



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

**“Estudio de la permeabilidad de las mezclas asfálticas utilizadas
en la región del Maule y presentación de una posible mejora de
esta propiedad”**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO
DE INGENIERO CONSTRUCTOR

PROFESOR GUÍA:

Sr. ENZO ARELLANO RAMOS

JOSELYNE GÉNNESIS PINO RABANAL

CURICÓ – CHILE

2020

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Two circular stamps and signatures are present. The left stamp is blue and reads "UNIVERSIDAD DE TALCA" around the top edge, "DIRECCIÓN" in the center, and "SISTEMA DE BIBLIOTECAS" around the bottom edge. A blue ink signature is written over the stamp. The right stamp is grey and reads "UNIVERSIDAD DE TALCA" around the top edge, "SISTEMA DE BIBLIOTECAS" around the middle edge, and "CAMPUS CURICO" around the bottom edge. A blue ink signature is written over the stamp.

Curicó, 2022

DEDICATORIA

Tú, que siempre creíste en todos mis sueños y

me enseñaste a ser una mujer valiente.

Te lo debo todo a ti, mamá...

AGRADECIMIENTOS

Aquellos días grises, donde quería dejarlo todo.

Aquellas mañanas de conversaciones.

Aquellos días de risas.

Aquellas noches de estudio.

Aquellos atardeceres de caminata.

Aquellos días de enojo.

Aquellas tardes de borracheras.

Aquellas noches de llanto.

Aquellos momentos que he vivido y me han llevado hasta acá.

RESUMEN EJECUTIVO

Uno de los agentes más destructivos del pavimento asfáltico es el agua, puesto que la acumulación de agua en la superficie de la capa asfáltica contribuye a una rápida oxidación, ya que dicho agente separa el ligante asfáltico de los áridos, trayendo como consecuencia la presencia de fisuras, grietas y huecos.

Debido a lo mencionado anteriormente, la presente memoria busca proponer un diseño de mezcla asfáltica permeable, pero que también deberá cumplir con las especificaciones exigidas por el Manual de Carreteras para que sea factible su utilización en la región del Maule, donde el objetivo principal es evitar la oxidación de la mezcla asfáltica.

Para la realización de los estudios se trabajó en el laboratorio de investigación de la empresa Bitumix, en donde se realizaron diversos ensayos y pruebas tanto a los áridos proveniente de la ciudad de Talca como a las distintas mezclas diseñadas.

Los resultados obtenidos en laboratorio nos muestran que los áridos cumplen con los requerimientos del Manual de Carreteras, por lo mismo son aptos para el diseño de la mezcla permeable, en donde el porcentaje de asfalto óptimo corresponde a un 4,5 %, el cual se encontró después de diversos ensayos ejecutados con el fin de probar la factibilidad de la mezcla. Una vez diseñada la mezcla, se continuó con la prueba de permeabilidad a través de un permeámetro, en el cual queda demostrado que la mezcla diseñada es permeable, ya que presenta un coeficiente de permeabilidad de 0,1625 cm/sg, indicando con esto que la mezcla diseñada al momento de ser utilizada como pavimento permitirá el traspaso de agua a través de sus poros.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PÁGINA

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	6
1.1 Introducción	6
1.2 Objetivos	7
1.2.1 Objetivo general	7
1.2.2 Objetivos específicos	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1 Asfalto	8
2.1.1 Historia	8
2.1.2 Descripción general	9
2.1.3 Procedencia	11
2.1.4 Tipos de asfaltos	13
2.1.5 Mezcla asfáltica	16
2.1.6 Estructura de un pavimento flexible	16
2.1.7 Deterioro	18
2.2 Aguas pluviales	19
2.2.1 Descripción general	19
2.2.2 Análisis del clima en la región del Maule	19
2.3 Permeabilidad	22
2.3.1 Descripción general	22
2.3.2 Mezclas porosas	23
CAPÍTULO III: DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA PERMEABLE Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	24
3.1 Agregados pétreos	24
3.1.1 Granulometría	25
3.1.2 Desgaste de los Ángeles	30
3.1.3 Constantes físicas e hídricas en pétreos gruesos	33
3.1.4 Constantes físicas e hídricas en pétreos finos	37
3.1.5 Equivalente de arena	39
3.2 Diseño	41
3.2.1 Dosificación	41
3.2.2 Preparación de probetas de diseño	43
3.2.3 Densidad máxima de la mezcla	46
3.2.4 Resultados de diseño 4 %	48

3.2.5 Resultados de diseño 4 ,5 %	52
3.2.6 Resultados de diseño 5 %	54
3.2.7 Ensayo de cántabro por pérdida de desgaste	56
3.2.8 Preparación mezcla permeable.....	61
3.2.8 Ensayo de permeabilidad	65
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES	70
BIBLIOGRAFÍA	72

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

Chile cuenta con la “Ruta 5”, la cual es una carretera que recorre el país de norte a sur uniendo los poblados, siendo transitada a diario por más de 60 mil vehículos de carga pesada y liviana, situación que, sumada a los diversos cambios climáticos, tales como el exceso de lluvia o calor pueden llegar a generar desgastes significativos en la carpeta asfáltica, por lo mismo, es fundamental tener una constante mantención y/o reparación para así asegurar un buen funcionamiento.

Existen varios agentes que deterioran el asfalto, dentro de los cuales tenemos los cambios de temperatura, exceso de carga y la humedad del ambiente, siendo este último uno al que se encuentra expuesto constantemente, ya que la humedad de por si se presenta de manera natural en el ambiente, ya sea en forma de lluvia o por filtraciones desde el terreno en donde se encuentra, produciendo la formación de una capa de agua en la superficie del pavimento, la que con el tiempo termina por deteriorarla producto de la oxidación.

El agua superficial contribuye en la oxidación estructural de la carpeta asfáltica, más aún cuando ingresa por los poros de dicha carpeta provocando que el ligante asfáltico se separe del agregado pétreo, esto combinado con las cargas de tráfico generan una destrucción del pavimento, provocando que la carpeta de rodado disminuya su resistencia mecánica debido a la pérdida de adherencia y cohesión.

Por lo anteriormente expuesto se crea la necesidad de proponer nuevas alternativas que entreguen soluciones a esta problemática, y en relación con esto, surge la motivación de realizar una investigación que tiene como objetivo lograr una mezcla asfáltica permeable, de tal manera que cumplan con las normativas exigidas para su correcta utilización como parte de la estructura del pavimento, siendo capaz de proporcionar resistencia mecánica a la carpeta asfáltica.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Estudiar y mejorar la permeabilidad de una mezcla asfáltica, evitando así los desgastes en el terreno originados por la acumulación de líquidos producto de la lluvia, filtraciones o acumulación de aguas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Diseñar una mezcla asfáltica permeable, estableciendo el contenido óptimo de asfalto y la dosificación de áridos apropiados.
- Estudiar las características de la mezcla diseñada de tal manera que cumpla con la normativa estipulada en el Manual de Carreteras, determinando si es viable su aplicación en carreteras de la región del Maule.
- Verificar la capacidad de drenaje de la mezcla diseñada.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Asfalto

2.1.1 Historia

El asfalto es considerado el material más antiguo desde que el hombre incursionó en el ámbito de la construcción. La palabra asfalto proviene del acadio “Sphalto” que significa “que deja caer”, lengua que se hablaba entre los años 1400 y 600 A. de C., en las orillas del Tigris ubicada en Asiria, una antigua región del norte de Mesopotamia; tiempo después esta palabra fue utilizada por los griegos, quienes le otorgaron el significado de “que rigidiza o estabiliza”, y finalmente pasó por el latín, francés (Asphalte) y español (Asfalto), hasta llegar al inglés (Asphalt).

