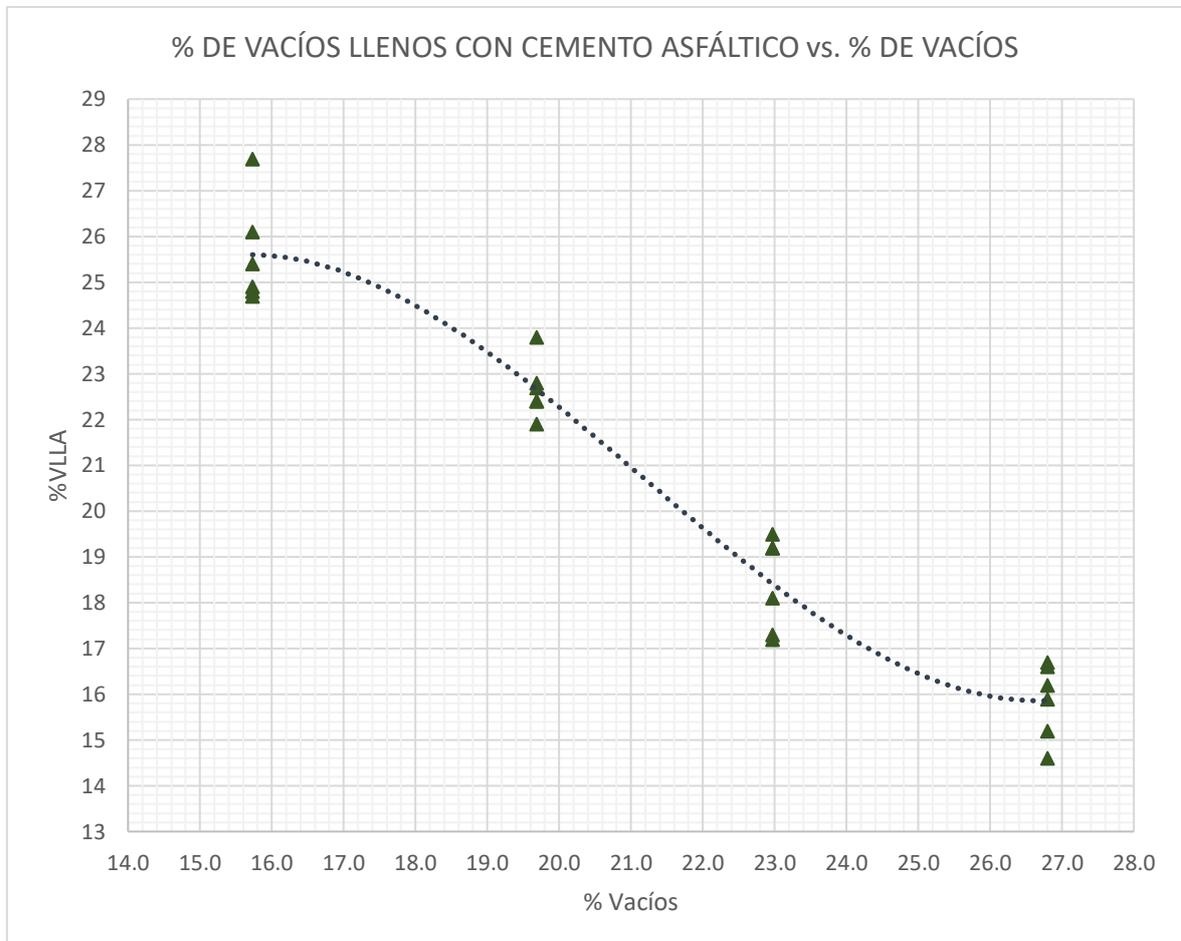


Figura 24. Porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico (%) vs. Porcentaje de vacíos (%)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 25, se presenta el comportamiento gráfico del peso unitario en la mezcla asfáltica drenante ante la variación del porcentaje de vacíos para cada porcentaje de ligante asfáltico modificado con polímeros. Donde se puede observar que los datos obtenidos presentan una tendencia negativa, obteniendo que a mayor porcentaje de vacíos menor es el valor del peso unitario, para el 26.8% de vacíos se da el menor valor del peso unitario de 1.90 gr/cm³ aproximadamente, además estos resultados se hallaron para

una muestra de seis briquetas debido a que se elaboró una briqueleta adicional por cada briqueleta a analizar al Cántabro.

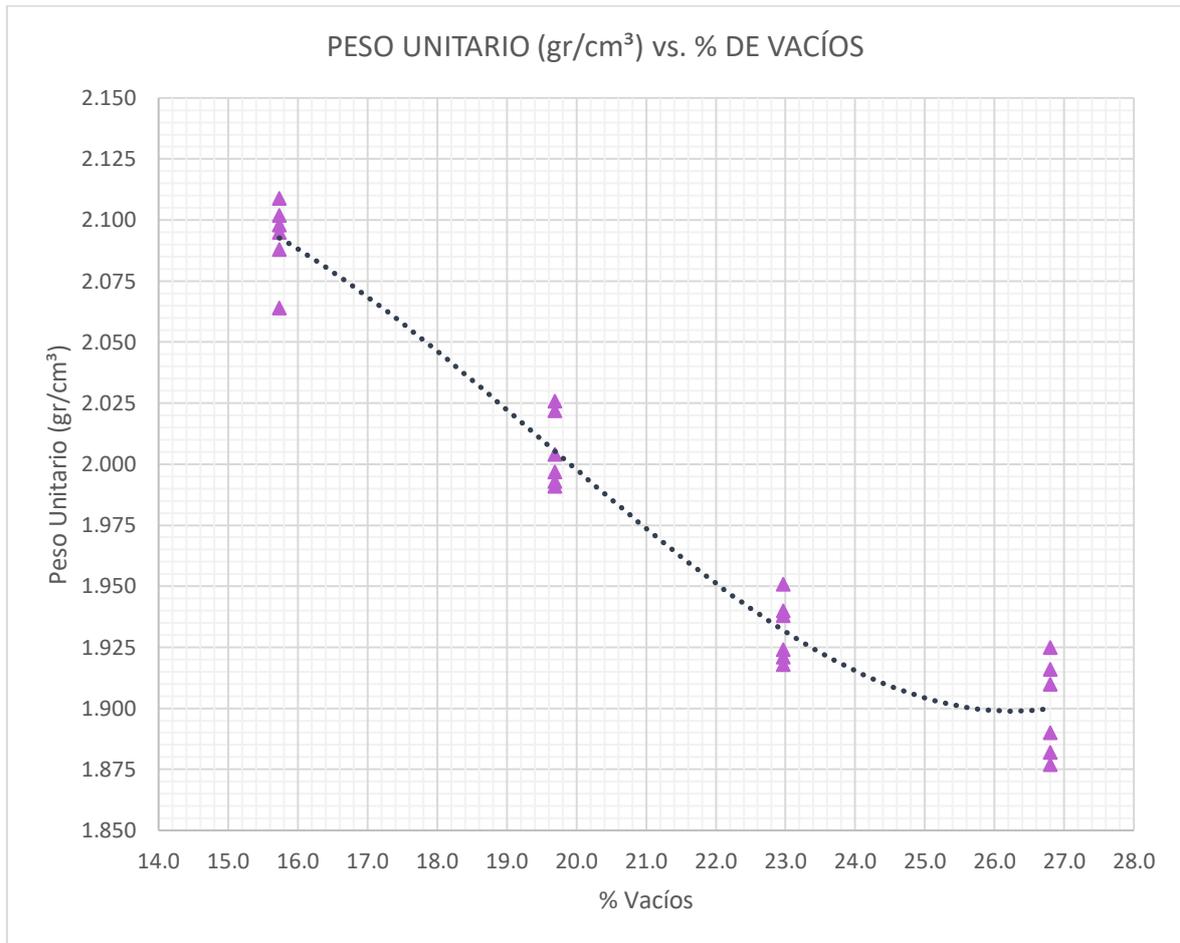


Figura 25. Peso unitario (gr/cm³) vs. Porcentaje de vacíos (%)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 26, se presenta el comportamiento gráfico de la estabilidad en la mezcla asfáltica drenante ante la variación del porcentaje de vacíos para cada porcentaje de ligante asfáltico modificado con polímeros. Donde se puede observar que los datos obtenidos presentan una tendencia ligeramente positiva y luego negativa, también se observa que todos los resultados son menores a la estabilidad mínima según Marshall de 830.8 kg y que los valores de estabilidad más elevados de 570 kg aproximadamente se dan para el 23% de vacíos empleando el 5.0% de ligante asfáltico modificado, además estos resultados se hallaron para una muestra de seis briquetas debido a que se elaboró una briqueleta adicional por cada briqueleta a analizar al Cántabro.

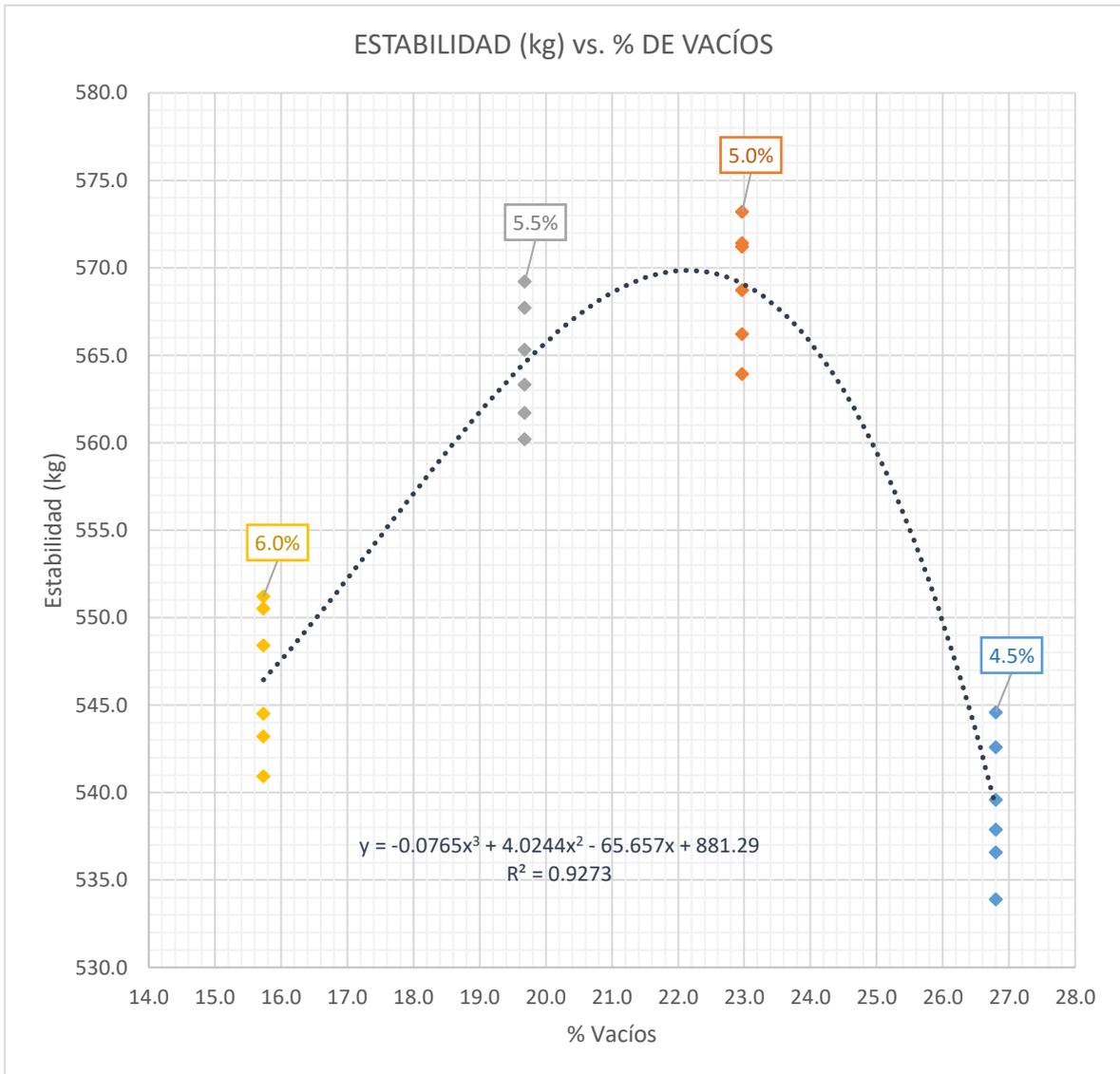


Figura 26. Estabilidad (kg) vs. Porcentaje de vacíos (%)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 27, se presenta el comportamiento gráfico del flujo en la mezcla asfáltica drenante ante la variación del porcentaje de vacíos para cada porcentaje de ligante asfáltico modificado con polímeros. Donde se puede observar que los datos obtenidos presentan una tendencia negativa, también se observa que todos los resultados se encuentran dentro de los límites según Marshall de ser mayores a 2 mm pero menores de 3.5 mm y que los valores de flujo menores de 2.40 mm aproximadamente se dan para el 26.8% de vacíos empleando el 4.5% de ligante asfáltico modificado, además estos resultados se hallaron para una muestra de seis briquetas debido a que se elaboró una briqueta adicional por cada briqueta a analizar al Cántabro.

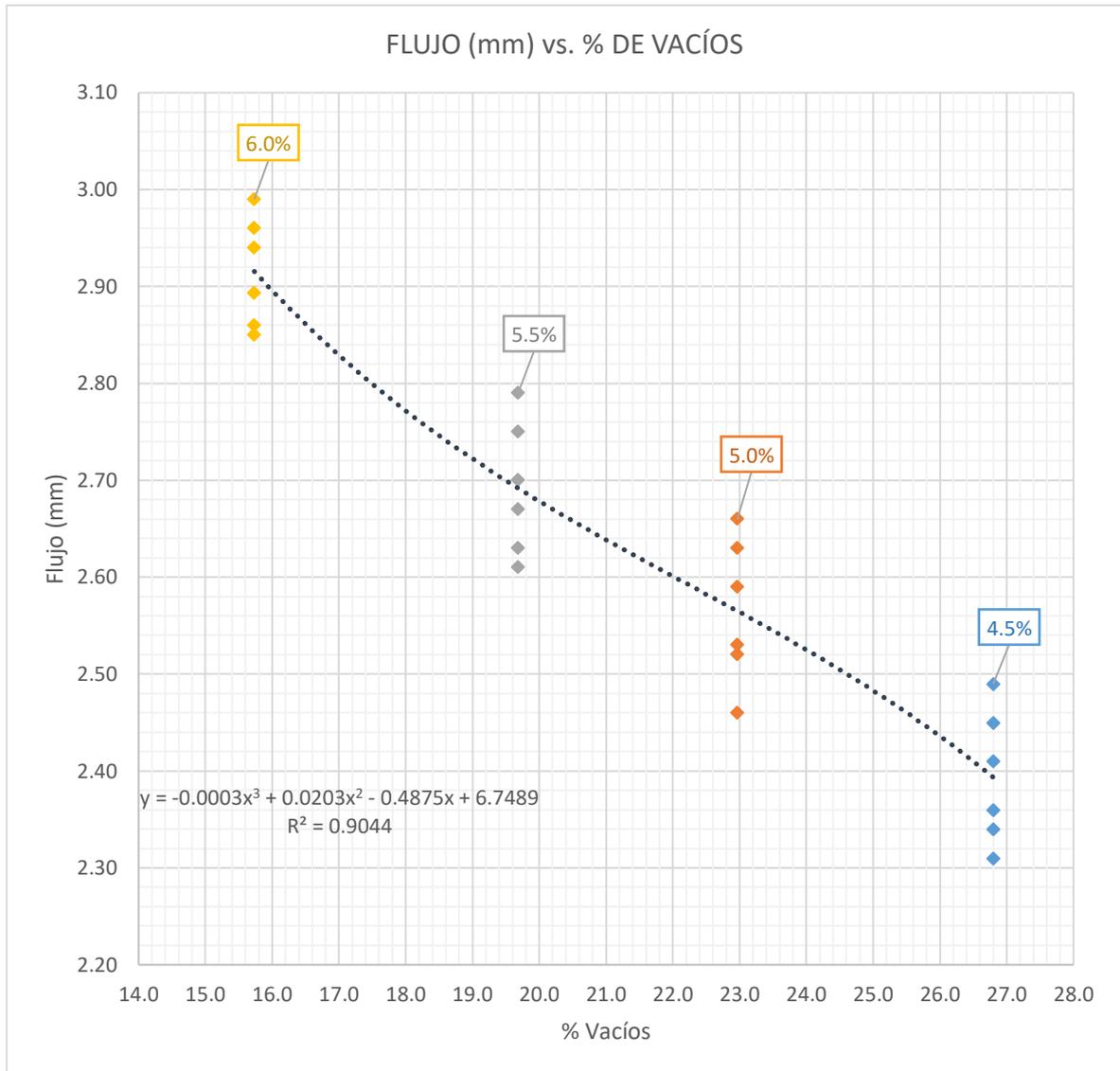


Figura 27. Flujo (mm) vs. Porcentaje de vacíos (%)

Fuente: Elaboración propia

4.1.6. OG – APOORTE ESTRUCTURAL DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES

Para determinar el efecto del porcentaje de vacíos en el aporte estructural de las mezclas asfálticas drenantes primero se determinarán los aportes estructurales, los cuales están en función del valor mínimo en el manual de Marshall para el diseño propuesto en la investigación. Para esto se debe comprobar en primer lugar que los resultados obtenidos de estabilidad y flujo no presenten margen de error, por lo que se halló el índice de rigidez, es

decir, la relación entre la estabilidad (kg) y el flujo (cm) los cuales deben pertenecer al rango de 1700 a 4000 kg/cm, los resultados se presentan en la tabla 20.