Los primeros usos de asfalto eran considerados naturales, donde se encontraban en estanques, lagos de asfaltos y depósitos subterráneos de crudo de petróleo, también en piedras asfálticas porosas como la caliza y la arenisca. Es así como por los años 3000 al 2500 A. de C., en Mesopotamia era utilizado como sustancia para dar cohesión en trabajos de albañilería y construcción de caminos, además de capas impermeables en estanques, depósitos de agua y baños sagrados. Datos semejantes se presentan en los años 2500 al 500 A. de C. en Babilonia y del 1440 al 600 A. de C. por los Asirios.

En el área propia de la construcción el asfalto fue utilizado por primera vez en el año 3200 A. de C. por parte de los Sumerios, quienes crearon un mastic o masilla de asfalto, la cual estaría formada por betún, finos minerales y paja. Dicho mastic fue empleado como mortero para la pega de bloques o ladrillos, en la realización de pavimentos interiores y como revestimiento impermeable. Teniendo en cuenta el gran número de aplicaciones posibles y conocidas, es normal que se repita en numerosas regiones del mundo.

Los primeros antecedentes sobre la aplicación del asfalto en el ámbito de vías terrestres se dieron en el año 1802, cuando se utilizaron por primera vez en Francia rocas importadas del Valle de Ródano para el terminado superficial de pisos, puentes y bancos. La firma Pillot et Eyquem comenzó la fabricación en el año 1824 de adoquines asfálticos que se utilizaron en la Plaza de la Concordia y Campos Elíseos en París. En el año 1852 se construyó la carretera París-Perpiñan con asfalto de Vals Travers, lo que marcó el inicio de una nueva forma de construcción vial. Pero no fue hasta el año 1876 cuando se construye el primer pavimento de lámina asfáltica con arena en Washington D.C haciendo uso del asfalto importado desde el lago La Trinidad cerca de Venezuela.

A raíz de lo nombrado anteriormente la industria de las mezclas asfálticas fue creciendo y realizando múltiples investigaciones para encontrar el correcto comportamiento de los asfaltos, por lo mismo en el año 1900 en París aparece la primera mezcla asfáltica en caliente, utilizada en la Rue du Louvre y en la Avenue Victoria. En el año 1903 empieza la utilización de los primeros tratamientos superficiales a base de emulsiones, con el fin de evitar capas de polvo producto de la aparición y desarrollo de la circulación vial.

Versalles en el año 1909 ya contaba con un gran tráfico diario en sus carreteras, por lo cual se construyó la primera capa bituminosa de 5 cm de espesor, así en el transcurso de los años se ha ido masificando el uso de la carpeta de asfalto para carreteras en diferentes partes del mundo.

2.1.2 Descripción general

El asfalto es considerado un material viscoso, pegajoso, de color marrón oscuro o negro. Existen dos tipologías diferentes de obtener el asfalto; de forma natural y como derivado del petróleo. Dentro de la primera su obtención puede ser de forma sólida hasta líquida, cómo se da en los lagos de islas Bermudas y Trinidad o impregnando en los poros de algunas rocas, denominándose rocas asfálticas. La segunda tipología de obtener asfalto es la más común, en donde se obtiene como un derivado del petróleo mediante un proceso de refinamiento.

Según la temperatura, el asfalto se puede encontrar en estado sólido, semisólido o líquido. Si se calienta a grandes temperaturas, el asfalto toma una consistencia con la que es muy fácil de trabajar por lo mismo es frecuente su utilización en el ámbito de la pavimentación de calles y/o carreteras, ya que proporciona una buena unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir altos esfuerzos que producen las cargas de los vehículos, además de generar una estructura de pavimento flexible.

Esta sustancia está constituida químicamente por tres elementos principales, los cuales son los siguientes:

- **Asfaltenos:** Partículas negras que frente a la acción del calor aumentan de volumen, donde al incrementar la porción de asfaltenos se obtiene un asfalto más duro y de menor penetración confiriendo al asfalto estabilidad, cuerpo y adhesividad. Constituyen entre el 5 % al 25 % del total de bitumen.

- Resinas: Son líquidos muy viscosos de color ámbar a temperatura ambiente la cual presenta una naturaleza polar, a raíz de esto imparte propiedades de adhesividad y ductilidad, que corresponden a la parte activa de bitumen.
- Aceites: Son líquidos de viscosidad media, no tiene ninguna adhesividad, constituyen entre el 35 % al 75 % del total de bitumen, son estables en presencia de oxígeno. Los aceites se dividen en dos tipos:

Aceites aromáticos: Aportan a la ductilidad y contribuye al envejecimiento.

Aceites saturados: No cambian su composición en el tiempo, afecta a la susceptibilidad térmica.

La ilustración 1, muestra los elementos que conforman la composición química del asfalto.

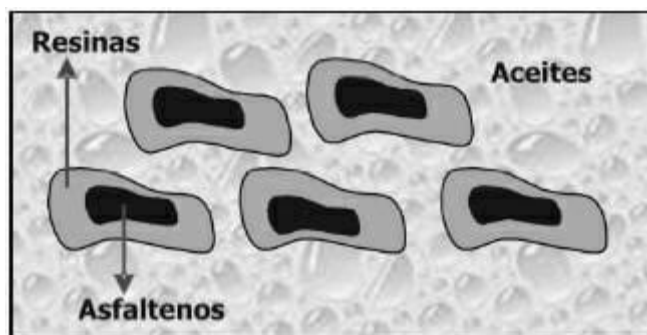


Ilustración 1. Composición del asfalto.

Fuente: Civilgeeks

Dichos elementos químicos le proporcionan diversas características físicas al asfalto donde destacan las siguientes:

- Consistencia: Depende de la temperatura, ya que el asfalto es un material termoplástico, es decir, que su consistencia cambia con la temperatura, mientras más caliente esté menor será su viscosidad, es decir, será más fluido.
- Durabilidad: Es una sustancia con alta durabilidad, ya que sus propiedades se mantienen igual a pesar del tiempo y de los efectos que pueden producir envejecimiento.

- Viscosidad: Este término es usado para referirse a todos los fluidos de consistencia espesa y que, por ende, presentan resistencia a fluir; siendo una característica propia del asfalto cuando se encuentra sometido a bajas temperaturas, contrariamente a lo que sucede cuando se somete a altas temperaturas, ya que aquí este se vuelve más líquido y menos viscoso.
- Elasticidad: Propiedad que tienen los materiales para recuperar su forma al finalizar o disminuir la carga que los modifica.

2.1.3 Procedencia

El asfalto procedente del petróleo se obtiene artificialmente del crudo como subproducto de métodos de refinamiento, donde las cantidades de asfalto residual varían según las características del crudo, teniendo usos industriales y/o de pavimentación.

Las refinerías son grandes complejos donde se somete al petróleo crudo a procesos de separación física, la cual extrae gran variedad de sus productos como se puede observar en la ilustración 2. Estas refinerías están compuestas por altas torres que trabajan a presión atmosférica.

Los pasos del proceso de refinería del petróleo en forma general se podrían definir de la siguiente manera:

1. En primera instancia el crudo del petróleo se separa en partes o fracciones según su masa molecular.
2. Luego de ser separado, éste se calienta en un horno y se hace pasar a la columna de fraccionamiento, donde la temperatura va en disminución respecto a la altura.
3. Una vez ya separado en fracciones, las partes con mayor masa molecular caen a la parte inferior de la torre, donde se obtiene por ejemplo aceites, lubricantes o ceras.
4. En cambio, las fracciones más ligeras están ubicados en la parte superior de la torre obteniendo productos como lo son el combustible para aviones o la gasolina.
5. Todas las fracciones se someten a complejos tratamientos posteriores para convertirlas en los productos finales deseados.

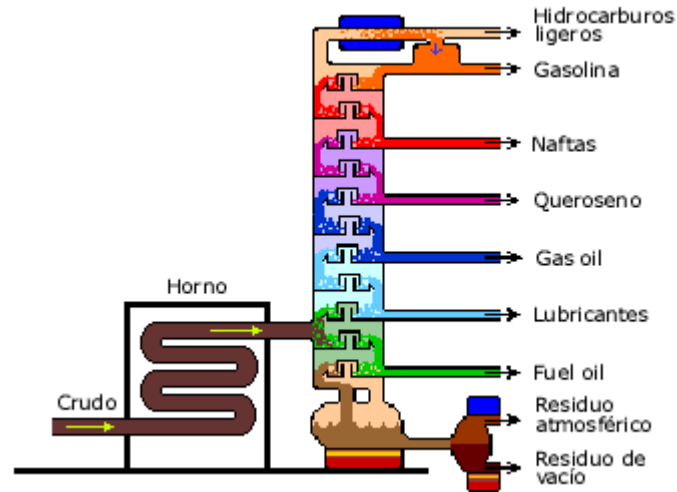


Ilustración 2. Torre de destilación fraccionada del petróleo crudo.

Fuente: Edu.glogster

Del proceso de refinerías se pueden obtener múltiples productos, donde uno de éstos es el bitumen, el cual corresponde al componente principal del asfalto. Este producto proviene del fondo de la torre, es decir del último proceso llamado residuo de vacío (ilustración 3), donde se trabaja a baja presión y se calienta generalmente a temperaturas inferiores a los 400° C; para poder obtener dicho producto.

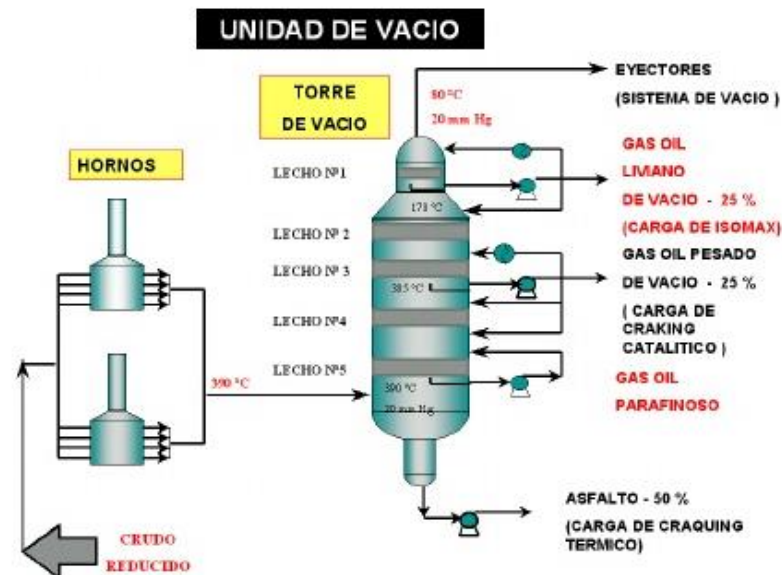


Ilustración 3. Residuos de vacío.

Fuente: Covarida.blogspot

2.1.4 Tipos de asfaltos

El asfalto es un material con múltiples funciones, ya que es un material con mucha adherencia, cohesivo y sobre todo capaz de resistir esfuerzos y fluir bajo la acción de cargas. Su uso principal está presente significativamente en la construcción de pavimentos, donde destacan la confección de carpetas y superficies de rodamiento.

En la construcción de pavimentos en Chile los más usados son los siguientes:

I. Cementos asfálticos

Material termoplástico de color negro, elaborado a partir de la refinación de crudos de petróleo y constituido por una mezcla de hidrocarburos, cuyo uso en la construcción está destinado a la confección de mezclas en caliente para capas de bases, binder, entre otras. Este producto se clasifica según su grado de dureza o consistencia, siendo los más usados por penetración los CA 60-80 y CA 80-100 en esta categoría, y por viscosidad los CA 14 y CA 24. Dentro de su nomenclatura CA indica que es un cemento asfáltico, y los números el rango de penetración o viscosidad. Su aplicación no debe hacerse bajo amenaza de lluvia, temperatura ambiente bajo los 10° C o en superficies húmedas, tampoco deben ser calentadas sobre los 170° C. Existen dos tipos de CA donde encontramos los siguientes:

- CA por penetración

Este producto se emplea principalmente en la confección de mezclas asfálticas en caliente, para capas de base, intermedia (binder) o rodado. El CA 60-80 se usa preferentemente en zonas cálidas y templadas, a diferencia del CA 80-100 que se utiliza en zonas frías (AsfalChile, 2019).

- CA por viscosidad

Son productos no contaminantes, altamente viscosos, aglomerantes e impermeabilizantes, que se caracterizan por su flexibilidad, durabilidad y adherencia. Se emplean principalmente en la confección de mezclas asfálticas en caliente, para capas de base, intermedia (binder) o rodadura. El CA 24 se usa preferentemente en zonas cálidas y templadas, utilizándose el CA 14 en zonas frías (AsfalChile, 2019).

II. Emulsiones

Las emulsiones asfálticas están compuestas por una dispersión de asfalto en agua, agentes emulsificantes y aditivos. Sus características están dadas por el uso de los distintos tipos de emulsificantes y aditivos. Dentro de las emulsiones encontramos las siguientes:

- SS-1H

Emulsión asfáltica aniónica de quiebre lento, de residuo duro. Se aplica como riego de liga sobre superficies de hormigón o asfalto, previo a la colocación de mezclas asfálticas. Riego de neblina sobre superficies asfálticas envejecidas en mantenimiento de caminos. Para la fabricación de sellos superficiales de conservación, tipo Slurry Seals (Lechadas Asfálticas) en una mezcla de arena, agua y filler tipo cemento o cal. Se puede usar para relleno de juntas y/o grietas, en una mezcla con arena (AsfalChile, 2019).

- CSS-1H

Emulsión asfáltica catiónica de quiebre lento, de residuo duro (AsfalChile, 2019).

- CRS-2

Emulsión catiónica de quiebre rápido. Se usa principalmente en obras viales, para tratamientos superficiales simples y dobles, como también para sellos de conservación de caminos o carreteras con cierto grado de desgaste (AsfalChile, 2019).

- CQS-1H

Emulsión catiónica de quiebre controlado, de residuo duro, su gran ventaja frente a las emulsiones de quiebre lento, al aplicarlas en lechadas asfálticas, es su rápida apertura al tránsito (1-2 horas). Principalmente para la fabricación de sellos superficiales de conservación denominados slurry seals (lechadas asfálticas) en una mezcla que se fabrica con arena, agua y filler tipo cemento o cal (AsfalChile, 2019).

- Imprimante

Emulsión asfáltica, de color café oscuro y estado líquido, diseñada y formulada especialmente para imprimaciones de bases granulares (AsfalChile, 2019).

III. Asfalto modificado

Los asfaltos modificados con polímeros son obtenidos a partir de la incorporación de distintos tipos de polímeros en el cemento asfáltico. En primera instancia esta modificación se incluyó en emulsiones asfálticas con el fin de mejorar su rendimiento, pero a través del tiempo el asfalto modificado se empezó a incorporar en la creación de mezclas asfálticas en caliente, para así, mejorar sus propiedades físicas y disminuir su resistencia a los cambios de temperatura y a la humedad del ambiente. Los tipos de polímeros utilizados en asfalto son los siguientes:

- Polímero Tipo I

Mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Es fabricado con base en bloques de estireno en polímeros elastoméricos radiales de tipo bloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) o Estireno-Butadieno (SB), entre otras (Quintero Luz, Sanabria Luis, 2014)

- Polímero Tipo II

Mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas. Es fabricado con base en polímeros elastoméricos lineales, mediante una configuración de caucho de Estireno, Butadieno-látex o Neopreno-látex. Se utilizan en pavimentos para climas fríos y templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales (Quintero Luz, Sanabria Luis, 2014).