Tabla 20. Índice de rigidez (kg/cm) en diseño de mezclas asfálticas drenantes

% ASFALTO	ESTABILIDAD (kg)	FLUJO (cm)	ÍNDICE DE RIGIDEZ (kg/cm)	MÍN. 1700 kg/cm MÁX. 4000 kg/cm
4.50%	542.6	0.241	2251.5	SI CUMPLE
	536.6	0.236	2273.7	SI CUMPLE
	533.9	0.245	2179.2	SI CUMPLE
	537.9	0.234	2298.7	SI CUMPLE
	539.6	0.231	2335.9	SI CUMPLE
	544.6	0.249	2187.1	SI CUMPLE
5.00%	566.2	0.259	2186.1	SI CUMPLE
	571.4	0.246	2322.8	SI CUMPLE
	573.2	0.252	2274.6	SI CUMPLE
	571.2	0.266	2147.4	SI CUMPLE
	563.9	0.263	2144.1	SI CUMPLE
	568.7	0.253	2247.8	SI CUMPLE
5.50%	567.7	0.279	2034.8	SI CUMPLE
	565.3	0.263	2149.4	SI CUMPLE
	569.2	0.27	2108.1	SI CUMPLE
	560.2	0.261	2146.4	SI CUMPLE
	561.7	0.275	2042.5	SI CUMPLE
	563.3	0.267	2109.7	SI CUMPLE
6.00%	550.5	0.296	1859.8	SI CUMPLE
	540.9	0.286	1891.3	SI CUMPLE
	543.2	0.285	1906.0	SI CUMPLE
	551.2	0.294	1874.8	SI CUMPLE
	548.4	0.299	1834.1	SI CUMPLE
	544.5	0.2893	1882.1	SI CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos en la tabla 20, se concluyó que los datos se pueden emplear para determinar el efecto del porcentaje de vacíos en el aporte estructural de las mezclas asfálticas drenantes.

En la figura 28, se presenta el comportamiento gráfico del índice de rigidez en la mezcla asfáltica drenante ante la variación del porcentaje de vacíos para cada porcentaje de ligante asfáltico modificado con polímeros. Donde se puede observar que los datos obtenidos presentan una tendencia

positiva, también se observa que todos los resultados se encuentran dentro de los límites según Marshall de ser mayores a 1700 kg/cm, pero menores de 4000 kg/cm, además estos resultados se hallaron para una muestra de seis briquetas debido a que se elaboró una briqueta adicional por cada briqueta a analizar al Cántabro.

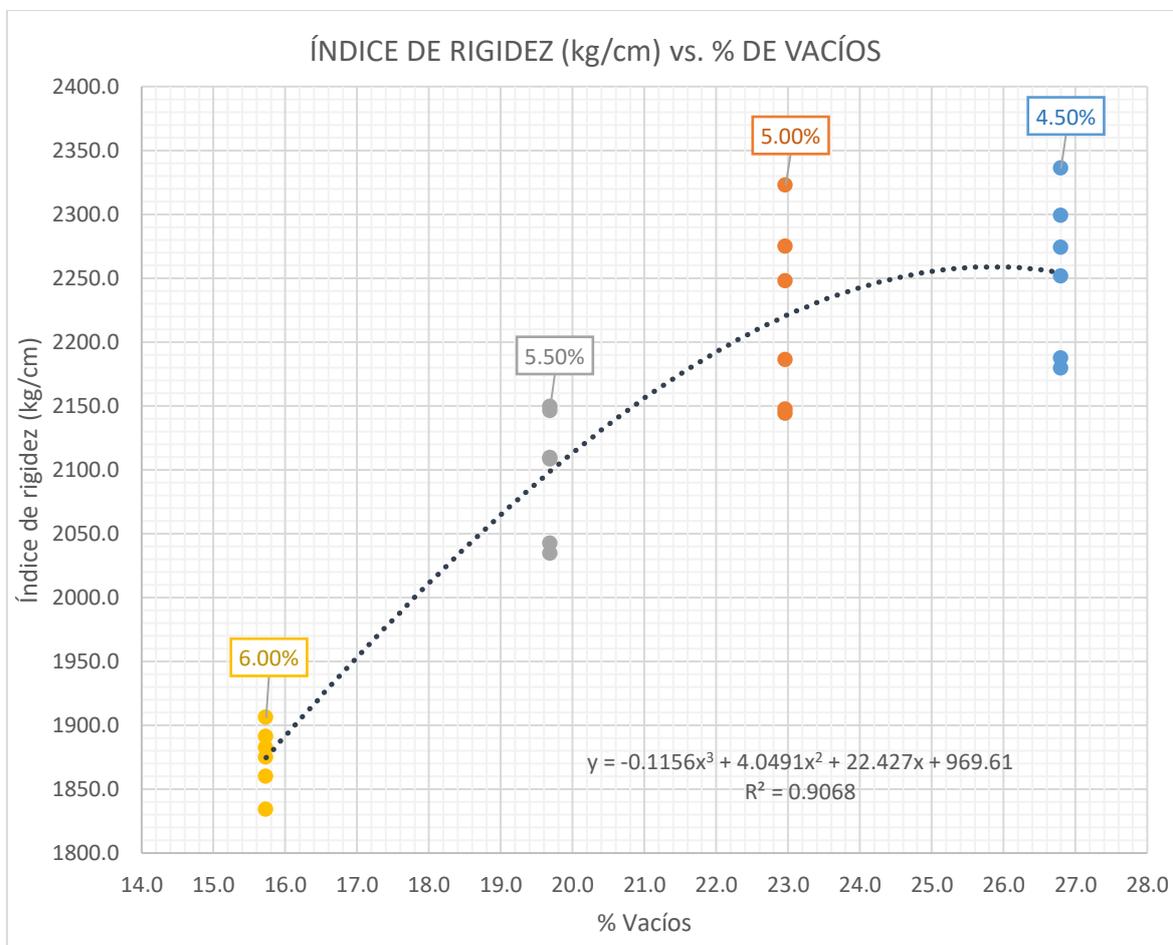


Figura 28. Índice de rigidez (kg/cm) vs. Porcentaje de vacíos (%)

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 21, se presentan los resultados de aporte estructural con los porcentajes de vacíos obtenidos por cada grupo de muestras según el porcentaje de ligante asfáltico modificado con polímeros.

Tabla 21. Porcentaje de aporte estructural de la mezcla asfáltica drenante

% ASFALTO	ESTABILIDAD (kg)	ESTABILIDAD MÍNIMA (kg) - Marshall	% APORTE ESTRUCTURAL	% DE VACÍOS
4.5%	547.6	830.8	65.9	26.0
	528.6		63.6	28.0
	524.1		63.1	27.8
	531.7		64.0	28.4
	539.6		64.9	27.2
	555.1		66.8	25.3
5.0%	553.1	830.8	66.6	24.0
	569.2		68.5	20.9
	575.2		69.2	20.5
	564.6		68.0	22.3
	546.2		65.7	25.3
	556.7		67.0	23.8
5.5%	566.7	830.8	68.2	19.0
	558.9		67.3	20.9
	571.2		68.8	17.5
	547.2		65.9	21.4
	549.1		66.1	22.3
	550.3		66.2	21.7
6.0%	551.5	830.8	66.4	14.8
	528.9		63.7	18.0
	532.8		64.1	17.2
	557.8		67.1	13.3
	541.4		65.2	15.8
	539.5		64.9	15.3

Fuente: Elaboración propia

En la figura 29, se presenta el comportamiento gráfico del porcentaje de aporte estructural en la mezcla asfáltica drenante ante la variación del porcentaje de vacíos para cada porcentaje de ligante asfáltico modificado con polímeros. Donde se puede observar que los datos obtenidos presentan una tendencia positiva luego negativa, también se observa que el mayor porcentaje de aporte estructural se da para un 23% de vacíos cuando se emplea 5.0% de ligante asfáltico modificado con polímeros, además estos resultados se hallaron para una muestra de seis briquetas debido a que se elaboró una briqueta adicional por cada briqueta a analizar al Cántabro.

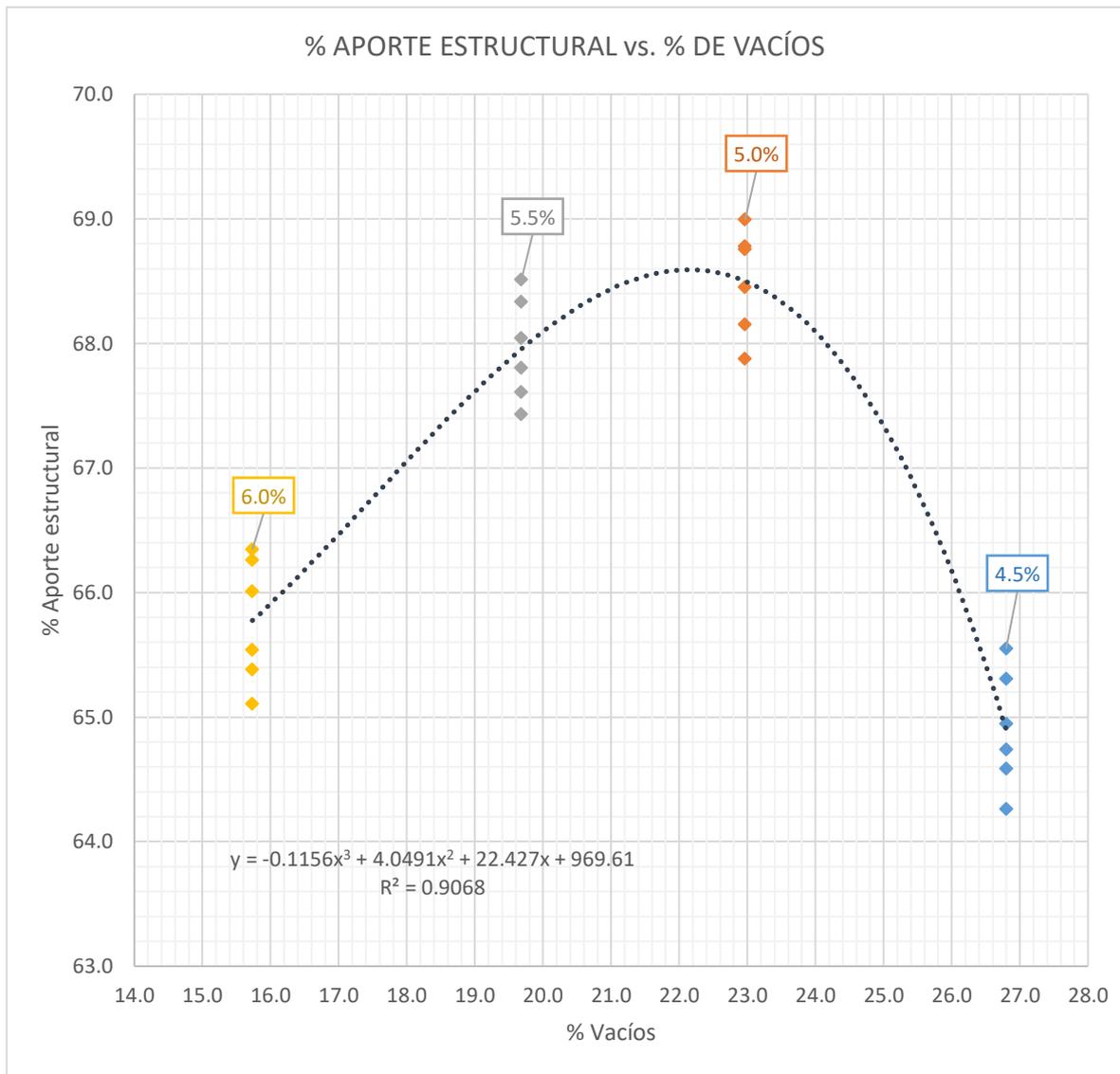


Figura 29. Porcentaje de aporte estructural (%) vs. Porcentaje de vacíos (%)

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el porcentaje de aporte estructural de la mezcla asfáltica drenante, se realizó un análisis entre los mayores valores obtenidos los cuales son para el 5.0% de ligante asfáltico modificado, éstos resultados se emplearon para determinar el aporte estructural de la mezcla asfáltica drenante, en la tabla 22 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 22. Aporte estructural de la mezcla asfáltica drenante

% ASFALTO	ESTABILIDAD (kg)	ESTABILIDAD MÍNIMA (kg) - Marshall	% APOORTE ESTRUCTURAL	% DE VACÍOS
5.0%	566.2	830.8	68.2	24.0
	571.4	830.8	68.8	20.9
	573.2	830.8	69.0	20.5
	571.2	830.8	68.8	22.3
	563.9	830.8	67.9	25.3
	568.7	830.8	68.5	23.4

Fuente: Elaboración propia

Según lo obtenido en la tabla 22, se puede inferir que a 5.0% de ligante asfáltico modificado con polímeros se obtiene un 69% de aporte estructural, representando el mayor aporte estructural de acuerdo a la estabilidad.

4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un análisis estadístico con el programa IBM SPSS Statistics en el que se trabajaron los resultados obtenidos en las mezclas asfálticas drenantes en función de los porcentajes de vacíos obtenidos en promedio para seis briquetas por cada porcentaje de ligante asfáltico modificado con polímeros, con los resultados de los ensayos de permeabilidad con el que se midió la capacidad de infiltración, el ensayo de Cántabro en seco con el que se obtuvieron los resultados de porcentaje de pérdida en seco y el ensayo de Marshall con el que se obtuvieron los resultados de porcentaje de aporte estructural.

Capacidad de infiltración ante los porcentajes de vacíos:

Los datos descriptivos para la capacidad de infiltración obtenida en las briquetas elaboradas para cada porcentaje de ligante asfáltico del 4.5% al 6.0% se presentan en la tabla 23.

Tabla 23. Descriptivos - Capacidad de infiltración ante la variación de porcentaje de vacíos

Descriptivos				Estadístico	Desv. Error
		Porcentaje de vacíos (%)			
Capacidad de infiltración (cm ³ /seg)	15,70	Media		5,98467	,215337
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	5,43113	
			Límite superior	6,53821	
		Media recortada al 5%		5,97874	
		Mediana		5,92250	
		Varianza		,278	
		Desv. Desviación		,527465	
		Mínimo		5,319	
		Máximo		6,757	
		Rango		1,438	
		Rango intercuartil		,923	
		Asimetría		,330	,845
		Curtosis		-,866	1,741
			19,70	Media	
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior			6,51106	
	Límite superior			8,10994	
Media recortada al 5%				7,29750	
Mediana				7,14850	

	Varianza		,580	
	Desv. Desviación		,761777	
	Mínimo		6,452	
	Máximo		8,403	
	Rango		1,951	
	Rango intercuartil		1,454	
	Asimetría		,498	,845
	Curtosis		-1,384	1,741
23,00	Media		9,98983	,382883
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	9,00560	
		Límite superior	10,97407	
	Media recortada al 5%		9,97681	
	Mediana		9,95650	
	Varianza		,880	
	Desv. Desviación		,937869	
	Mínimo		8,850	
	Máximo		11,364	
	Rango		2,514	
	Rango intercuartil		1,726	
	Asimetría		,302	,845
	Curtosis		-,929	1,741
26,80	Media		13,20817	,599219
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	11,66782	
		Límite superior	14,74851	
	Media recortada al 5%		13,20263	
	Mediana		13,16750	
	Varianza		2,154	
	Desv. Desviación		1,467781	
	Mínimo		11,364	
	Máximo		15,152	
	Rango		3,788	
	Rango intercuartil		2,888	
	Asimetría		,090	,845
	Curtosis		-1,502	1,741

Fuente: Elaboración propia empleando IBM SPSS Statistics

La prueba de normalidad para la capacidad de infiltración obtenida en las briquetas elaboradas para cada porcentaje de ligante asfáltico del 4.5% al 6.0% se presentan en la tabla 24. Ya que los grados de libertad (gl) son menores a 50 se trabajó por Shapiro-Wilk, en el que se obtuvieron significancias mayores al 0.05 en todos los datos al tener una distribución normal ante la variación de porcentaje de vacíos.

Tabla 24. Prueba de normalidad - Capacidad de infiltración ante la variación de porcentaje de vacíos

Pruebas de normalidad

	Porcentaje de vacíos (%)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Capacidad de infiltración (cm ³ /seg)	15,70	,174	6	,200*	,978	6	,941
	19,70	,185	6	,200*	,941	6	,667
	23,00	,141	6	,200*	,975	6	,926
	26,80	,146	6	,200*	,964	6	,853

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia empleando IBM SPSS Statistics

En el diagrama de bigotes de la capacidad de infiltración obtenida en las briquetas elaboradas para cada porcentaje de ligante asfáltico del 4.5% al 6.0% ante la variación del porcentaje de vacíos, presentado en la figura 30 se observa que los resultados cumplen con los límites mínimos y máximos establecidos.

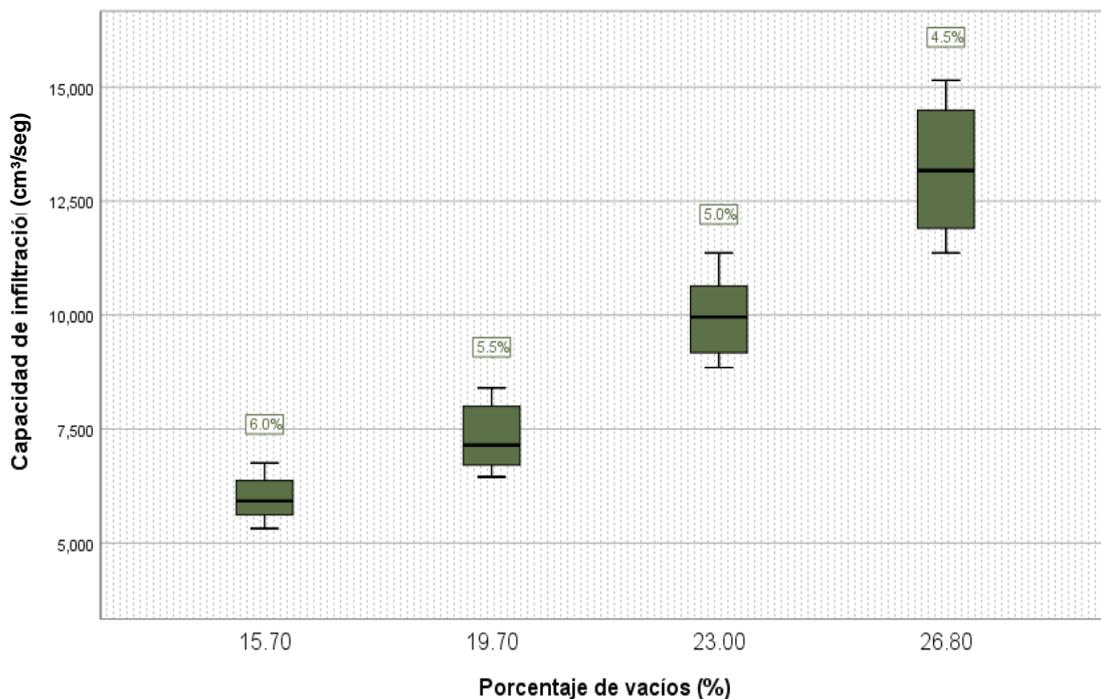


Figura 30. Diagrama de bigotes - Capacidad de infiltración ante la variación de porcentaje de vacíos

Fuente: Elaboración propia empleando IBM SPSS Statistics

Al ser la significancia en la prueba de normalidad mayor a 0.05 se trabajó la correlación bivariada por Pearson, presentada en la tabla 25, obteniendo que para la capacidad de infiltración obtenida en las briquetas elaboradas para cada porcentaje de ligante asfáltico del 4.5% al 6.0% ante la variación del porcentaje de vacíos el grado de correlación es de 0.933, lo cual significa que se tiene una correlación positiva perfecta.