- Polímero Tipo III

Mejora la resistencia a las roderas de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad a la temperatura del cemento asfáltico y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es fabricado con base en un polímero de tipo elastómero, mediante configuraciones como Etil-Vinil-Acetato (EVA) o polietileno de alta o baja densidad, entre otras. Se utilizan en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito, así como para elaborar emulsiones que se usan en tratamientos superficiales (Quintero Luz, Sanabria Luis, 2014).

2.1.5 Mezcla asfáltica

Las mezclas asfálticas están conformadas por una combinación de agregados minerales pétreos y un ligante asfáltico, donde las cantidades relativas de ligante y áridos determinan las propiedades físicas de la mezcla. Estas mezclas se pueden fabricar en plantas fijas o móviles, donde después se transportan en camiones a las distintas obras para posteriormente ser extendidas y compactadas.

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de aeropuertos, estructuras hidráulicas, y su principal uso es en pavimentos de carreteras, ya que posee características mecánicas y físicas que satisfacen los requerimientos de resistencia y durabilidad que requiere un pavimento.

El proceso para obtener una mezcla asfáltica implica calentar el agregado pétreo y el ligante asfáltico a altas temperaturas, las que varían entre los 160° C y 180° C aproximadamente. Estas mezclas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5 % de polvo mineral y otro 5 % de ligante asfáltico.

2.1.6 Estructura de un pavimento flexible

Se denomina pavimento flexible a aquella estructura formada por varias capas que se flexionan dependiendo de las cargas que sean aplicadas sobre ellas, estas cargas son distribuidas capa por capa, donde la capa superior es la que tiene mayor capacidad de soportar cargas, por lo tanto, la capa que menos carga soporta es la que se encuentra en la base. Como se muestra en la ilustración 4.

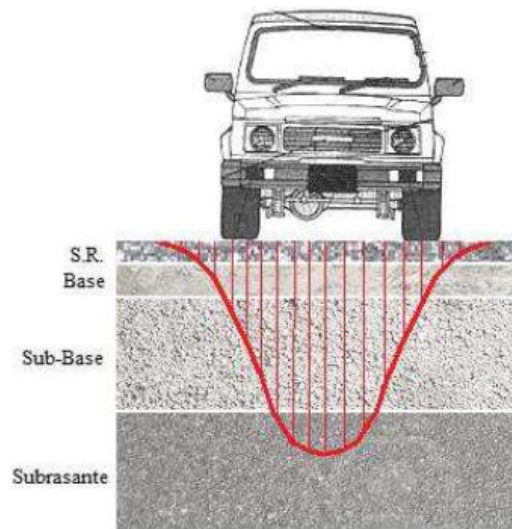


Ilustración 4. Pavimento flexible.

Fuente: Libro-pavimentos.blogspot

Las capas que forman un pavimento flexible son las siguientes:

- **Carpeta de rodadura:** Corresponde a una mezcla asfáltica que es considerada como el resultado de una combinación de asfalto y agregados pétreos ya sean arena, grava o áridos más grueso; esto en proporciones exactas ya que estos minerales determinan las propiedades físicas que tendrá la mezcla determinada. Estas mezclas pueden ser en caliente o en frío, siendo la más común mezclas asfálticas en caliente. Es la capa más superficial y tiene como principal función proporcionar una superficie segura, cómoda y estable para el tránsito vehicular. Su espesor varía entre los 5 y 12 cm (Ilustración 5).
- **Base:** Es la capa que se encuentra directamente debajo de la carpeta, donde su función primordial es transmitir los esfuerzos producidos por el tránsito hacia la sub-base y sub-rasante. Su espesor varía entre los 10 y 30 cm dependiendo de las necesidades requeridas (Ilustración 5).
- **Sub-base:** Es la capa granular localizada entre la sub-rasante y la base en pavimentos flexibles, se considera una capa netamente económica. Tiene la función de prevenir la acumulación de agua libre dentro de la estructura del pavimento, su espesor varía entre los 10 o 30 cm dependiendo de las necesidades requeridas (Ilustración 5).
- **Sub-rasante:** Se denomina al suelo que sirve como fundación para todo el paquete estructural de un pavimento (Ilustración 5).

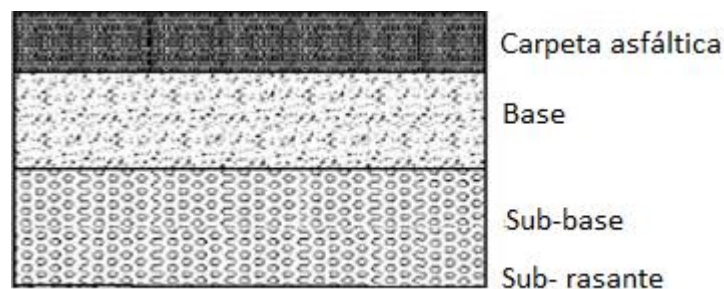


Ilustración 5. Pavimento flexible.

Fuente: Libro-pavimentos.blogspot

2.1.7 Deterioro

Los pavimentos asfálticos como cualquier otro material estructural pueden presentar malformaciones, fallas o deterioros manifestados a través del tiempo. Estos problemas son producidos por la repetición continua de cargas formadas por el tráfico vehicular, además de condiciones propias de la estructura del pavimento o sustancias agresivas derivadas del petróleo como son combustibles y lubricantes, donde al estar en contacto por un tiempo prolongado con una mezcla asfáltica produce que esta disminuya su resistencia y presente deformaciones.

Otro agente destructor de una mezcla asfáltica es el agua, ya que contribuye en la oxidación del asfalto, más aún cuando se manifiesta en forma combinada con las cargas del tráfico. Dentro de los fenómenos más conocidos provocados por el agua se encuentra el “stripping”, este daño es uno de los más frecuentes en las carreteras y su reparación significa grandes inversiones.

Stripping es el proceso mediante el cual las mezclas asfálticas pierden los áridos, fundamentalmente los gruesos, por efecto del desprendimiento del material empleado como ligante. Este desprendimiento se produce cuando la interfaz árido-ligante deja de cumplir su función por efecto ya sea del agua, o de algún agente químico o físico.

Los efectos derivados del stripping corresponden a una reducción en la cohesión de la carpeta asfáltica y la pérdida de adhesión entre la carpeta de asfalto y la superficie del agregado. En consecuencia, este daño afecta el desempeño del pavimento asfáltico con respecto a su módulo dinámico y la resistencia a la tensión (Hammons, 2006).

Es por lo que el agua proveniente de napas freáticas, vapor de agua o aguas pluviales puede afectar a la estructura del pavimento, además existen otras malas prácticas que también llevan al deterioro de la carpeta como puede ser un mal secado de árido, una mala colocación de la mezcla, mala compactación en terreno, entre otros. Lo cual con el tiempo puede generar fisuras o grietas, donde estas mismas si no hay mantención constante llegan a generar múltiples baches, volviéndose en un gran problema vial.

2.2 Aguas pluviales

2.2.1 Descripción general

Al hablar de aguas pluviales, hacemos referencia al agua originada durante los distintos cambios meteorológicos, como son los excesos de agua producto de precipitaciones como lluvia, nieve, granizo, etc, y que suelen ser guiadas a un sistema colector donde estas descargan, no obstante, las aguas pluviales que no son guiadas a la red colectora fluyen por distintas superficies, ya sean calles, ciclovías, carreteras, entre otras; las cuales se denominan escorrentías superficiales.

En las carreteras no existen sistemas colectores de aguas lluvias, por lo mismo las aguas de escorrentía pueden llegar a afectar de diversas formas al pavimento asfáltico, ya sea produciendo cambios en sus propiedades mecánicas, afectando los mecanismos de transferencia de carga, aumentando la presión de poros, subpresiones de flujos, presiones hidrostáticas, e incrementar la susceptibilidad a los cambios volumétricos. Por lo mismo, y aunque el agua es un elemento fundamental para la vida, es una de las causas más relevantes del deterioro prematuro de la infraestructura vial.

2.2.2 Análisis del clima en la región del Maule

El cambio meteorológico es un agente importante, por eso las distintas variaciones de temperatura, humedad, precipitaciones entre otras; son factores que influyen en el funcionamiento de un pavimento asfáltico.

El análisis estadístico realizado por la página web Weatherspark, muestra el promedio de cambios climatológicos producidos en el año, donde se detallan los siguientes datos para la región del Maule:

- **Temperatura:** La temperatura en la región del Maule varía durante el año, por lo mismo entre los meses de noviembre y marzo la temperatura promedio diaria es de 26° C. La denominada temporada fresca se da entre los meses de mayo y septiembre con una temperatura máxima de 16° C, y finalmente los días más fríos se dan en el mes de julio con una temperatura mínima promedio de 3° C y máxima promedio de 13° C. El gráfico 1 corresponde al promedio de la temperatura presente en el año en la región del Maule.

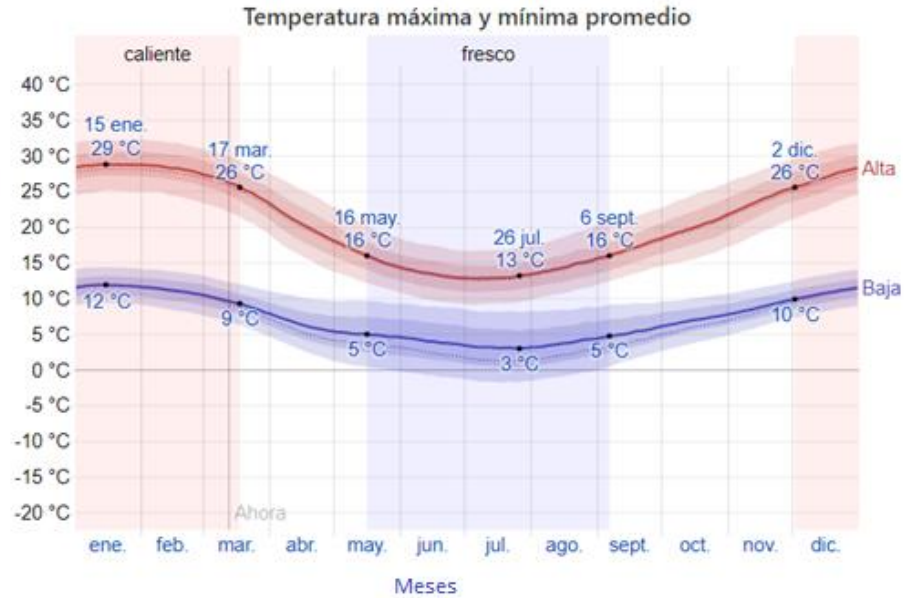


Gráfico 1. Temperatura promedio en la región del Maule.

Fuente: Es.weatherspark

- Precipitación: La palabra precipitación engloba a todos los tipos de hidrometeoros que caen desde una nube hasta la superficie, es decir, agua que precipita en estado sólido o líquido. La probabilidad de días con precipitaciones en la región del Maule durante el año, siendo el mes de junio considerado como el mes con más precipitaciones, con un promedio del 36 %. El gráfico 2 muestra el promedio de precipitaciones en el año de la región del Maule.



Gráfico 2. Precipitación promedio en la región del Maule.

Fuente: Es.weatherspark

- **Humedad:** El nivel de humedad percibido en la región del Maule como muestra el gráfico 3, nos da a conocer el porcentaje de tiempo en el cual el nivel de humedad puede ser clasificado como bochornoso, opresivo o insoportable, estos no varían considerablemente durante el año en la región del Maule por lo cual permanece prácticamente constante en 0 %.

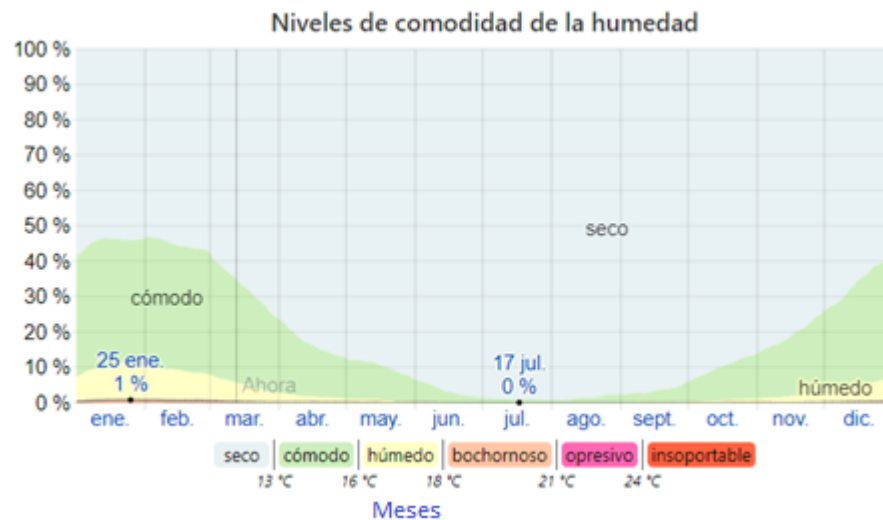


Gráfico 3. Humedad promedio en la región del Maule.

Fuente: Es.weatherspark.

- **Lluvia:** La lluvia hace referencia a la precipitación líquida que cae de manera continua en el tiempo (por ejemplo, más de media hora o incluso un día entero), y cuyas gotas poseen un diámetro determinado lo suficientemente grande para no caer en forma de llovizna. La temporada de lluvia dura aproximadamente 7,5 meses, que comienzan desde el mes de marzo al mes de noviembre con un promedio de lluvia de al menos 13 mm. La mayoría de la lluvia cae durante el mes de junio con un promedio de 121 mm. El gráfico 4 muestra el promedio de lluvia presente en el año de región del Maule.

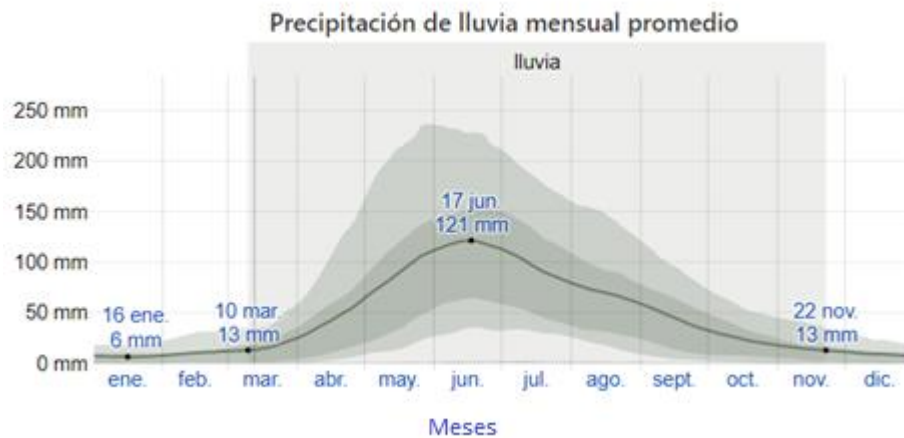


Gráfico 4. Lluvia promedio en la región del Maule.