Tabla 25. Correlación bivariada - Capacidad de infiltración ante la variación de porcentaje de vacíos

Correlaciones

		Porcentaje de vacíos (%)	Capacidad de infiltración (cm ³ /seg)
Porcentaje de vacíos (%)	Correlación de Pearson	1	,933**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	24	24
Capacidad de infiltración (cm ³ /seg)	Correlación de Pearson	,933**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	24	24

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia empleando IBM SPSS Statistics

En el diagrama de dispersión de puntos de la capacidad de infiltración obtenida en las briquetas elaboradas para cada porcentaje de ligante asfáltico del 4.5% al 6.0% ante la variación del porcentaje de vacíos, presentado en la figura 31 se obtuvo un coeficiente de ajuste $R^2 = 0.904$ para la ecuación resultante en el análisis.

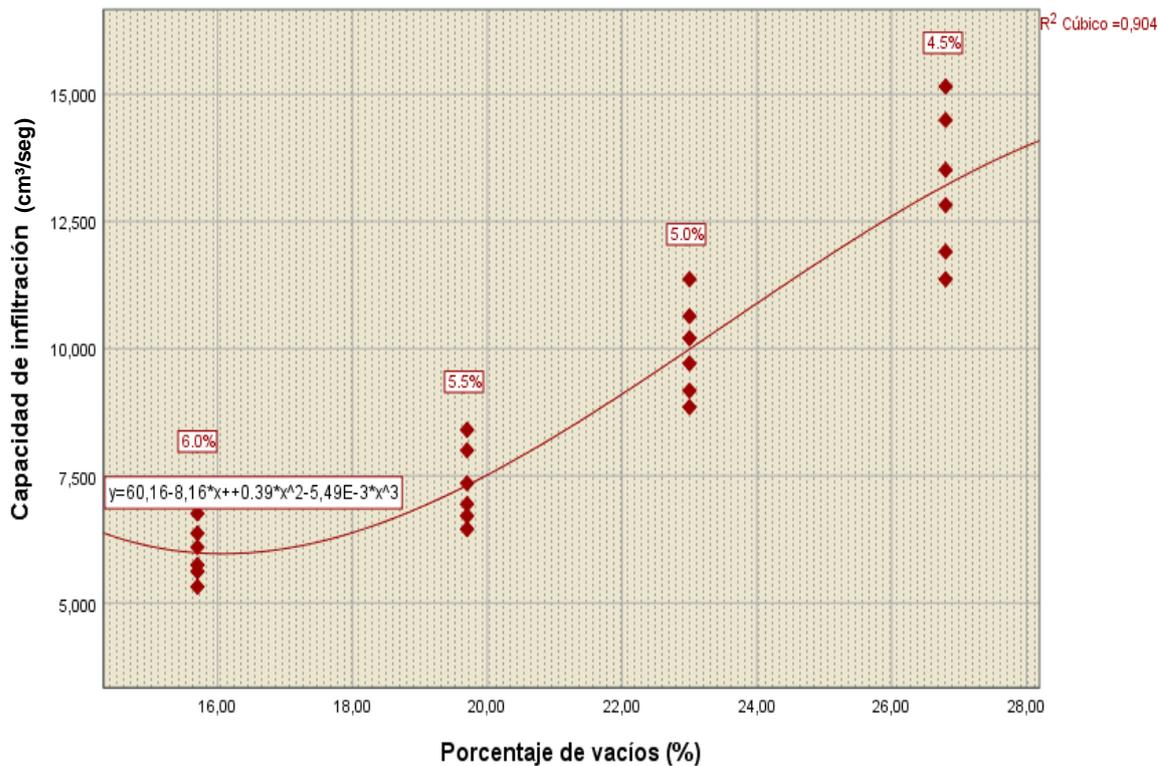


Figura 31. Diagrama de dispersión de puntos - Capacidad de infiltración ante la variación de porcentaje de vacíos

Fuente: Elaboración propia empleando IBM SPSS Statistics

Porcentaje de pérdida por desgaste por Cántabro en seco ante los porcentajes de vacíos:

Los datos descriptivos para el porcentaje de pérdida por desgaste por Cántabro en seco obtenido en las briquetas elaboradas para cada porcentaje de ligante asfáltico del 4.5% al 6.0% se presentan en la tabla 26.

Tabla 26. Descriptivos – Porcentaje de pérdida por desgaste por Cántabro en seco ante la variación de porcentaje de vacíos

		Descriptivos		Estadístico	Desv. Error
		Porcentaje de vacíos (%)			
Porcentaje de Pérdida por desgaste - Cántabro en seco (%)	15,42	Media		10,13000	,824702
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	6,58159	
			Límite superior	13,67841	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		10,51000	
		Varianza		2,040	

	Desv. Desviación		1,428426	
	Mínimo		8,550	
	Máximo		11,330	
	Rango		2,780	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-1,112	1,225
	Curtosis		.	.
19,16	Media		13,88333	1,268560
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	8,42516	
		Límite superior	19,34151	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		14,55000	
	Varianza		4,828	
	Desv. Desviación		2,197210	
	Mínimo		11,430	
	Máximo		15,670	
	Rango		4,240	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-1,240	1,225
	Curtosis		.	.
22,15	Media		18,00000	,710774
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	14,94179	
		Límite superior	21,05821	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		18,06000	
	Varianza		1,516	
	Desv. Desviación		1,231097	
	Mínimo		16,740	
	Máximo		19,200	
	Rango		2,460	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,219	1,225
	Curtosis		.	.
26,63	Media		22,36333	1,341359
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	16,59193	
		Límite superior	28,13474	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		22,65000	
	Varianza		5,398	
	Desv. Desviación		2,323302	
	Mínimo		19,910	
	Máximo		24,530	
	Rango		4,620	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,547	1,225
	Curtosis		.	.

Fuente: Elaboración propia empleando IBM SPSS Statistics

La prueba de normalidad para el porcentaje de pérdida por desgaste por Cántabro en seco obtenido en las briquetas elaboradas para cada porcentaje de ligante asfáltico del 4.5% al 6.0% se presentan en la tabla 27. Ya que los grados de libertad (gl) son menores a 50 se trabajó por Shapiro-Wilk, en el que se obtuvieron significancias mayores al 0.05 en todos los datos al tener una distribución normal ante la variación de porcentaje de vacíos.

Tabla 27. Prueba de normalidad - Porcentaje de pérdida por desgaste por Cántabro en seco ante la variación de porcentaje de vacíos

Pruebas de normalidad

	Porcentaje de vacíos (%)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Porcentaje de Pérdida por desgaste - Cántabro en seco (%)	15,42	,272	3	.	,947	3	,556
	19,16	,286	3	.	,931	3	,492
	22,15	,186	3	.	,998	3	,919
	26,63	,216	3	.	,989	3	,796

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia empleando IBM SPSS Statistics

En el diagrama de bigotes para el porcentaje de pérdida por desgaste por Cántabro en seco obtenido en las briquetas elaboradas para cada porcentaje de ligante asfáltico del 4.5% al 6.0% ante la variación del porcentaje de vacíos, presentado en la figura 32 se observa que los resultados cumplen con los límites mínimos y máximos establecidos.

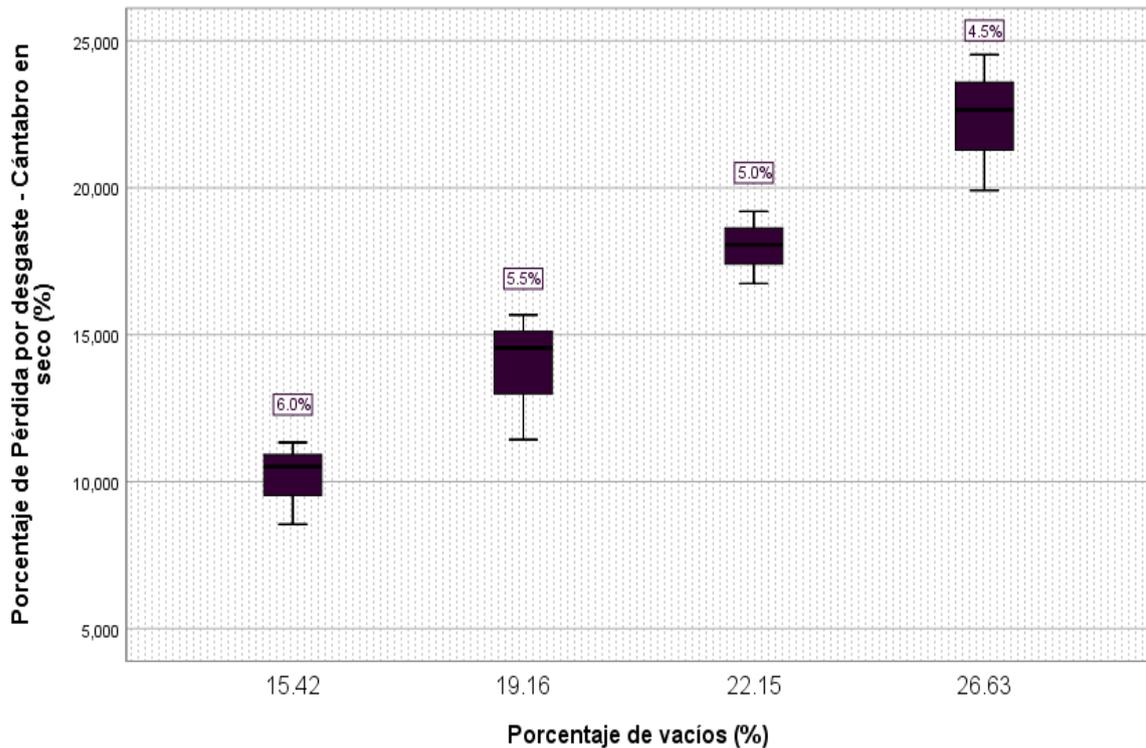


Figura 32. Diagrama de bigotes – Porcentaje de pérdida por desgaste por Cántabro en seco ante la variación de porcentaje de vacíos

Fuente: Elaboración propia empleando IBM SPSS Statistics

Al ser la significancia en la prueba de normalidad mayor a 0.05 se trabajó la correlación bivariada por Pearson, presentada en la tabla 28, obteniendo que para el porcentaje de pérdida por desgaste por Cántabro en seco obtenido en las briquetas elaboradas para cada porcentaje de ligante asfáltico del 4.5% al 6.0% ante la variación del porcentaje de vacíos el grado de correlación es de 0.947, lo cual significa que se tiene una correlación positiva perfecta.

Tabla 28. Correlación bivariada – Porcentaje de pérdida por desgaste por Cántabro en seco ante la variación de porcentaje de vacíos

Correlaciones

		Porcentaje de vacíos (%)	Porcentaje de Pérdida por desgaste - Cántabro en seco (%)
Porcentaje de vacíos (%)	Correlación de Pearson	1	,947**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	12	12
Porcentaje de Pérdida por desgaste - Cántabro en seco (%)	Correlación de Pearson	,947**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	12	12

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia empleando IBM SPSS Statistics

En el diagrama de dispersión del porcentaje de pérdida por desgaste por Cántabro en seco obtenido en las briquetas elaboradas para cada porcentaje de ligante asfáltico del 4.5% al 6.0% ante la variación del porcentaje de vacíos, presentado en la figura 33 se obtuvo un coeficiente de ajuste $R^2 = 0.901$ para la ecuación resultada en el análisis.

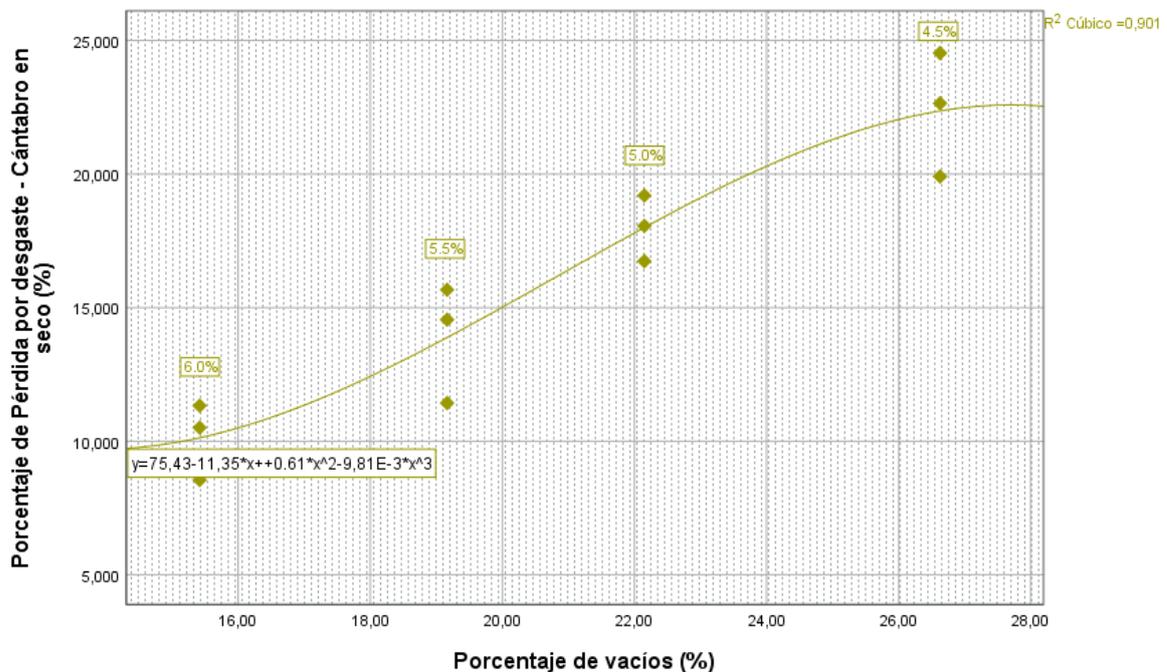


Figura 33. Diagrama de dispersión de puntos - Porcentaje de pérdida por desgaste por Cántabro en seco ante la variación de porcentaje de vacíos

Fuente: Elaboración propia empleando IBM SPSS Statistics

Porcentaje de aporte estructural ante los porcentajes de vacíos:

Los datos descriptivos para el aporte estructural obtenido en las briquetas elaboradas para cada porcentaje de ligante asfáltico del 4.5% al 6.0% se presentan en la tabla 29.

Tabla 29. Descriptivos – Porcentaje de aporte estructural ante la variación de porcentaje de vacíos

		Descriptivos					
		Porcentaje de vacíos (%)		Estadístico	Desv. Error		
Porcentaje de aporte estructural (%)	15,70	Media		65,7667	,20602		
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	65,2371			
			Límite superior	66,2963			
		Media recortada al 5%		65,7741			
		Mediana		65,7500			
		Varianza		,255			
		Desv. Desviación		,50465			
		Mínimo		65,10			
		Máximo		66,30			
		Rango		1,20			
		Rango intercuartil		,97			
		Asimetría		-,113	,845		
		Curtosis		-2,090	1,741		
			19,70	Media		67,9333	,17062
				95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	67,4947	
Límite superior	68,3719						
Media recortada al 5%				67,9315			
Mediana				67,9000			
Varianza				,175			
Desv. Desviación				,41793			
Mínimo				67,40			
Máximo				68,50			
Rango				1,10			
Rango intercuartil				,80			
Asimetría				,166	,845		
Curtosis				-1,322	1,741		
	23,00			Media		68,5333	,17062
				95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	68,0947	
		Límite superior	68,9719				
		Media recortada al 5%		68,5426			
		Mediana		68,6500			
		Varianza		,175			
		Desv. Desviación		,41793			
		Mínimo		67,90			
		Máximo		69,00			
		Rango		1,10			

	Rango intercuartil		,72	
	Asimetría		-,623	,845
	Curtosis		-,955	1,741
26,80	Media		64,9000	,19494
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	64,3989	
		Límite superior	65,4011	
	Media recortada al 5%		64,8944	
	Mediana		64,8000	
	Varianza		,228	
	Desv. Desviación		,47749	
	Mínimo		64,30	
	Máximo		65,60	
	Rango		1,30	
	Rango intercuartil		,85	
	Asimetría		,430	,845
	Curtosis		-,796	1,741

Fuente: Elaboración propia empleando IBM SPSS Statistics

La prueba de normalidad para el aporte estructural obtenido en las briquetas elaboradas para cada porcentaje de ligante asfáltico del 4.5% al 6.0% se presentan en la tabla 30. Ya que los grados de libertad (gl) son menores a 50 se trabajó por Shapiro-Wilk, en el que se obtuvieron significancias mayores al 0.05 en todos los datos al tener una distribución normal ante la variación de porcentaje de vacíos.

Tabla 30. Prueba de normalidad - Porcentaje de aporte estructural ante la variación de porcentaje de vacíos

Pruebas de normalidad

	Porcentaje de vacíos (%)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Porcentaje de aporte estructural (%)	15,70	,201	6	,200*	,896	6	,353
	19,70	,143	6	,200*	,972	6	,907
	23,00	,238	6	,200*	,932	6	,595
	26,80	,167	6	,200*	,967	6	,873

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia empleando IBM SPSS Statistics

En el diagrama de bigotes del aporte estructural obtenido en las briquetas elaboradas para cada porcentaje de ligante asfáltico del 4.5% al 6.0% ante la variación del porcentaje de vacíos, presentado en la figura 34 se observa que los resultados cumplen con los límites mínimos y máximos establecidos.