Fuente: Es.weatherspark

2.3 Permeabilidad

2.3.1 Descripción general

Se puede definir permeabilidad como la capacidad que tiene un material para que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna, donde la velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende de tres factores básicos: porosidad del material, densidad del fluido (afectada por su temperatura, ya que mientras más denso el líquido, más lento será el descenso por el material permeable) y presión a la que está sometido el fluido (Wikipedia, Permeabilidad, 2019).

Para que un material sea considerado permeable dependerá de una serie de características y factores, donde la porosidad del material es una de sus propiedades más importantes, esto quiere decir, que dicho material debe contener espacios de vacíos o poros que le permitan absorber los fluidos y a su vez, estos espacios deben estar relacionados o conectados entre sí, para que el fluido disponga de caminos para pasar a través del material.

La ilustración 6 muestra el comportamiento entre dos materiales, cuando cae sobre ella una gota de agua. En donde a) es un material permeable y b) corresponde a un material impermeable.

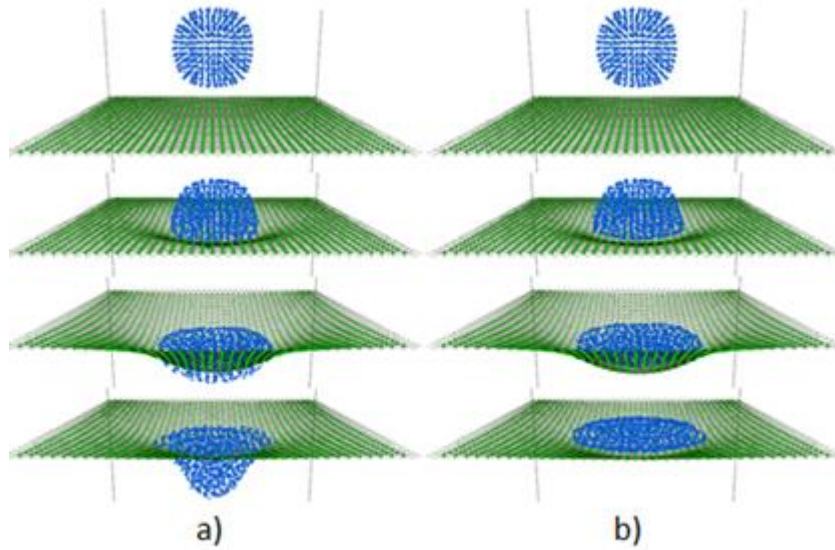


Ilustración 6. Comparación de materiales en presencia de agua.

Fuente: Wikipedia

2.3.2 Mezclas porosas

Las mezclas drenantes o también denominadas porosas son mezclas asfálticas generalmente en caliente que se utilizan como carpeta de rodadura, las cuales se caracterizan por tener un elevado porcentaje de huecos de aire (entre 20 % y 25 %) interconectados entre sí. Estos huecos permiten el paso del agua superficial a través de ella y por ende su rápida evacuación primero hacia abajo y luego hacia las zonas laterales, fuera del área de contacto entre el neumático de los vehículos y el pavimento.

El alto porcentaje de huecos de la mezcla drenante se logra mediante el uso de granulometría especial, que consiste en un alto porcentaje de áridos gruesos (alrededor del 85 %), poco fino y un aporte de filler. Para estas mezclas se debe asegurar la impermeabilidad de la capa subyacente, debido a las posibles infiltraciones de agua que provocan fallas estructurales en este pavimento. Adicionalmente, debe tener un diseño geométrico tal que asegure el escurrimiento del agua a los drenes laterales y no se introduzca en las capas inferiores del camino (Muñoz Rojas & Ruiz Rodrigo, 2019).

CAPÍTULO III: DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA PERMEABLE Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para poder realizar el diseño de la mezcla asfáltica permeable nos basaremos en lo exigido por el Manual de Carreteras Volumen 8, en donde se especifican los distintos tipos de ensayos y la forma en la cual se deben realizar, y por último los parámetros que deben cumplir para su futuro uso. A continuación, se detallará cada método realizado.

3.1 Agregados pétreos

El Manual de Carreteras volumen 8, Sección 8.200 Agregados Pétreos, contiene todas las exigencias y ensayos que deben cumplir los áridos para posteriormente ser utilizados en el diseño de una mezcla asfáltica.

Los áridos a utilizar en el diseño de la mezcla asfáltica drenante, se dividirán en 3 materiales: gravilla 1/2", gravilla 3/8" y polvo roca. Dichos agregados pétreos fueron obtenidos del laboratorio investigativo de Bitumix C.D.I, los cuales tienen origen de la región del Maule, ciudad de Talca.

El procedimiento por realizar con los áridos en primera instancia corresponde al cuarteo de las muestras, donde el material se distribuye de forma uniforme sobre una superficie limpia y plana. Seguido de esto se divide el árido en cuatro partes iguales, donde se remueve dos cuartas partes opuestas del material en una fuente (ilustración N° 7). Este procedimiento se debe realizar para los 3 tipos de áridos, con la finalidad de tener una muestra representativa de cada uno.



Ilustración 7. Cuarteo de árido 1 / 2".

Fuente: Propia

Una vez realizado el cuarteo de los áridos, las muestras son puestas en un horno a 120° C donde se secarán durante 12 horas, para posteriormente realizar el tamizado.

3.1.1 Granulometría

El término granulometría corresponde, a la distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un pétreo (Ministerio de Obras Públicas, Manual de Carreteras Volumen 5, 2003).

Para realizar este análisis, primero se debe identificar de cada muestra su peso seco inicial y luego proceder con el tamizado correspondiente. El tamizado que se ha realizado a las muestras se dividió en dos partes: un tamizado mecánico; en donde las muestras se subdividieron en partes más pequeñas pasando por una máquina tamizadora donde fueron agitados por 6:35 minutos (ilustración N° 8) y posteriormente un tamizado manual asegurando su final y correcta distribución (ilustración N° 9). Este proceso se repitió hasta completar el 100 % de la masa total de cada árido.



Ilustración 8. Tamizado mecánico.

Fuente: Propia



Ilustración 9. Tamizado manual.

Fuente: Propia

La tabla N° 1, muestra los datos obtenidos en laboratorio

N° Muestra	4953	4954	4955
Tipo de muestra	Gravilla 1 / 2 ”	Gravilla 3 / 8”	Polvo roca 1 / 4”
Peso seco (gr)	9277	8504	9485

Tabla 1. Caracterización áridos.

Fuente: Propia

- Gravilla 1 / 2”

En la tabla N° 2, se describe el resumen de la cantidad de gravilla 1 / 2” que pasa por los distintos tamices, según el procedimiento detallados en el punto 3.1.1. Además, el gráfico N° 5 muestra su curva granulométrica.