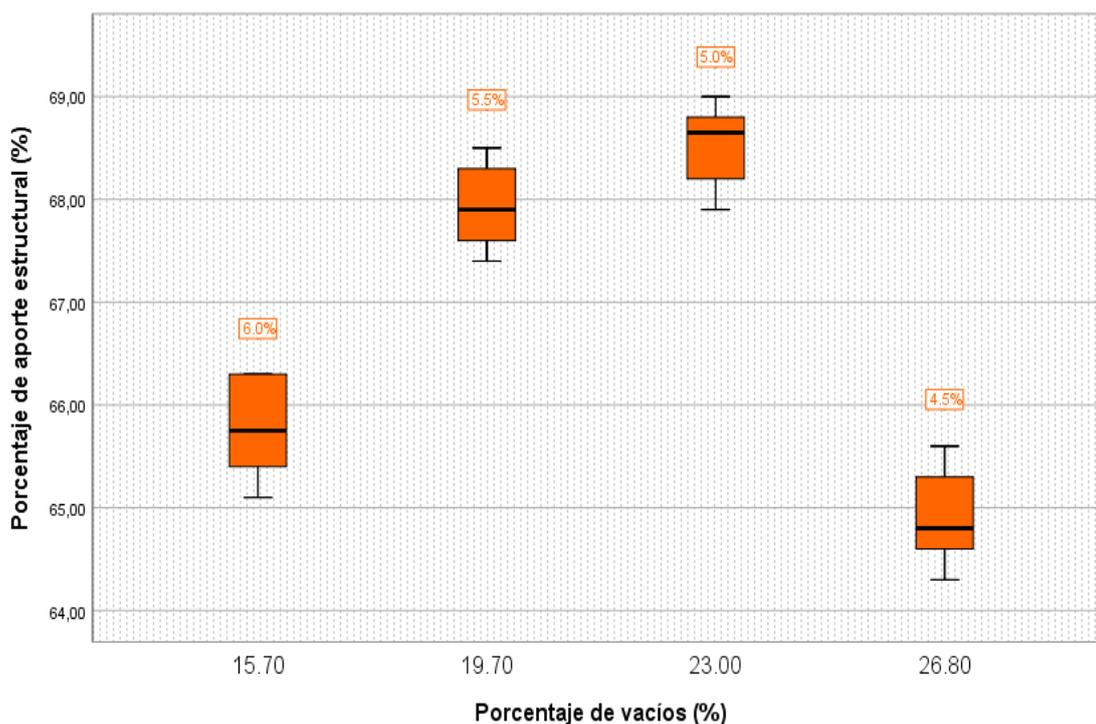


Figura 34. Diagrama de bigotes – Porcentaje de aporte estructural ante la variación de porcentaje de vacíos

Fuente: Elaboración propia empleando IBM SPSS Statistics

Al ser la significancia en la prueba de normalidad mayor a 0.05 se trabajó la correlación bivariada por Pearson, presentada en la tabla 31, obteniendo que para el aporte estructural obtenido en las briquetas elaboradas para cada porcentaje de ligante asfáltico del 4.5% al 6.0% ante la variación del porcentaje de vacíos el grado de correlación es de -0.139, lo cual significa que se tiene una correlación negativa media.

Tabla 31. Correlación bivariada – Porcentaje de aporte estructural ante la variación de porcentaje de vacíos

Correlaciones

		Porcentaje de vacíos (%)	Porcentaje de aporte estructural (%)
Porcentaje de vacíos (%)	Correlación de Pearson	1	-,139
	Sig. (bilateral)		,518
	N	24	24
Porcentaje de aporte estructural (%)	Correlación de Pearson	-,139	1
	Sig. (bilateral)	,518	
	N	24	24

Fuente: Elaboración propia empleando IBM SPSS Statistics

En el diagrama de dispersión del aporte estructural obtenido en las briquetas elaboradas para cada porcentaje de ligante asfáltico del 4.5% al 6.0% ante la variación del porcentaje de vacíos, presentado en la figura 35 se obtuvo un coeficiente de ajuste $R^2 = 0.928$ para la ecuación resultada en el análisis.

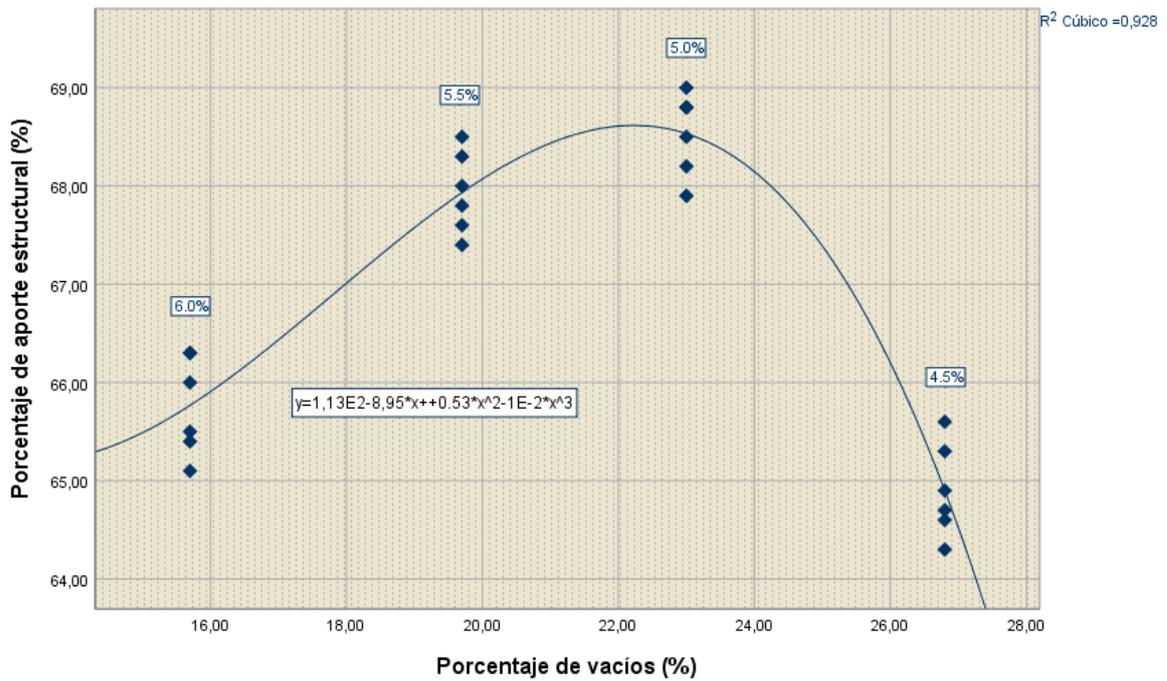


Figura 35. Diagrama de dispersión de puntos - Capacidad de infiltración ante la variación de porcentaje de vacíos

Fuente: Elaboración propia empleando IBM SPSS Statistics

CONCLUSIONES

1. Se concluye que la mezcla asfáltica drenante realizada por la gradación granulométrica CAD 12 influye de manera significativa en la capacidad estructural, debido a que en los estudios realizados a la mezcla asfáltica drenante mediante el valor mínimo establecido en la normativa Marshall, aún aplicada en la infraestructura vial nacional, se obtienen porcentajes de aporte estructural el cual resultó de 69.01% para el diseño de mezcla asfáltica drenante propuesto con un 5.0% de ligante asfáltico modificado, siendo este porcentaje la capacidad estructural más elevada obtenida en función del valor mínimo de Marshall establecido. También se encontró que en éste diseño con 5.0% de ligante asfáltico modificado se cumple con que el porcentaje de vacíos obtenido de 23% sea mayor al mínimo 20%, según lo establecen los requisitos del diseño CAD 12. Además, se establece para este tipo de diseño que los porcentajes de pérdida al Cántabro en seco sean menores al 25% y los porcentajes de pérdida al Cántabro tras inmersión sean menores al 30%; lo cual se cumple para el porcentaje de ligante asfáltico modificado de 5.0% de este diseño, obteniendo que la pérdida por desgaste en seco es del 18% y la pérdida por desgaste tras inmersión es de 23.2%. Con respecto a la permeabilidad de diseño de mezclas asfálticas drenantes, la normativa Invías indica que el valor mínimo es de 6.7 cm³/seg, y en este diseño se obtuvo que para el 5.0% de ligante asfáltico modificado la permeabilidad es de 10 cm³/seg. El índice de rigidez nos sirve para comprobar la relación entre estabilidad y flujo dentro de los límites de 1700 kg/cm y 4000 kg/cm, según lo establece la normativa Marshall, por lo que se comprobó que para el 5.0% de ligante asfáltico en este diseño los índices de rigidez obtenidos se encuentran entre 2140 kg/cm y 2330 kg/cm, dentro de los límites permitidos. Resultando así que una mezcla asfáltica drenante tiene una baja capacidad estructural congénita al porcentaje de vacíos que lo caracteriza, debido a que su función principal es optimizar las propiedades principales en la carpeta de rodadura, sin embargo, genera una capacidad estructural sobre la carpeta en la que se coloque, lo cual permitiría optimizar costos y disminuir espesores de la carpeta de rodadura con este porcentaje de aporte estructural obtenido.

2. La capacidad de infiltración obtenida en el diseño de la mezcla asfáltica drenante propuesta se determinó realizando el ensayo de permeabilidad como lo especifica el MTC E 516, con este ensayo se obtuvieron tres parámetros para evaluar la permeabilidad de esta mezcla asfáltica drenante diseñada. El primer parámetro es el tiempo de evacuación siendo el menor valor resultante de 7.6 seg para el 4.5% de ligante asfáltico con un porcentaje de vacíos de 26.8%, mientras que para el 6.0% de ligante asfáltico es de 16.8 seg con un porcentaje de vacíos de 15.7%, resultando en este diseño que a mayor porcentaje de vacíos menor es el tiempo de evacuación. El segundo parámetro es la permeabilidad, siendo el mayor valor resultante de 13.2 cm³/seg para el 4.5% de ligante asfáltico y porcentaje de vacíos de 26.8%, mientras que para el 6.0% de ligante asfáltico es de 6 cm³/seg con un porcentaje de vacíos de 15.7%, resultando en este diseño que a mayor porcentaje de vacíos mayor es la permeabilidad. Por último, se evaluó la densidad geométrica en seco y saturada, obteniendo que el menor valor resultante para la densidad geométrica en seco es de 1.886 gr/cm³ para el 4.5% de ligante asfáltico con un porcentaje de vacíos de 26.8%, mientras que para el 6.0% de ligante asfáltico es de 1.966 gr/cm³ con un porcentaje de vacíos de 15.7%, resultando en este diseño que a mayor porcentaje de vacíos menor es su densidad geométrica en seco. Finalmente, se interpreta que para el mayor aporte estructural que se dio con 5.0% de ligante asfáltico el tiempo de evacuación es de 10 seg, siendo un 24% mayor al tiempo mínimo obtenido; la permeabilidad resultante en este diseño es de 10 cm³/seg, siendo un 24.2% menor al máximo valor y siendo mayor al mínimo de 6.7 cm³/seg según lo recomienda la normativa Invías; por último, la densidad geométrica en seco es de 1.92 gr/cm³ siendo un 1.8% mayor a la densidad geométrica mínima obtenida. Resultando que la capacidad de infiltración cumple con las limitaciones de la normativa Invías de diseño de mezclas asfálticas drenantes y que al haber un elevado porcentaje de vacíos el tiempo que toma evacuar el agua es bajo, por ende, la permeabilidad es alta.
3. Los porcentajes de pérdida de masa por desgaste obtenidos en el diseño de la mezcla asfáltica drenante propuesta se determinaron realizando el ensayo de Cántabro como lo especifica el MTC E 515, con este ensayo se obtuvieron los porcentajes de pérdida de masa por Cántabro en seco y tras inmersión de la

mezcla diseñada. El porcentaje de pérdida por desgaste en seco mayor es del 22.4% para un 4.5% de ligante asfáltico con un porcentaje de vacíos de 26.8%, mientras que para un 6.0% de ligante asfáltico el porcentaje de pérdida es del 10% con un porcentaje de vacíos de 15.7%, resultando en este diseño que a mayor porcentaje de vacíos mayor es el porcentaje de pérdida por desgaste en seco. Y al evaluar el porcentaje de pérdida por desgaste tras inmersión el mayor resultado es de 27.2% para un 4.5% de ligante asfáltico con un porcentaje de vacíos de 26.8%, mientras que para un 6.0% de ligante asfáltico el porcentaje de pérdida es del 16% con un porcentaje de vacíos de 15.7%, resultando que a mayor porcentaje de vacíos mayor es el porcentaje de pérdida por desgaste tras inmersión. Finalmente, se interpreta que para el mayor aporte estructural que se dio con 5.0% de ligante asfáltico el porcentaje de pérdida por desgaste en seco es del 18%, un 19.6% menor al porcentaje máximo y menor al máximo de 25% según las especificaciones del diseño CAD 12 en el ensayo Cántabro NLT 352-86, y para el porcentaje de pérdida por desgaste tras inmersión es de 23.2%, un 14.7% menor al porcentaje máximo y menor al máximo de 30% según las especificaciones del diseño CAD 12 del ensayo Cántabro NLT 352-86. Concluyendo que al haber un elevado porcentaje de vacíos el porcentaje de pérdida por desgaste es elevado, ya que, la alta presencia de vacíos no brinda tanta resistencia a esta mezcla drenante obtenida como con una mezcla asfáltica convencional.

4. Las propiedades de estabilidad y flujo en el diseño de la mezcla asfáltica drenante propuesta se determinaron realizando el ensayo de Marshall como lo especifica el MTC E 504. La estabilidad máxima obtenida es 568.7 kg para un 5.0% de ligante asfáltico con un porcentaje de vacíos de 23%, mientras que para un 4.5% de ligante asfáltico la estabilidad mínima es de 539.6 kg con un porcentaje de vacíos de 26.8%, resultando en este diseño que al ir aumentando el porcentaje de vacíos la estabilidad aumenta hasta que al llegar al máximo de vacíos la estabilidad vuelve a bajar. Y al evaluar el flujo el mínimo resultado es de 2.40 mm para un 4.5% de ligante asfáltico con un porcentaje de vacíos de 26.8%, mientras que para un 6.0% de ligante asfáltico el flujo es de 2.92 mm con un porcentaje de vacíos de 15.7%, resultando que a mayor porcentaje de vacíos menor es el flujo. Finalmente, se interpreta que para el mayor aporte

estructural que se dio con 5.0% de ligante asfáltico la estabilidad es de 568.7 kg, un 5.1% mayor a la estabilidad mínima, cabe resaltar que todos los valores de estabilidad obtenidos para este diseño son menores al mínimo establecido por Marshall de 830.8 kg, el flujo es de 2.56 mm, 6.3% mayor al valor mínimo y cumpliendo con los límites de 2 mm a 3.5 mm según lo establecido por Marshall y al analizar el índice de rigidez resultante es de 2220 kg/cm, el cual cumple con las limitaciones establecidas por Marshall de 1700 kg/cm a 4000 kg/cm. Resultando que los valores de estabilidad están por debajo del mínimo establecido, esto se debe al elevado porcentaje de vacíos en esta mezcla asfáltica drenante diseñada, y para los valores de flujo resulta que a mayor porcentaje de vacíos es menor la fluencia.

RECOMENDACIONES

1. El estudio de las propiedades de las mezclas asfálticas drenantes se trabajó en función del método de Marshall, el cual aún es aplicado a nivel nacional en mezclas asfálticas convencionales, para evaluar de igual forma en las mezclas asfálticas especiales se recomienda emplear gradaciones granulométricas distintas como las SMA (Stone Mastic Asphalt), de esta forma obtener un aporte estructural referente a este tipo de mezcla que se enfoca en rigidizar la carpeta de rodadura con agregados de tamaño nominal muy grueso en su composición y porcentajes de vacíos muy bajos en comparación.
2. Se recomienda realizar un análisis de la capacidad de infiltración de las mezclas asfálticas drenantes en función del espesor de la carpeta de rodadura colocada, debido a que se podría inferir que a mayor espesor en la carpeta de rodadura podría existir una mayor drenabilidad y evacuación de agua en la superficie del pavimento, mediante la aplicación de tramos de prueba que reflejen la capacidad de infiltración. De esta forma se optimizaría aun mas el espesor requerido a partir del diseño de una mezcla asfáltica porosa y de acuerdo a los caudales máximos generados por una precipitación en la zona de estudio.
3. Se recomienda realizar estudios complementarios al diseño de la mezcla asfáltica drenante propuesta, con ensayos de desempeño enfocados a vías con alto tráfico, mediante equipos especializados que permitan determinar el ahuellamiento, el envejecimiento y susceptibilidad térmica. De esta forma poder aplicar las mezclas asfálticas drenantes para zonas con características muy específicas, buscando que se mantengan las propiedades funcionales que ofrece un diseño de mezcla drenante en climas muy cálidos y con un nivel de tráfico elevado. Estos ensayos podrían brindar una mayor información referente al comportamiento del ligante asfáltico en función a una mezcla asfáltica drenante, de esta forma poder llevar a una mejora continua de este tipo de diseños.
4. Finalmente, se recomienda realizar un estudio referente al índice de rigidez obtenido de mezclas asfálticas drenantes mediante equipos especializados, como el ensayo de módulo dinámico y ensayo de tracción indirecta. De esta

forma poder proyectar el tiempo de vida útil que presenta un diseño de mezcla asfáltica drenante respecto solo de la capacidad estructural que proyecte, ya que este tiempo de vida útil también se podría ver afectado por la colmatación generada en sus vacíos porque a largo plazo también genera una disminución en esta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudelo Cendales, Miguel Angel. 2019. *Estudio comparativo del envejecimiento a largo plazo de una mezcla con asfalto modificado con grano de caucho reciclado*. Bogotá : Universidad Católica de Colombia, 2019.
- Ahmed, Fuad. 2015. *Rendimiento de obstrucción de asfalto poroso en condiciones suecas*. Stockholm : Vetenskap Och Konst, 2015.
- Asociación Argentina de Carreteras. 2019. *Carreteras*. Buenos Aires : AAC, 2019. 204.
- Ayala Loza, Marvin Emmanuel y Juárez Alarcón, Ivy Eneida. 2010. *Diseño de mezcla drenante con asfalto modificado disponible en El Salvador*. El Salvador : Universidad de El Salvador, 2010.
- Briggs, Joshua F. 2006. *Evaluación del rendimiento del asfalto poroso para el tratamiento de aguas pluviales*. Durham : Master's Theses and Capstone, 2006.
- Brown, Robert y Borst, Michael. 2016. *Concentraciones de infiltrado de nutrientes de tres tipos de pavimentos permeables*. New Jersey : Instituto de Ciencia y Educación de la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU., 2016.
- Caicedo, Sara Catherine Plaza Torralvo / Ginna Tatiana Rincón. 2014. *Estudio de la susceptibilidad al daño por humedad de una mezcla asfáltica para rodadura utilizando asfalto 80-100 y su relación con el desempeño de campo*. Bogota : Pontificia Universidad Javeriana Bogotá, 2014.
- Chávez Céspedes, Manuel y Fano Descalzi, Jonathan Cesar. 2017. *Diseño estructural de un pavimento básico reciclado y mejorado con cemento portland para diferentes dosificaciones en el proyecto conservación vial de Huancavelica*. Lima : Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2017.
- Durant Broden, Jorge Gabriel. 2017. *Relleno elastomérico para pavimentos asfálticos en climas de altura mediante el reciclado de neumáticos*. Puno : Universidad Nacional del Altiplano, 2017.
- Gomez Bastar, Sergio. 2012. *Metodología de la investigación*. Estado de México : Ma. Eugenia Buendía López, 2012.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. 2010. *Metodología de la Investigación*. México : Ediciones Mac Graw Hill, 2010. 5.

Jongmin, Kim, y otros. 2016. *Un sistema de drenaje para mitigar los daños por humedad en los pavimentos de la plataforma del puente*. 2016.

López Moreno, Carol Patricia. 2013. *Comportamiento mecánico de mezclas asfáltica drenante*. Bogotá : Universidad Nacional de Colombia, 2013.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. 2020. Estadística - Infraestructura de Transportes - Infraestructura Vial. [En línea] 29 de mayo de 2020. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344790-estadistica-infraestructura-de-transportes-infraestructura-vial>.

Quiñones Paucar, Kori. 2017. *Diagnóstico y diseño vial del pavimento flexible: Avenida Alfonso Ugarte (tramo: Carretera Central - Avenida Ferrocarril), en el distrito de Hualhuas, provincia de Huancayo 2016*. Huancayo : Universidad Peruana Los Andes, 2017.

Tueros Davila, Mercedes Nadia. 2017. *Incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional para mejorar el comportamiento de la superficies de rodadura frente al ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016*. Huancayo : Universidad Peruana Los Andes, 2017.

Usquiano Tantalán, I. A & Villareal Guimarey, J. F. 2016. *Diseño de una mezcla asfáltica tibia con aceite de palma*. Sipán : Pimentel, 2016.

Wulf Rodriguez, Fernando Andres. 2008. *Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero*. Valdivia : Universidad Austral de Chile, 2008.

ANEXOS

ANEXO 1. Panel fotográfico

1. MATERIALES PARA EMPLEAR

ANEXO 1. 1. ARENA ZARANDEADA, ARENA CHANCADA Y PIEDRA DE 1/2 PROVENIENTE DE LA CANTERA CHUPURO

Se tuvo en cuenta que los agregados deben cumplir con tener mayor porcentaje de finos para la elaboración de la mezcla asfáltica drenante.



ANEXO 1. 2. TAMICES

Empleando los tamices de 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°10, N° 16, N°30, N°40, N°50, N°80, N°100, N°200, tapa y fondo se realizará el ensayo granulométrico.



ANEXO 1. 3. LIGANTE ASFÁLTICO MODIFICADO

Para la elaboración de la mezcla asfáltica drenante se empleará un ligante asfáltico modificado que proporcione mejores propiedades a este tipo de mezcla.



ANEXO 1. 4. PESO DE AGREGADOS

Empleando las balanzas indicadas en la norma MTC E 204, se obtuvieron 3kg de muestra de piedra de $\frac{1}{2}$, y 500 gr de muestra de arena zarandeada y arena chancada.



2. PREPARACIÓN DE LAS BRIQUETAS – Diseño CAD 12

ANEXO 1. 5. EQUIPOS PARA ELABORAR LAS BRIQUETAS

Se utilizarán las placas base, moldes cilíndricos, collarines y el pisón de compactación, que cumplan con las especificaciones de la norma MTC E 504 para la elaboración de las briquetas de mezclas drenantes.



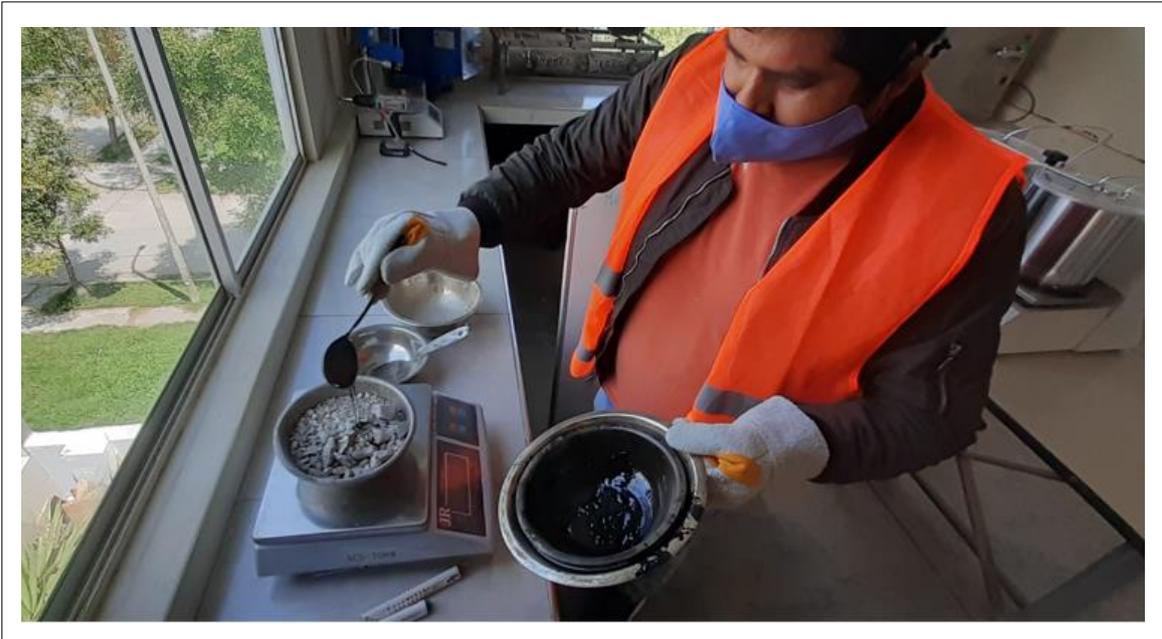
ANEXO 1. 6. MUESTRAS DE AGREGADOS PARA DISEÑO CAD 12

Empleando la combinación teórica diseñadas con las especificaciones CAD 12 se obtendrán las muestras de arena zarandeada, chancada y piedra de 1/2".



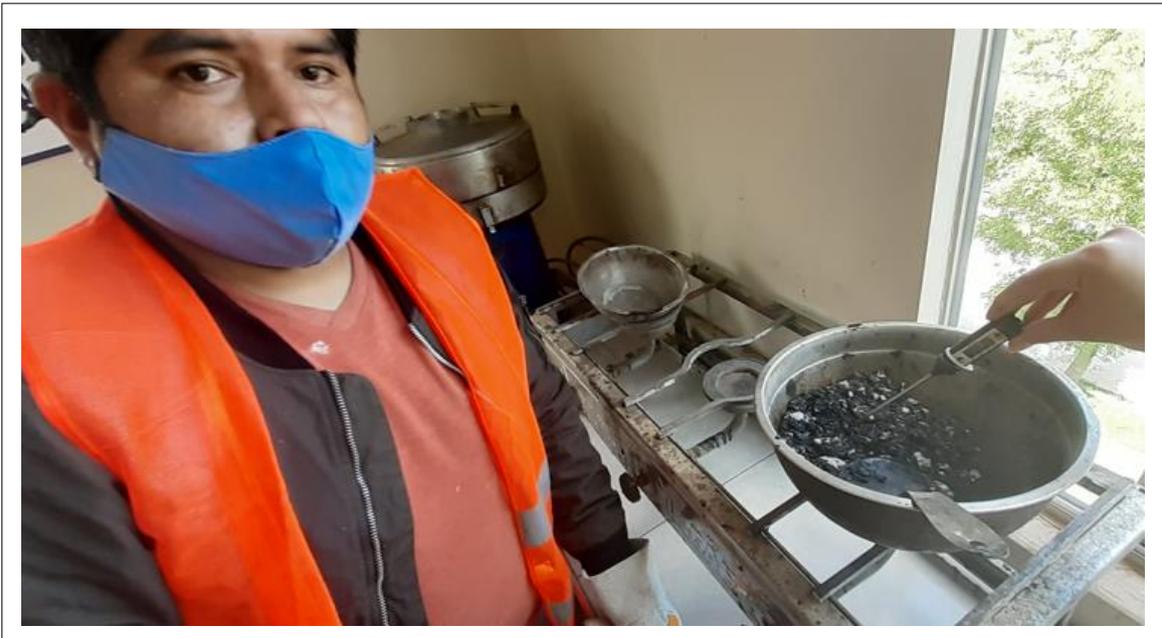
ANEXO 1. 7. MEZCLA ASFÁLTICA DRENANTE

Con el diseño CAD 12 obtenido se procedió a realizar la mezcla de agregados con el ligante asfáltico modificado a una temperatura de 150°C.



ANEXO 1. 8. MEZCLA ASFÁLTICA DRENANTE FINAL

Se realiza la mezcla de manera uniforme y se controla que la temperatura se mantenga a 150 °C.



ANEXO 1. 9. COLOCACIÓN DE MUESTRA EN MOLDE

Se coloca la muestra con cuidado de no perder material en el molde, además se debe chusear la mezcla para uniformizarla y eliminar los vacíos de aire.



ANEXO 1. 10. COMPACTACIÓN DE BRIQUETAS

Con los equipos para elaborar las briquetas calentados a 150°C de temperatura, se procedió a colocar y compactar la mezcla asfáltica drenante para uniformizar la mezcla, se aplicaron 50 golpes a cada cara.



ANEXO 1. 11. DESMOLDE DE BRIQUETAS

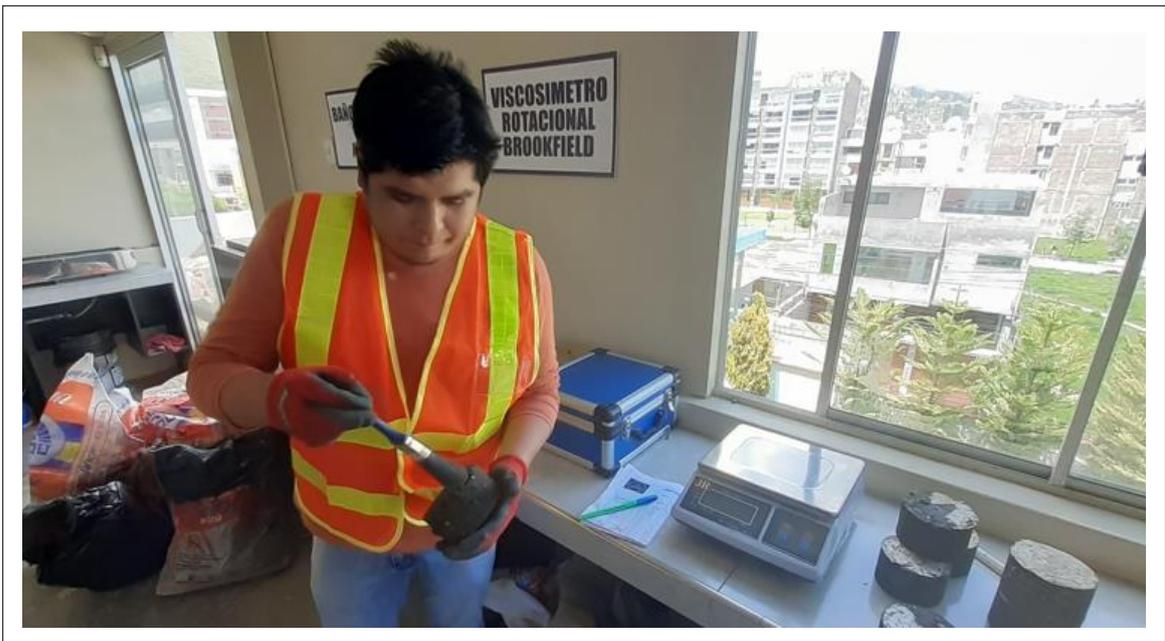
No se retiran los moldes empleados al elaborar las briquetas hasta después de 24 horas, ya que al mantener una briqueta a temperatura más helada se asegura que no se quedará material residual en las briquetas.



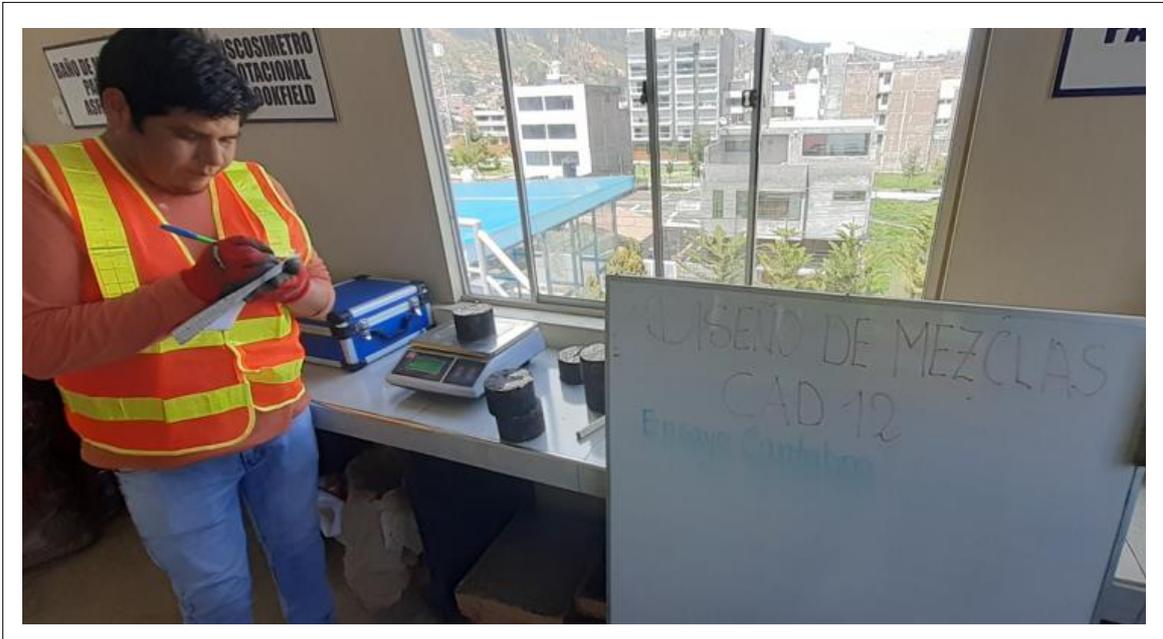
3. ENSAYO DE PÉRDIDA POR DESGASTE - CÁNTABRO

ANEXO 1. 12. PÉRDIDA POR DESGASTE EN SECO

Manteniendo las briquetas obtenidas entre 15 °C a 30 °C se pesan, inmediatamente se colocan en la máquina Los Ángeles sin cargas de bolas y se dan 300 vueltas, para obtener su nuevo peso en seco.



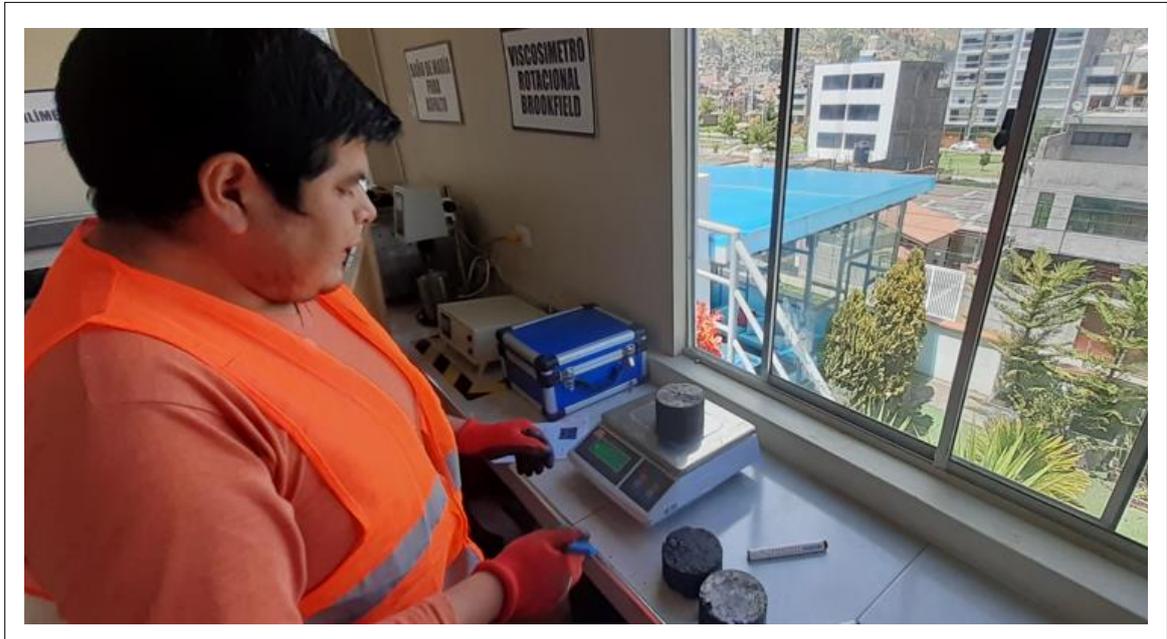
ANEXO 1. 13. TOMA DE PESO TRAS PÉRDIDA POR DESGASTE EN SECO
Se registran los pesos de las briquetas tras ser sometidas al ensayo de pérdida por desgaste en seco.