Tamiz (ASTM)	Tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Pasa
9/ 16"	14,0			100
1/ 2"	12,5	16	0,17	99,83
3/ 8"	9,50	3652	39,36	60,47
5/ 16"	8,00	2631	28,36	32,11
1/ 4"	6,30	1793	19,32	12,79
N° 4	4,75	981	10,57	2,22
N° 8	2,36	97	1,04	1,18
Retenido		107	1,15	

Tabla 2. Granulometría gravilla 1/ 2"

Fuente: Propia

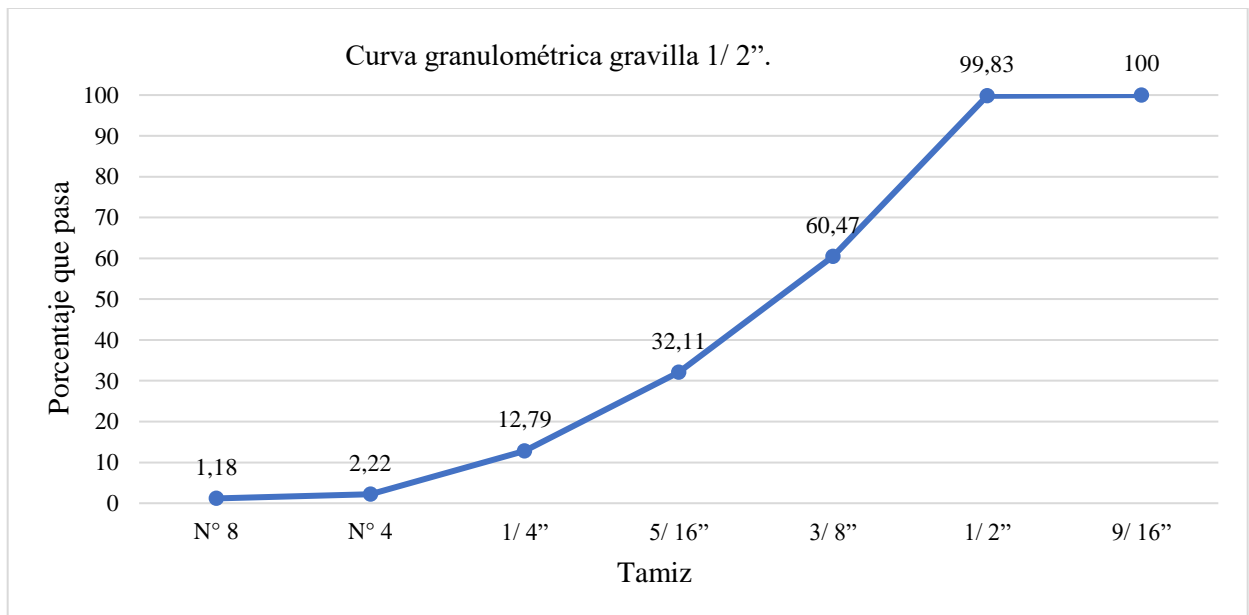


Gráfico 5. Curva granulométrica gravilla 1/ 2".

Fuente: Propia

- Gravilla 3 / 8”

En la tabla N°3, se describe el resumen de la cantidad de gravilla 3/ 8” que pasa por los distintos tamices, según el procedimiento detallados en el punto 3.1.1. Además, el gráfico N° 6 muestra su curva granulométrica.

Tamiz (ASTM)	Tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Pasa
9/ 16”	14,00			
1/ 2”	12,50			
3/ 8”	9,50			100
5/ 16”	8,00	1287	15,13	84,87
1/ 4”	6,30	4618	54,30	30,57
N° 4	4,75	2395	28,16	2,41
N° 8	2,36	85	1,00	1,41
Retenido		119	1,40	

Tabla 3. Granulometría gravilla 3/ 8”.

Fuente: Propia

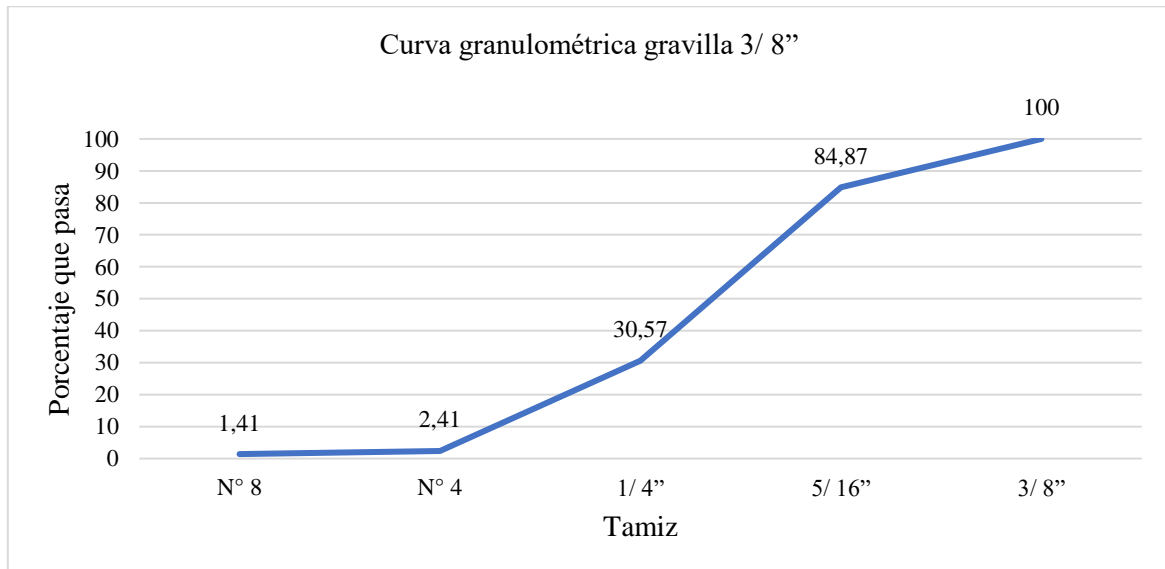


Gráfico 6. Curva granulométrica gravilla 3/ 8”.

Fuente: Propia

- Polvo roca 1 / 4"

En la tabla N° 4, se describe el resumen de la cantidad de polvo roca 1/ 4" que pasa por los distintos tamices, según el procedimiento detallados en el punto 3.1.1. Además, el gráfico N° 7 muestra su curva granulométrica.

Tamiz (ASTM)	Tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Pasa
1/ 4"	6,30			100
N° 4	4,75	633	6,67	93,33
N° 8	2,36	2956	31,16	62,17
N° 10	2,00	110,5	6,43	55,74
N° 16	1,18	225,9	13,16	42,58
N° 30	0,60	199,1	11,59	30,99
N° 50	0,30	146,7	8,54	22,45
N° 100	0,15	100,9	5,87	16,58
N°200	0,07	62,9	3,66	12,92
Retenido		221	12,53	0,39

Tabla 4. Granulometría polvo roca 1/ 4".

Fuente: Propia

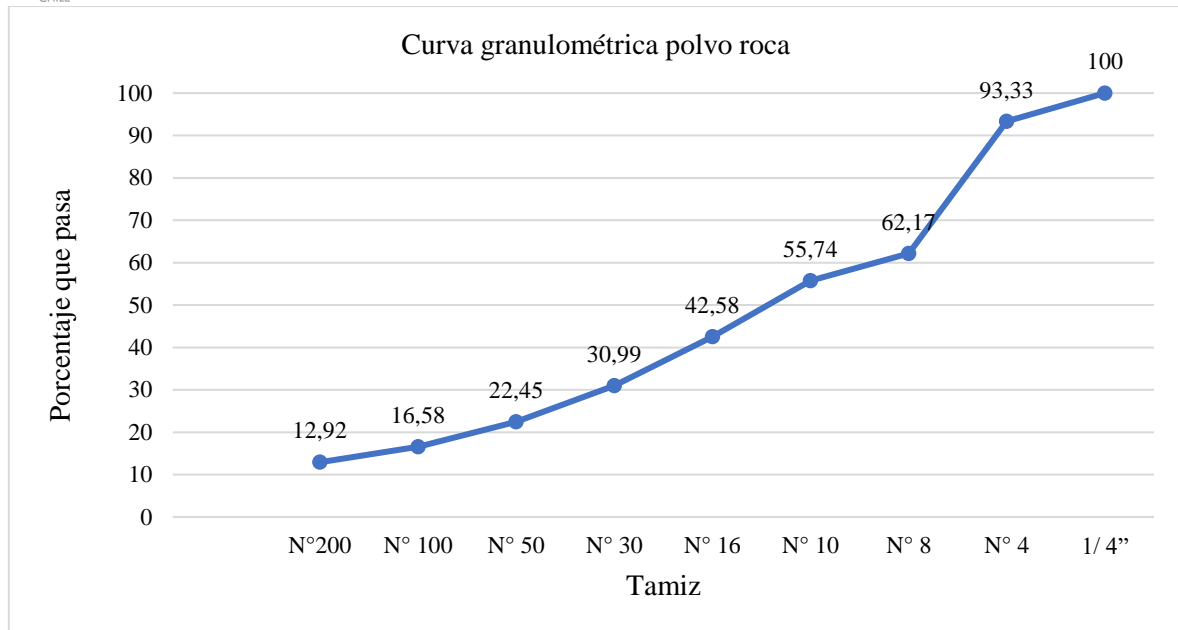


Gráfico 7. Curva granulométrica polvo roca 1/4".