ANEXO 1. 14. PÉRDIDA POR DESGASTE TRAS INMERSIÓN
Manteniendo las briquetas obtenidas sumergidas en agua por 24 horas se pesan, inmediatamente se colocan en la máquina Los Ángeles sin cargas de bolas y se dan 300 vueltas, para obtener su nuevo peso tras inmersión.



ANEXO 1. 15. TOMA DE PESO EN PÉRDIDA POR DESGASTE TRAS INMERSIÓN
Se registran los pesos de las briquetas tras ser sometidas al ensayo de pérdida por desgaste tras inmersión.



4. ENSAYO DE MARSHALL

ANEXO 1. 16. PESO SECO

Se tomará el peso de las briquetas en seco y se registrarán los resultados según el diseño y el ligante asfáltico empleado.



ANEXO 1. 17. SATURACIÓN DE BRIQUETAS

Las briquetas serán inmersas en agua por 30 minutos aproximadamente para que todos los vacíos de aire se saturen de agua de manera completa.



ANEXO 1. 18. PESO EN SATURACIÓN

Las briquetas inmersas en agua serán secadas de manera superficial para obtener los pesos saturados de las briquetas.



ANEXO 1. 19. PESO SUMERGIDO

Se sumergirán las briquetas en una cesta con agua, sin que esta tenga contacto con la base del depósito de agua, para así obtener el peso sumergido de la briqueta.



ANEXO 1. 20. ACONDICIONAMIENTO DE BRIQUETAS

Tras tomar los pesos necesarios para el ensayo de peso unitario se procede a colocar todas las briquetas en baño María para su acondicionamiento por 30 minutos.



ANEXO 1. 21. ENSAYOS DE MARSHALL

Con el aparato de Marshall se obtuvieron las propiedades mecánicas de las briquetas, y aplicando una carga a las briquetas diseñadas se tomarán las lecturas de los diales mediante grabaciones.



5. ENSAYO DE INFILTRACIÓN

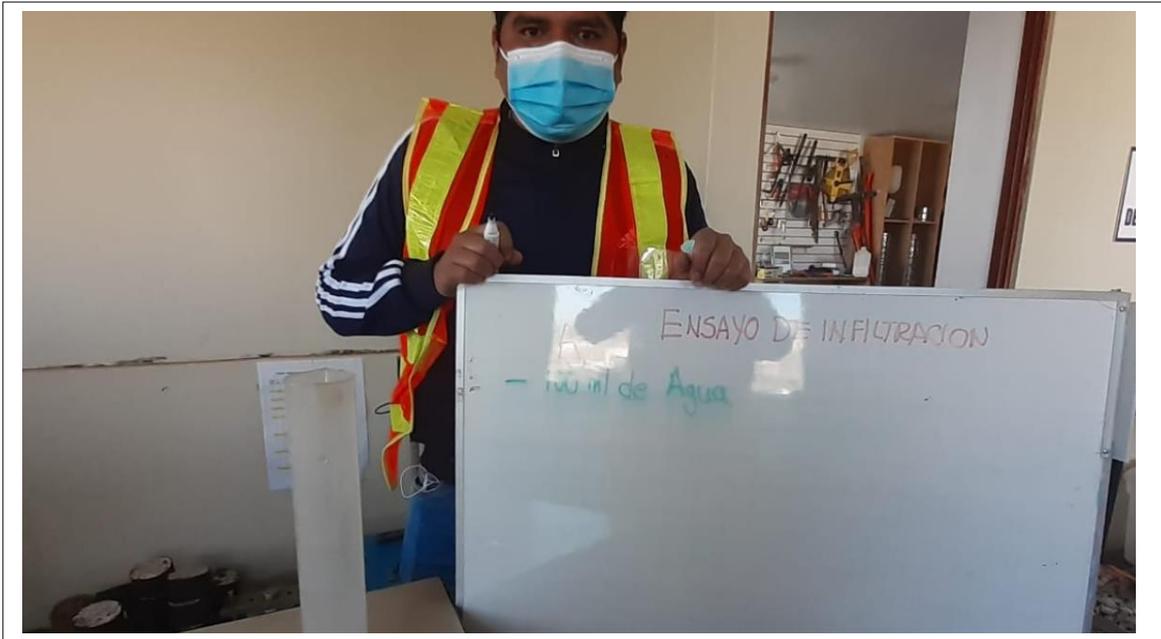
ANEXO 1. 22. TIEMPO DE EVACUACIÓN – MTC E 516

Para realizar el ensayo de infiltración se necesita haber calculado 100ml de agua.



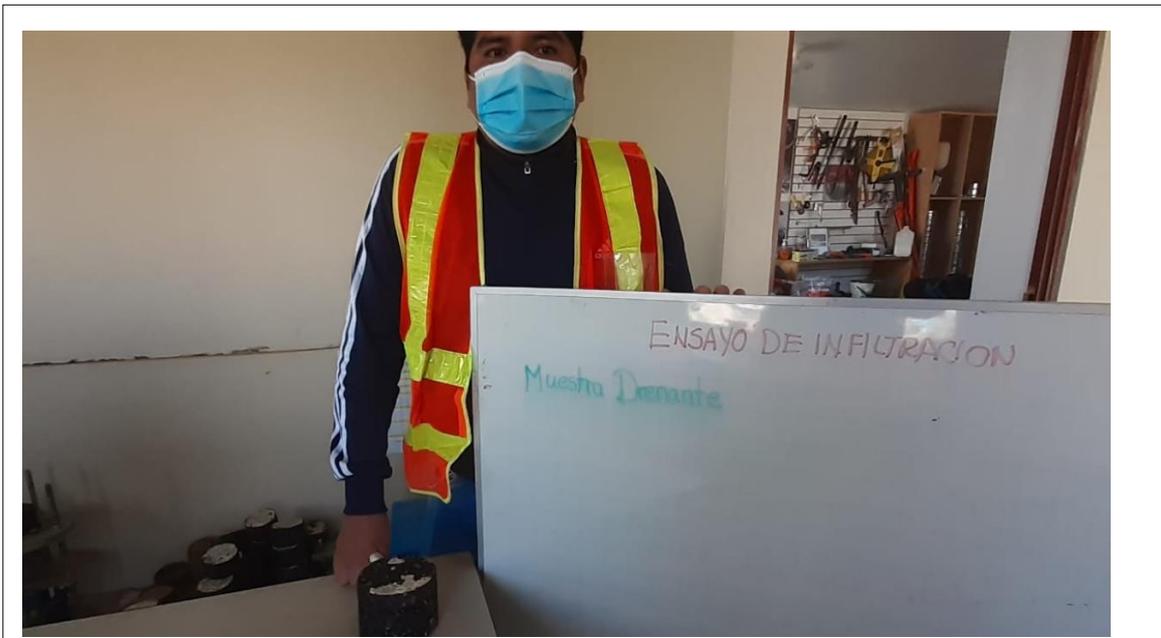
ANEXO 1. 23. MUESTRA DE AGUA – MTC E 516

Empleando un permeámetro se verificará tener 100 ml de agua para proceder con el ensayo.



ANEXO 1. 24. MUESTRA DE BRIQUETA DRENANTE

Se elaboraron nuevas muestras de briquetas drenantes para el ensayo de infiltración.



ANEXO 1. 25. EQUIPO PARA ENSAYO DE INFILTRACIÓN

Se colocará cada muestra de briqueta drenante en un tubo de diámetro igual al de la briqueta para que no se filtre el agua por los costados y evitar errores en los resultados del ensayo.



ANEXO 1. 26. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Se verterá la muestra de 100 ml de agua en el tubo superior con cuidado de no desperdiciar la muestra. Esta muestra quedará retenida en el tubo de menor diámetro antes de proceder con medir el tiempo de evacuación.



ANEXO 1. 27. VOLUMEN DE EVACUACIÓN

Se tomará el tiempo de evacuación de los 100 ml de agua, según lo recomienda la norma el cronómetro debe ser de 0.5 s de precisión. El ensayo se repetirá para las tres muestras por cada porcentaje de ligante asfáltico empleado.



ANEXO 2. Certificados de los ensayos realizados

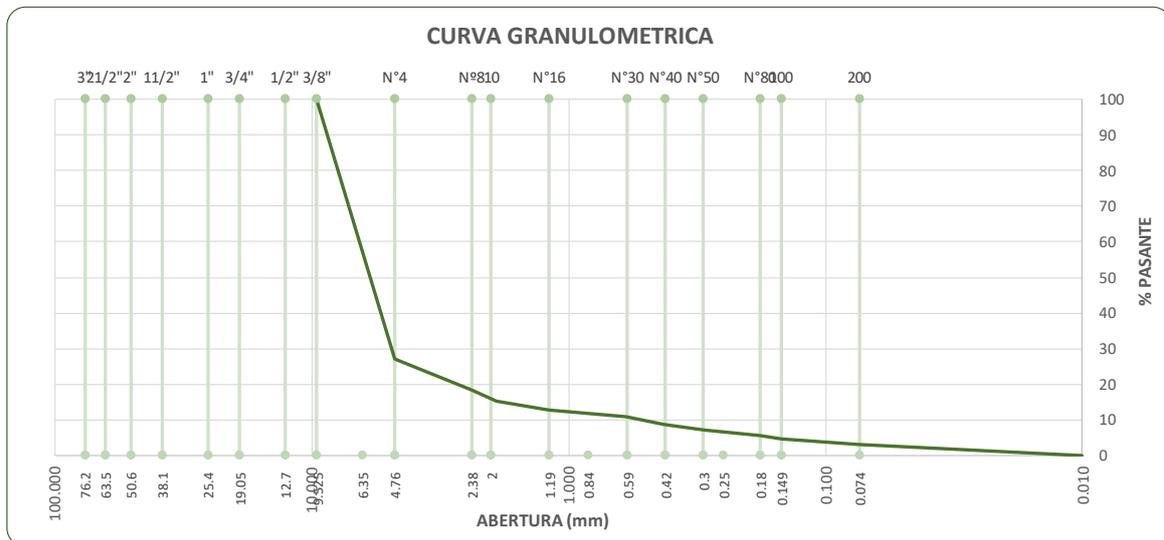


LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS Y MECÁNICAS PARA EL DISEÑO BALANCEADO DE MEZCLAS POROSAS CON OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD INFILTRACIÓN, HUANCAYO 2022
CONSULTOR: BACH. RICHARD JULIO ROMERO GENTE
UBICACIÓN: HUANCAYO
CANTERA: CHUPURO
MUESTRA: AGUC-001
FECHA: 21-03-22

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E 204)

ARENA ZARANDEADA					
Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumul.	% Pasante
Tamiz	mm				
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700				
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
No4	4.763	1093.50	72.90	72.90	27.10
No8	2.381	133.20	8.88	81.78	18.22
No10	1.905	45.15	3.01	84.79	15.21
No16	1.191	37.05	2.47	87.26	12.74
No30	0.595	28.35	1.89	89.15	10.85
No40	0.423	31.45	2.10	91.25	8.75
No50	0.298	23.60	1.57	92.82	7.18
No80	0.179	24.45	1.63	94.45	5.55
No100	0.149	12.50	0.83	95.28	4.72
No200		25.05	1.67	96.95	3.05
<No200		45.70	3.05	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA =		1500.00 gr			




Juan Ernesto Tejada Diaz
 JEFE DE LABORATORIO
 COLDPIX E.I.R.L.


Julio Adrian Rojas Poma
 TÉCNICO DE LABORATORIO
 COLDPIX E.I.R.L.



LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS Y MECÁNICAS PARA EL DISEÑO BALANCEADO DE MEZCLAS POROSAS CON OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD INFILTRACIÓN, HUANCAYO 2022

CONSULTOR: BACH. RICHARD JULIO ROMERO GENTE

UBICACIÓN: HUANCAYO

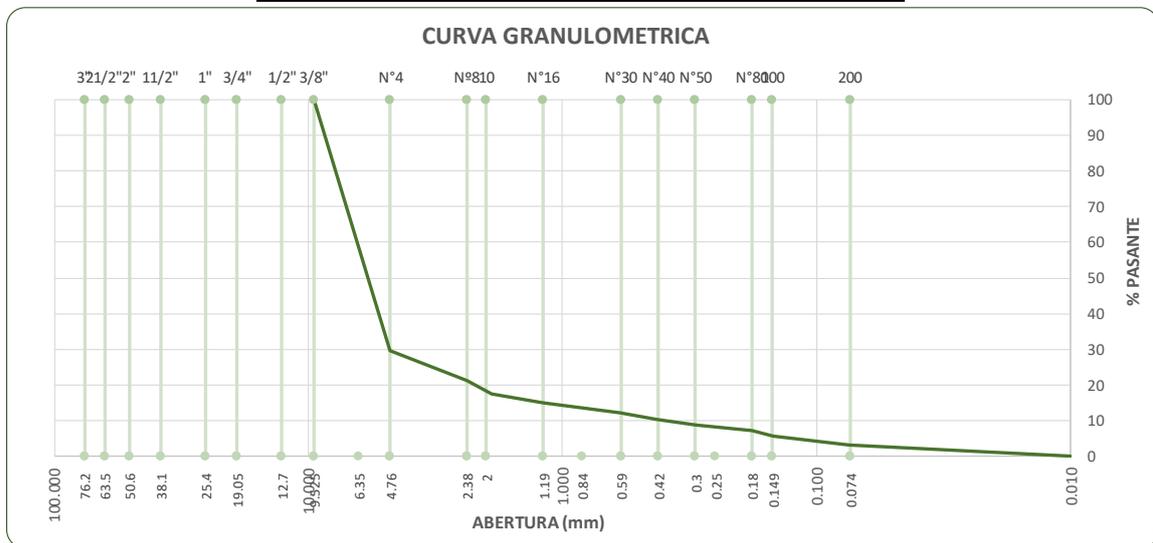
CANTERA: CHUPURO

MUESTRA: AGUC-002

FECHA: 21-03-22

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E 204)

ARENA CHANCADA					
Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumul.	% Pasante
Tamiz	mm				
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700				
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
No4	4.763	1056.45	70.43	70.43	29.57
No8	2.381	123.95	8.26	78.69	21.31
No10	1.905	57.90	3.86	82.55	17.45
No16	1.191	34.20	2.28	84.83	15.17
No30	0.595	44.15	2.94	87.78	12.22
No40	0.423	28.05	1.87	89.65	10.35
No50	0.298	24.75	1.65	91.30	8.70
No80	0.179	23.70	1.58	92.88	7.12
No100	0.149	21.15	1.41	94.29	5.71
No200		36.90	2.46	96.75	3.25
<No200		48.80	3.25	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA =		1500.00 gr			




Juan Ernesto Tejada Diaz
 JEFE DE LABORATORIO
 COLDPIX E.I.R.L.


Julio Adrian Rojas Poma
 TÉCNICO DE LABORATORIO
 COLDPIX E.I.R.L.



LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS Y MECÁNICAS PARA EL DISEÑO BALANCEADO DE MEZCLAS POROSAS CON OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD INFILTRACIÓN, HUANCAYO 2022

CONSULTOR: BACH. RICHARD JULIO ROMERO GENTE

UBICACIÓN: HUANCAYO

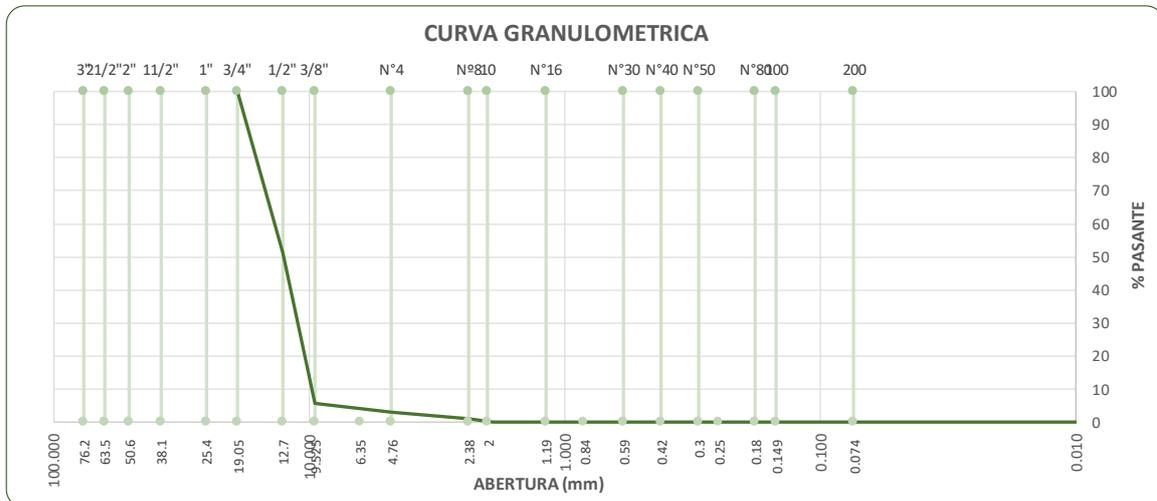
CANTERA: CHUPURO

MUESTRA: AGUC-003

FECHA: 21-03-22

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E 204)

PIEDRA (1/2")					
Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumul.	% Pasante
Tamiz	mm				
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	0.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	1464.00	48.80	48.80	51.20
3/8"	9.525	1362.60	45.42	94.22	5.78
No4	4.763	79.80	2.66	96.88	3.12
No8	2.381	57.60	1.92	98.80	1.20
No10	1.905	36.00	1.20	100.00	0.00
No16	1.191	0.00	0.00	100.00	0.00
No30	0.595	0.00	0.00	100.00	0.00
No40	0.423	0.00	0.00	100.00	0.00
No50	0.298	0.00	0.00	100.00	0.00
No80	0.179	0.00	0.00	100.00	0.00
No100	0.149	0.00	0.00	100.00	0.00
No200		0.00	0.00	100.00	0.00
<No200		0.00	0.00	100	0.00
TOTAL MUESTRA =		3000.00	gr		




Juan Ernesto Tejada Diaz
 JEFE DE LABORATORIO
 COLDPIX E.I.R.L.


Julio Adrian Rojas Poma
 TECNICO DE LABORATORIO
 COLDPIX E.I.R.L.



LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS Y MECÁNICAS PARA EL DISEÑO BALANCEADO DE MEZCLAS POROSAS CON OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD INFILTRACIÓN, HUANCAYO 2022

CONSULTOR: BACH. RICHARD JULIO ROMERO GENTE

UBICACIÓN: HUANCAYO

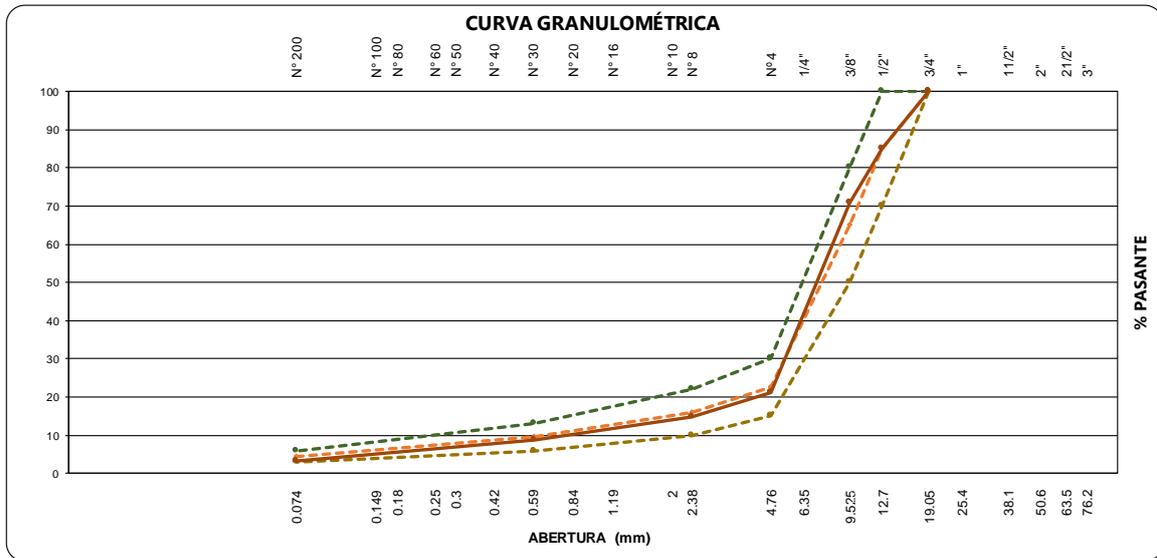
CANTERA: CHUPURO

MUESTRA:

FECHA: 22-03-22

COMBINACIÓN TEÓRICA DE AGREGADOS PARA ASFALTO - CAD 12

Malla		Porcentaje pasantes (%)					Especificaciones		
Tamiz	mm	PIEDRAS		ARENAS			MEZCLA	CAD 12	Tamaño máximo 3/4"
Agregados		Piedra 1/2"	Arena Zarandeada	Arena Chancada	Cal				
Proporciones		1/2"	ZARANDEADA	CHANCADA	FINO		100%	Curva Ideal	
3/4"	19.050	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		100 - 100
1/2"	12.700	51.20	100.00	100.00	100.00	100.00	84.87	70 - 100	85
3/8"	9.525	5.78	100.00	100.00	100.00	100.00	70.79	50 - 80	65
No4	4.763	3.12	27.10	29.57	100.00		21.28	15 - 30	23
No8	2.381	1.20	18.22	21.31	100.00		14.87	10 - 22	13
No10	1.905	0.00	15.21	17.45	100.00		12.15		
No16	1.191	0.00	12.74	15.17	100.00		10.54		
No30	0.595	0.00	10.85	12.22	100.00		8.87	6 - 13	10
No40	0.423	0.00	8.75	10.35	100.00		7.53		
No50	0.298	0.00	7.18	8.70	100.00		6.43		
No80	0.179	0.00	5.55	7.12	100.00		5.34		
No100	0.149	0.00	4.72	5.71	100.00		4.57		
No200	0.074	0.00	3.05	3.25	100.00		3.15	3 - 6	5
< tm - N°200		0.00	0.00	0.00	100.00		1.0		




Juan Ernesto Tejada Diaz
 JEFE DE LABORATORIO
 COLDPIX E.I.R.L.


Julio Adrian Rojas Poma
 TÉCNICO DE LABORATORIO
 COLDPIX E.I.R.L.



LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS Y MECÁNICAS PARA EL DISEÑO BALANCEADO DE MEZCLAS POROSAS CON OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD INFILTRACIÓN, HUANCAYO 2022

CONSULTOR: BACH. RICHARD JULIO ROMERO GENTE

UBICACIÓN: HUANCAYO

CANTERA: CHUPURO

MUESTRA: AGUC-001/AGUC-002/AGUC-003/AGUC-004/AGUC-005/AGUC-006

FECHA: 24-03-22 **OCA:** 1/4

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL MEZCLA CAD 12

BRIQUETAS		Nº	1°	2°	3°	4°	5°	6°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > Nº 4	%	29.61	29.61	29.61	29.61	29.61	29.61
3	Agregado fino en peso de la mezcla < Nº 4	%	64.94	64.94	64.94	64.94	64.94	64.94
4	Filler en peso de la mezcla	%	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cm³	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
6	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cm³	2.710	2.710	2.710	2.710	2.710	2.710
7	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cm³	2.702	2.702	2.702	2.702	2.702	2.702
8	Peso específico del filler - aparente	gr/cm³	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11
9	Peso de la briqueta al aire	gr	1251.7	1244.1	1242.7	1249.6	1244.4	1249.8
10	Peso de la briqueta saturada	gr	1261.1	1255.1	1254.8	1260.8	1256.9	1263.0
11	Peso de la briqueta en agua	gr	632.1	626.2	615.4	626.5	630.3	616.4
12	Volumen de briqueta + parafina	cm³	629	628.9	639.4	634.3	626.6	646.6
13	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm³	1.921	1.918	1.884	1.907	1.886	1.893
14	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cm³	2.681	2.681	2.681	2.681	2.681	2.681
15	Vacios (MTC E-505)	%	21.01	21.59	20.94	20.88	21.21	21.78
16	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm³	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708
17	V.M.A.	%	25.31	25.85	25.24	25.18	25.50	26.03
18	Vacios llenos con cemento asfáltico	%	16.97	16.49	17.03	17.08	16.80	16.34
19	Peso específico del agregado total	gr/cm³	2.904	2.904	2.904	2.904	2.904	2.904
20	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	2.546	2.546	2.546	2.546	2.546	2.546
21	Cemento asfáltico efectivo	%	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09
22	Flujo	mm	2.71	2.67	2.78	2.55	2.38	2.69
23	Estabilidad sin corregir (Según Carta de Calibración)	kg	867.5	857.5	878.8	887.3	871.6	865.9
25	Factor de estabilidad (Factor de Corrección según alturas)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
26	Estabilidad corregida	kg	867.5	857.5	878.8	887.3	871.6	865.9
27	Estabilidad - Flujo	kg/cm	3201.1	3211.6	3161.2	3479.6	3662.2	3219.0
28	Compactación, número de golpes por cara		50 golp.			50 golp.		


Juan Ernesto Tejada Diaz
 JEFE DE LABORATORIO
 COLDPIX E.I.R.L.


Julio Adrian Rojas Poma
 TÉCNICO DE LABORATORIO
 COLDPIX E.I.R.L.



LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS Y MECÁNICAS PARA EL DISEÑO BALANCEADO DE MEZCLAS POROSAS CON OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD INFILTRACIÓN, HUANCAYO 2022
CONSULTOR: BACH. RICHARD JULIO ROMERO GENTE
UBICACIÓN: HUANCAYO
CANTERA: CHUPURO
MUESTRA: AGUC-007/AGUC-008/AGUC-009/AGUC-010/AGUC-011/AGUC-012
FECHA: 25-03-22 OCA: 2/4

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL MEZCLA CAD 12

BRIQUETAS		Nº	1°	2°	3°	4°	5°	6°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > Nº 4	%	29.45	29.45	29.45	29.45	29.45	29.45
3	Agregado fino en peso de la mezcla < Nº 4	%	64.60	64.60	64.60	64.60	64.60	64.60
4	Filler en peso de la mezcla	%	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cm ³	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
6	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cm ³	2.710	2.710	2.710	2.710	2.710	2.710
7	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cm ³	2.702	2.702	2.702	2.702	2.702	2.702
8	Peso específico del filler - aparente	gr/cm ³	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11
9	Peso de la briqueta al aire	gr	1248.7	1245.2	1246.2	1243.1	1245.3	1245.1
10	Peso de la briqueta saturada	gr	1262.0	1257.7	1259.1	1257.0	1257.5	1257.2
11	Peso de la briqueta en agua	gr	657.3	637.8	630.5	669.4	655.7	632.2
12	Volumen de briqueta + parafina	cm ³	604.7	619.9	628.6	587.6	601.8	625
13	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm ³	1.955	1.929	1.943	1.936	1.955	1.912
14	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cm ³	2.660	2.660	2.660	2.660	2.660	2.660
15	Vacios (MTC E-505)	%	22.37	24.48	25.47	23.47	22.21	25.11
16	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm ³	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708
17	V.M.A.	%	27.56	26.53	25.45	26.78	27.41	25.91
18	Vacios llenos con cemento asfáltico	%	18.83	17.41	19.08	17.88	18.17	19.41
19	Peso específico del agregado total	gr/cm ³	2.906	2.906	2.906	2.906	2.906	2.906
20	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565
21	Cemento asfáltico efectivo	%	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59
22	Flujo	mm	2.74	2.66	2.49	2.59	2.5	2.73
23	Estabilidad sin corregir (Según Carta de Calibración)	kg	553.4	552.9	561.2	571.8	558.1	565.4
25	Factor de estabilidad (Factor de Corrección según alturas)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
26	Estabilidad corregida	kg	553.4	552.9	561.2	571.8	558.1	565.4
27	Estabilidad - Flujo	kg/cm	2019.7	2078.6	2253.8	2207.7	2232.4	2071.1
28	Compactación, numero de golpes por cara		50 golp.			50 golp.		


Juan Ernesto Tejada Diaz
 JEFE DE LABORATORIO
 COLDPIX E.I.R.L.


Julio Adrian Rojas Poma
 TÉCNICO DE LABORATORIO
 COLDPIX E.I.R.L.



LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS Y MECÁNICAS PARA EL DISEÑO BALANCEADO DE MEZCLAS POROSAS CON OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD INFILTRACIÓN, HUANCAYO 2022

CONSULTOR: BACH. RICHARD JULIO ROMERO GENTE

UBICACIÓN: HUANCAYO

CANTERA: CHUPURO

MUESTRA: AGUC-013/AGUC-014/AGUC-015/AGUC-016/AGUC-017/AGUC-018

FECHA: 26-03-22 OCA: 3/4

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL MEZCLA CAD 12

BRIQUETAS		Nº	1°	2°	3°	4°	5°	6°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > Nº 4	%	29.30	29.30	29.30	29.30	29.30	29.30
3	Agregado fino en peso de la mezcla < Nº 4	%	64.26	64.26	64.26	64.26	64.26	64.26
4	Filler en peso de la mezcla	%	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cm ³	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
6	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cm ³	2.710	2.710	2.710	2.710	2.710	2.710
7	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cm ³	2.702	2.702	2.702	2.702	2.702	2.702
8	Peso específico del filler - aparente	gr/cm ³	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11
9	Peso de la briqueta al aire	gr	1248.5	1245.1	1244.5	1243.4	1245.2	1247.5
10	Peso de la briqueta saturada	gr	1260.4	1254.3	1256.6	1257.2	1257.6	1258.7
11	Peso de la briqueta en agua	gr	682.1	655.2	669.1	666.9	675.4	677.5
12	Volumen de briqueta + parafina	cm ³	578.3	599.1	587.5	590.3	582.2	581.2
13	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm ³	1.995	2.028	1.988	1.996	2.019	2.017
14	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cm ³	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641	2.641
15	Vacios (MTC E-505)	%	18.25	21.31	19.79	20.24	19.02	18.73
16	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm ³	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708
17	V.M.A.	%	29.66	27.48	28.08	28.61	28.36	29.10
18	Vacios llenos con cemento asfáltico	%	22.46	23.35	21.52	23.60	21.95	22.65
19	Peso específico del agregado total	gr/cm ³	2.910	2.910	2.910	2.910	2.910	2.910
20	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	2.616	2.616	2.616	2.616	2.616	2.616
21	Cemento asfáltico efectivo	%	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05
22	Flujo	mm	2.9	2.75	2.61	2.78	2.8	2.63
23	Estabilidad sin corregir (Según Carta de Calibración)	kg	558.2	554.6	537.1	544.5	542.6	549.7
25	Factor de estabilidad (Factor de Corrección según alturas)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
26	Estabilidad corregida	kg	558.2	554.6	537.1	544.5	542.6	549.7
27	Estabilidad - Flujo	kg/cm	1924.8	2016.7	2057.9	1958.6	1937.9	2090.1
28	Compactación, numero de golpes por cara		50 golp.			50 golp.		


Juan Ernesto Tejada Diaz
 JEFE DE LABORATORIO
 COLDPIX E.I.R.L.


Julio Adrian Rojas Poma
 TECNICO DE LABORATORIO
 COLDPIX E.I.R.L.



LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS Y MECÁNICAS PARA EL DISEÑO BALANCEADO DE MEZCLAS POROSAS CON OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD INFILTRACIÓN, HUANCAYO 2022

CONSULTOR: BACH. RICHARD JULIO ROMERO GENTE

UBICACIÓN: HUANCAYO

CANTERA: CHUPURO

MUESTRA: AGUC-019/AGUC-020/AGUC-021/AGUC-022/AGUC-023/AGUC-024

FECHA: 27-03-22 OCA: 4/4

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL MEZCLA CAD 12

BRIQUETAS		Nº	1°	2°	3°	4°	5°	6°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > Nº 4	%	29.14	29.14	29.14	29.14	29.14	29.14
3	Agregado fino en peso de la mezcla < Nº 4	%	63.92	63.92	63.92	63.92	63.92	63.92
4	Filler en peso de la mezcla	%	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cm ³	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
6	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cm ³	2.710	2.710	2.710	2.710	2.710	2.710
7	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cm ³	2.702	2.702	2.702	2.702	2.702	2.702
8	Peso específico del filler - aparente	gr/cm ³	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11
9	Peso de la briqueta al aire	gr	1248.6	1243.8	1244.7	1247.9	1245.2	1248.3
10	Peso de la briqueta saturada	gr	1255.4	1252.2	1255.9	1258.6	1254.8	1260.4
11	Peso de la briqueta en agua	gr	684.9	696.2	678.5	693.4	683.6	697.1
12	Volumen de briqueta + parafina	cm ³	570.5	556	577.4	565.2	571.2	563.3
13	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm ³	2.089	2.117	2.106	2.068	2.120	2.076
14	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cm ³	2.616	2.616	2.616	2.616	2.616	2.616
15	Vacios (MTC E-505)	%	16.34	14.49	17.60	15.60	16.67	15.29
16	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm ³	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708
17	V.M.A.	%	31.03	29.35	31.67	30.16	30.33	29.98
18	Vacios llenos con cemento asfáltico	%	27.35	24.90	25.68	25.99	26.75	26.43
19	Peso específico del agregado total	gr/cm ³	2.906	2.906	2.906	2.906	2.906	2.906
20	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	2.569	2.569	2.569	2.569	2.569	2.569
21	Cemento asfáltico efectivo	%	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61
22	Flujo	mm	3.12	2.95	2.81	2.85	3.02	3.11
23	Estabilidad sin corregir (Según Carta de Calibración)	kg	547.9	528.4	537.1	531.4	550.7	542.1
25	Factor de estabilidad (Factor de Corrección según alturas)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
26	Estabilidad corregida	kg	547.9	528.4	537.1	531.4	550.7	542.1
27	Estabilidad - Flujo	kg/cm	1756.1	1791.2	1911.4	1864.6	1823.5	1743.1
28	Compactación, número de golpes por cara		50 golp.			50 golp.		


Juan Ernesto Tejada Diaz
 JEFE DE LABORATORIO
 COLDPIX E.I.R.L.


Julio Adrian Rojas Poma
 TÉCNICO DE LABORATORIO
 COLDPIX E.I.R.L.

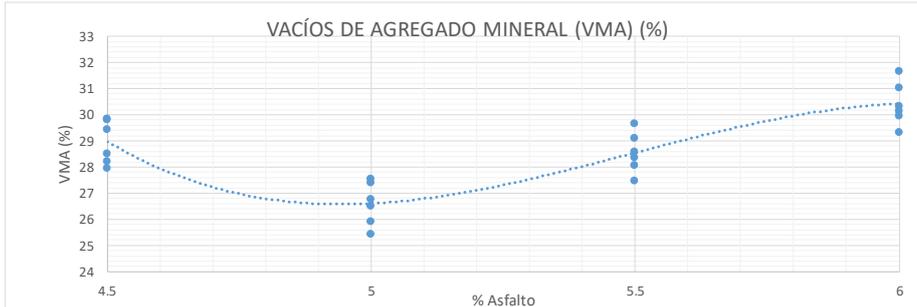
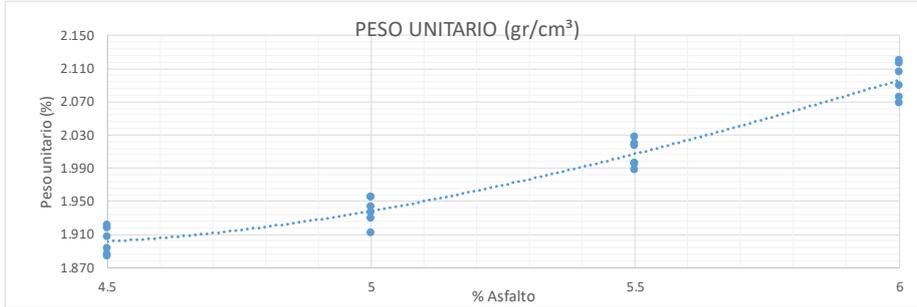
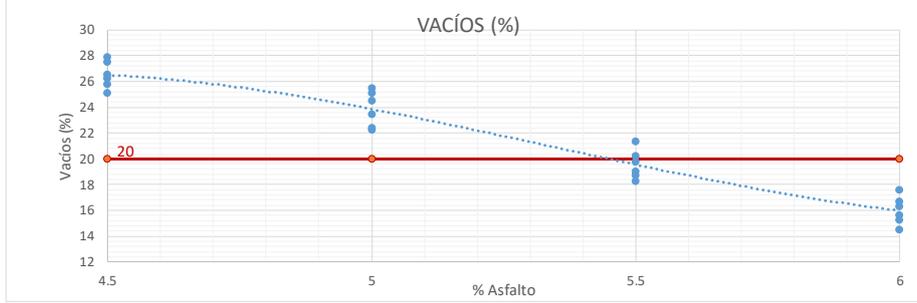


LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS Y MECÁNICAS PARA EL DISEÑO BALANCEADO DE MEZCLAS POROSAS CON OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD INFILTRACIÓN, HUANCAYO 2022
CONSULTOR: BACH. RICHARD JULIO ROMERO GENTE
UBICACIÓN: HUANCAYO
CANTERA: CHUPURO
MUESTRA:
FECHA: 27-03-22 MARSHALL CAD 12: 1/2

ENSAYO MARSHALL - MTC E 504 MEZCLA CAD 12

MUESTRA	N°	01	02	03	04	05	06	01	02	03	04	05	06
CEMENTO ASFÁLTICO	%	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
VACÍOS	%	25.775	26.214	27.507	26.518	25.120	27.905	22.369	24.485	25.470	23.470	22.207	25.107
PESO UNITARIO	gr/cm³	1.92	1.92	1.88	1.91	1.89	1.89	1.96	1.93	1.94	1.94	1.96	1.91
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL	%	29.82	28.24	29.46	28.53	27.96	29.84	27.56	26.53	25.45	26.78	27.41	25.91
CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
VACÍOS	%	18.254	21.307	19.792	20.243	19.016	18.727	16.338	14.486	17.596	15.600	16.668	15.289
PESO UNITARIO	gr/cm³	2.00	2.03	1.99	2.00	2.02	2.02	2.09	2.12	2.11	2.07	2.12	2.08
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL	%	29.66	27.48	28.08	28.61	28.36	29.10	31.03	29.35	31.67	30.16	30.33	29.98




Juan Ernesto Tejeda Diaz
 JEFE DE LABORATORIO
 COLDPIX E.I.R.L.


Julio Adrian Rojas Poma
 TÉCNICO DE LABORATORIO
 COLDPIX E.I.R.L.



LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS Y MECÁNICAS PARA EL DISEÑO BALANCEADO DE MEZCLAS POROSAS CON OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD INFILTRACIÓN, HUANCAYO 2022

CONSULTOR: BACH. RICHARD JULIO ROMERO GENTE

UBICACIÓN: HUANCAYO

CANTERA: CHUPURO

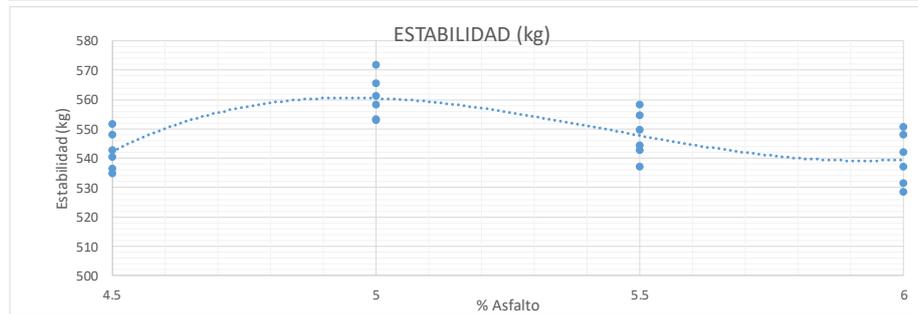
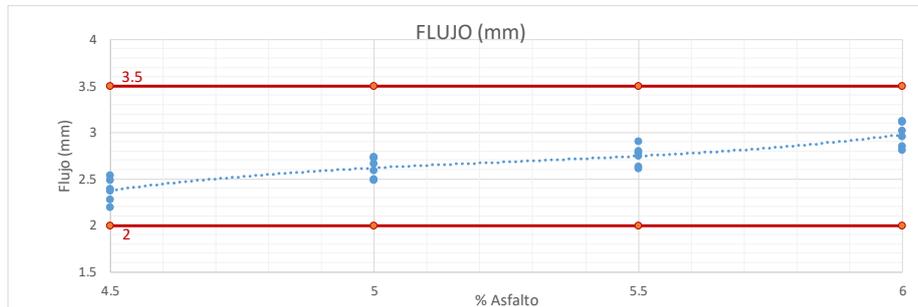
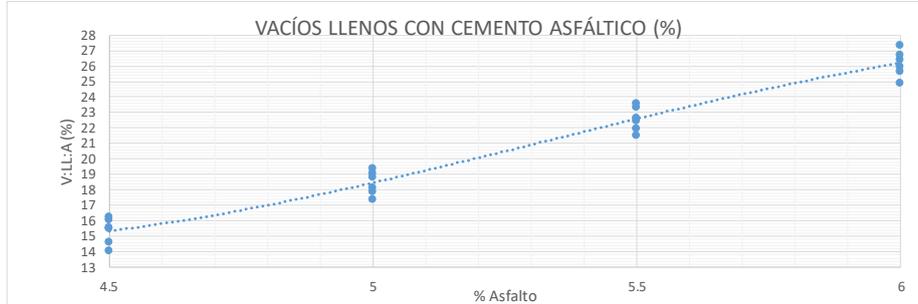
MUESTRA:

FECHA: 27-03-22

MARSHALL CAD 12: 2/2

ENSAYO MARSHALL - MTC E 504 DISEÑO DE MEZCLA CAD 12

MUESTRA	N°	01	02	03	04	05	06	01	02	03	04	05	06
CEMENTO ASFÁLTICO	%	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
VACÍOS LLENOS CON CEM. ASF.	%	15.570	16.100	14.630	14.050	16.280	15.490	18.831	17.410	19.080	17.880	18.170	19.410
FLUJO	mm	2.49	2.19	2.54	2.37	2.28	2.39	2.74	2.66	2.49	2.59	2.50	2.73
ESTABILIDAD CORREGIDA	kg	534.7	542.7	551.7	536.6	547.9	540.3	553.4	552.9	561.2	571.8	558.1	565.4
CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
VACÍOS LLENOS CON CEM. ASF.	%	22.460	23.350	21.520	23.598	21.950	22.650	27.350	24.900	25.680	25.990	26.750	26.430
FLUJO	mm	2.90	2.75	2.61	2.78	2.80	2.63	3.12	2.95	2.81	2.85	3.02	3.11
ESTABILIDAD CORREGIDA	kg	558.2	554.6	537.1	544.5	542.6	549.7	547.9	528.4	537.1	531.4	550.7	542.1



Juan Ernesto Tejada Díaz
Juan Ernesto Tejada Díaz
 JEFE DE LABORATORIO
 COLDPIX E.I.R.L.

Julio Adrian Rojas Poma
Julio Adrian Rojas Poma
 TÉCNICO DE LABORATORIO
 COLDPIX E.I.R.L.



LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

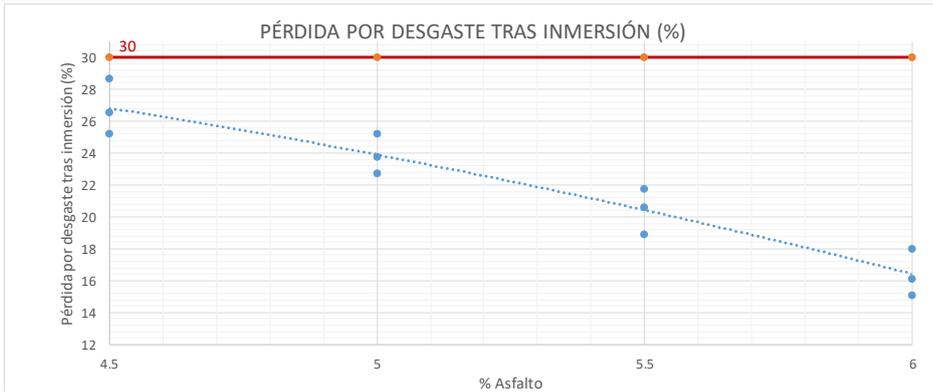
PROYECTO: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS Y MECÁNICAS PARA EL DISEÑO BALANCEADO DE MEZCLAS POROSAS CON OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD INFILTRACIÓN, HUANCAYO 2022
CONSULTOR: BACH. RICHARD JULIO ROMERO GENTE
UBICACIÓN: HUANCAYO
CANTERA: CHUPURO
MUESTRA:
FECHA: 28-03-22

CARACTERIZACION DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE MTC E 515

MUESTRA	N°	01	02	03	01	02	03	01	02	03	01	02	03
CEMENTO ASFÁLTICO	%	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00
Peso final de la briqueta en seco tras ensayo de Cantabro	gr	951.10	967.10	981.60	1024.20	995.60	1015.20	1064.10	1072.50	1091.20	1117.40	1101.30	1131.80
PÉRDIDA POR DESGASTE EN SECO	%	24.02	22.27	21.01	17.98	20.04	18.54	14.77	13.86	12.32	10.51	11.46	9.07



MUESTRA	N°	04	05	06	04	05	06	04	05	06	04	05	06
CEMENTO ASFÁLTICO	%	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00
Peso final de la briqueta inmersa tras ensayo de Cantabro	gr	899.10	923.60	944.60	971.20	940.70	958.70	1019.60	998.20	985.20	1031.80	1065.20	1057.30
PÉRDIDA POR DESGASTE TRAS INMERSIÓN	%	28.688	26.518	25.210	22.737	25.193	23.743	18.899	20.627	21.729	18.020	15.110	16.114



Juan Ernesto Tejada Diaz
Juan Ernesto Tejada Diaz
 JEFE DE LABORATORIO
 COLDPIX E.I.R.L.

Julio Adrian Rojas Poma
Julio Adrian Rojas Poma
 TÉCNICO DE LABORATORIO
 COLDPIX E.I.R.L.



LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS Y MECÁNICAS PARA EL DISEÑO BALANCEADO DE MEZCLAS POROSAS CON OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD INFILTRACIÓN, HUANCAYO 2022

CONSULTOR: BACH. RICHARD JULIO ROMERO GENTE

UBICACIÓN: HUANCAYO

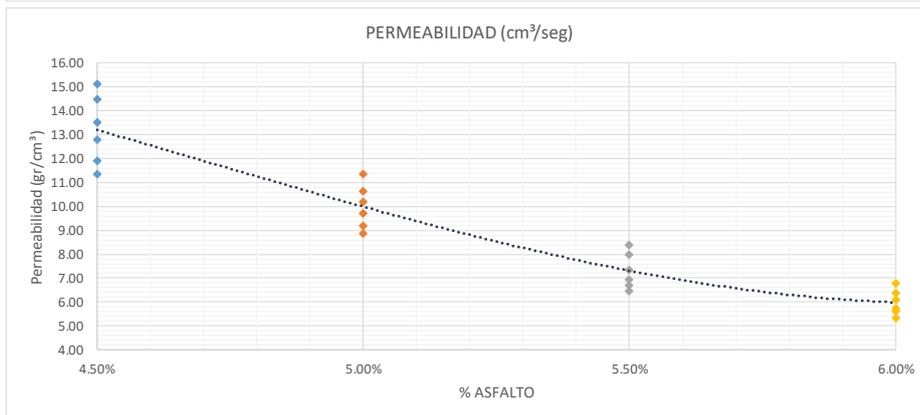
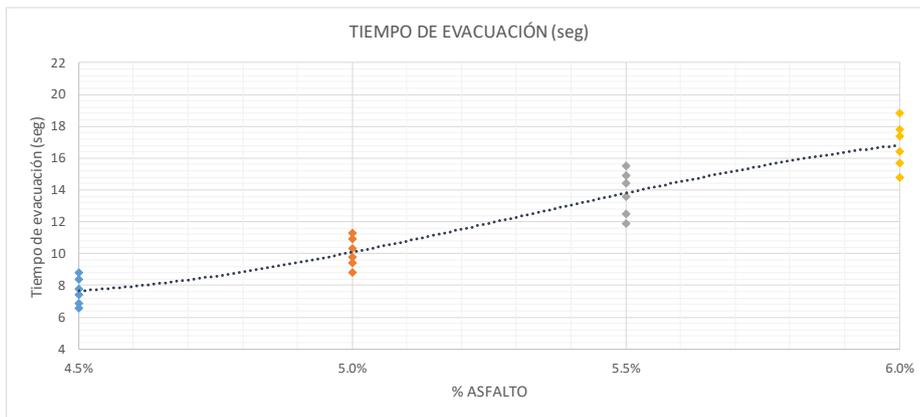
CANERA: CHUPURO

MUESTRA: AGUC-001/AGUC-024

FECHA: 29-03-22

PERMEABILIDAD IN SITU DE PAVIMENTOS DRENANTES CON EL PERMEAMETRO LCS MTC E 516

MUESTRA	N°	01	02	03	04	05	06	01	02	03	04	05	06
CEMENTO ASFÁLTICO	%	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
VOLUMEN DE ENSAYO	cm ²	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
TIEMPO DE EVACUACIÓN	seg	8.40	6.90	7.40	6.60	7.80	8.80	9.40	10.90	11.30	10.30	8.80	9.80
VOLUMEN DE EVACUACIÓN	cm ³ /seg	11.90	14.49	13.51	15.15	12.82	11.36	10.64	9.17	8.85	9.71	11.36	10.20
CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
VOLUMEN DE ENSAYO	cm ²	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
TIEMPO DE EVACUACIÓN	seg	14.90	14.40	15.50	13.60	11.90	12.50	17.80	16.40	15.70	18.80	14.80	17.40
VOLUMEN DE EVACUACIÓN	cm ³ /seg	6.71	6.94	6.45	7.35	8.40	8.00	5.62	6.10	6.37	5.32	6.76	5.75



Juan Ernesto Tejada Díaz
Juan Ernesto Tejada Díaz
 JEFE DE LABORATORIO
 GOLDPIX E.I.R.L.

Julio Adrian Rojas Poma
Julio Adrian Rojas Poma
 TECNICO DE LABORATORIO
 GOLDPIX E.I.R.L.

ANEXO 3. Matriz de Consistencia

TITULO: “Análisis de las propiedades volumétricas y mecánicas para el diseño balanceado de mezclas porosas con optimización de la capacidad infiltración, Huancayo 2022”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL: ¿Cómo las propiedades volumétricas y mecánicas influyen para el diseño balanceado de mezclas porosas con optimización de la capacidad infiltración, Huancayo 2022?	OBJETIVO GENERAL: Analizar cómo las propiedades volumétricas y mecánicas influyen para el diseño balanceado de mezclas porosas con optimización de la capacidad infiltración, Huancayo 2022.	HIPÓTESIS GENERAL El porcentaje de vacíos y la capacidad estructural influyen en mayor medida para el diseño balanceado de mezclas porosas con optimización de la capacidad infiltración, Huancayo 2022.	VARIABLE INDEPENDIENTE Porcentaje de Vacíos de la Mezcla Asfáltica Drenante	Dimensión 1: 16% de vacíos Dimensión 2: 18% de vacíos	Indicador 1: - Ensayo Cántabro NTL 352 - 86 Indicador 2: - Ensayo de vacíos MTC E 505 Indicador 3: - Ensayo peso específico MTC E 508 Indicador 1: - Ensayo Cántabro NTL 352 - 86 Indicador 2: - Ensayo de vacíos MTC E 505 Indicador 3: - Ensayo peso específico MTC E 508	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Cuasi Experimental: Método que fundamenta en el método científico. NIVEL Correlacional: Investigación correlacional pretende medir el grado de relación.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS ¿Cómo el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica drenante mejora la estabilidad y flujo en el aporte estructural de pavimentos en el distrito de Huancayo 2022?	OBJETIVOS ESPECÍFICOS: Conocer el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica drenante que mejora la estabilidad y flujo en el aporte estructural de pavimentos en el distrito de Huancayo 2022.	HIPÓTESIS ESPECIFICA El porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica drenante mejora la estabilidad y flujo en el aporte estructural de pavimentos en el distrito de Huancayo 2022.		Dimensión 3: 20% de vacíos	Indicador 1: - Ensayo Cántabro NTL 352 - 86 Indicador 2: - Ensayo de vacíos MTC E 505 Indicador 3: - Ensayo peso específico MTC E 508	POBLACIÓN Y MUESTRA POBLACIÓN 10000 kilogramos de mezcla asfáltica en caliente. MUESTRA 450 kilogramos de mezcla asfáltica en caliente para los ensayos pertinentes.
¿Qué porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica drenante incrementa los vacíos de aire en el aporte estructural de pavimentos en el distrito de Huancayo 2022?	Identificar el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica drenante que incrementa los vacíos de aire en el aporte estructural de pavimentos en el distrito de Huancayo 2022.	El porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica drenante incrementa los vacíos de aire en el aporte estructural de pavimentos en el distrito de Huancayo 2022.	VARIABLE DEPENDIENTE: Aporte Estructural del Pavimento	Dimensión 1: Porcentaje de adhesión Dimensión 2: Pérdida al cántabro	Indicador 1: - Ensayo de gradación MTC E 204 Indicador 2: - Ensayo de muestra MTC E 501 Indicador 3: - Ensayo Marshall MTC E 504 Indicador 1: - Ensayo de gradación MTC E 204 Indicador 2: - Ensayo de muestra MTC E 501 Indicador 3: - Ensayo Marshall MTC E 504	INSTRUMENTOS - Tablas para recolección de datos. -Softwares SPSS, Excel.
¿Cuál es el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica drenante que mejora el peso específico en el aporte estructural de pavimentos en el distrito de Huancayo 2022?	Establecer el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica drenante que mejora el peso específico en el aporte estructural de pavimentos en el distrito de Huancayo 2022.	El porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica drenante mejora el peso específico en el aporte estructural de pavimentos en el distrito de Huancayo 2022.		Dimensión 3: Temperatura	Indicador 1: - Ensayo Cántabro NTL 352 - 86 Indicador 2: - Ensayo de muestra en seco Indicador 3: - Ensayo de muestra húmeda	