Fuente: Propia

3.1.2 Desgaste de los Ángeles

Este ensayo se realiza mediante la máquina de Desgaste de los Ángeles, la cual determina la resistencia a la trituración o abrasión de los agregados pétreos a utilizar en el diseño de la mezcla asfáltica, cabe mencionar que dicha resistencia no debe superar el 20 % de pérdida de masa de la muestra.

Para determinar dicha resistencia se utilizará un tambor cilíndrico de acero cerrado, con un diámetro interior de 710 ± 5 mm y un largo de 510 ± 5 mm; él cual dará rotaciones de forma uniforme entre 30 y 33 revoluciones por minutos. La cantidad de esferas y la masa total para considerar en el ensayo dependerá de la granulometría y del tamaño máximo de partículas de la muestra, de acuerdo con la tabla 8.202.11 A (Ministerio de Obras Públicas, Manual de Carreteras Volumen 8, 2003). Según los datos obtenidos en la granulometría y basados en la tabla N°5, obtuvimos los siguientes resultados.

Tamaño de partículas (mm).	1	2	3	4	5	6	7
	(80-40)	(50-25)	(40-20)	(40-10)	(20-10)	(10-5)	(5-2,5)
Tamaño de las fracciones (g).							
80 - 63	2500 ± 25						
63 - 50	2500 ± 25						
50 - 40	5000 ± 25	5000 ± 25					
40 - 25		5000 ± 25	5000 ± 25	1250 ± 25			
25 - 20			5000 ± 25	1250 ± 25			
20 - 12,5				1250 ± 25	2500 ± 25		
12,5 - 10				1250 ± 25	2500 ± 25		
10 - 6,3						2500 ± 25	
6,3 - 5						2500 ± 25	
5 - 2,5							5000 ± 25
Masa inicial (mi)	10000 ± 100	10000 ± 75	10000 ± 50	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Nº Esferas	12	12	12	12	11	8	6
Nº Revoluciones	1000	1000	1000	500	500	500	500

Tabla 5. Tabla Desgaste de los Ángeles.

Fuente: Manual de carreteras volumen 8

Para la obtención de resultados, se debe calcular el desgaste de los agregados mediante la siguiente fórmula:

$$P (\%) = \frac{(mi - mf)}{mi} * 100$$

P: Pérdida de la muestra (%).

mi: Masa inicial de la muestra (gr).

mf: Masa final de la muestra (gr).

Datos obtenidos en laboratorio:

- Gravilla 1 / 2”:

mi = 5003 (gr).

mf = 4353 (gr).

$$P (\%) = \frac{(5003 - 4353)}{5003} * 100$$

$$P = 12,99 \%$$

- Gravilla 3 / 8”:

mi = 5000 (gr).

mf = 4332 (gr).

$$P (\%) = \frac{(5000 - 4332)}{5000} * 100$$

$$P = 13,36 \%$$

- Polvo roca 1 / 4”:

mi = 5000 (gr).

mf = 4163 (gr).

$$P (\%) = \frac{(5000 - 4163)}{5000} * 100$$

$$P = 16,74 \%$$

Con los datos obtenidos podemos concluir que los áridos pétreos se encuentran dentro de los parámetros exigidos por el Manual de Carreteras Volumen 8, donde nos exigen un máximo del 20 %, por lo cual los áridos son aptos para la utilización en el diseño de la mezcla asfáltica.

3.1.3 Constantes físicas e hídricas en pétreos gruesos

Este método es aplicable para todos los áridos que hayan sido retenidos por el tamiz de 2,5 mm (ASTM N° 8). Para su realización la muestra de árido, previamente tamizada, debe ser sumergida en agua durante 24 horas, transcurrido ese tiempo se retira la muestra del agua y se procede a secar superficialmente el árido, registrando su peso, posteriormente se sumerge la muestra en agua tomando registro de su peso; finalmente se seca la muestra en su totalidad y se registra su nuevo peso. Basado en los pesos anteriores y utilizando las siguientes fórmulas se podrá calcular la densidad real, densidad neta y absorción de agua en áridos gruesos.

Densidad real seca (ρ_{rs}):

$$\rho_{rs} \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \left(\frac{P_s}{P_{ss} - P_a} \right) * 1000$$

Densidad neta (ρ_n):

$$\rho_n \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \left(\frac{P_s}{P_s - P_a} \right) * 1000$$

Absorción de agua (α):

$$\alpha (\%) = \frac{(100 * (P_{ss} - P_s))}{P_s}$$

Donde:

Ps: Peso seco (gr).

Pss: Peso saturado superficie seca (gr).

Pa: Peso en agua (gr).

Datos obtenidos en laboratorio:

- Gravilla 1 / 2”:

Ps = 3557,8 (gr).

Pss = 3594,3 (gr).

Pa = 2276,5 (gr).

Densidad real seca (ρ_{rs}):

$$\rho_{rs} \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \left(\frac{3557,8}{3594,3 - 2276,5} \right) * 1000$$
$$\rho_{rs} = 2699,80 \frac{kg}{m^3}$$

Densidad neta (ρ_n):

$$\rho_n \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \left(\frac{3557,8}{3557,8 - 2276,5} \right) * 1000$$
$$\rho_n = 2776,71 \frac{kg}{m^3}$$

Absorción de agua (α):

$$\alpha (\%) = \frac{(100 * (3594,3 - 3557,8))}{3557,8}$$
$$\alpha = 1,025 \%$$

- Gravilla 3 / 8”:

$$P_s = 3656,5 \text{ (gr).}$$

$$P_{ss} = 3699,2 \text{ (gr).}$$

$$P_a = 2333,5 \text{ (gr).}$$

Densidad real seca (ρ_{rs}):

$$\rho_{rs} \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \left(\frac{3656,5}{3699,2 - 2333,5} \right) * 1000$$

$$\rho_{rs} = 2677,38 \frac{kg}{m^3}$$

Densidad neta (ρ_n):

$$\rho_n \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \left(\frac{3656,5}{3656,5 - 2333,5} \right) * 1000$$

$$\rho_n = 2763,79 \frac{kg}{m^3}$$

Absorción de agua (α):

$$\alpha (\%) = \frac{(100 * (3699,2 - 3656,5))}{3656,6}$$

$$\alpha = 1,16 \%$$

- Polvo roca:

$$P_s = 3521,5 \text{ (gr).}$$

$$P_{ss} = 3573,6 \text{ (gr).}$$

$$P_a = 2237,0 \text{ (gr).}$$

Densidad real seca (ρ_{rs}):

$$\rho_{rs} \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \left(\frac{3521,5}{3573,6 - 2237,0} \right) * 1000$$

$$\rho_{rs} = 2634,67 \frac{kg}{m^3}$$

Densidad neta (ρ_n):

$$\rho_n \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \left(\frac{3521,5}{3521,5 - 2237,0} \right) * 1000$$

$$\rho_n = 2741,53 \frac{kg}{m^3}$$

Absorción de agua (α):

$$\alpha (\%) = \frac{(100 * (3573,6 - 3521,5))}{3521,5}$$

$$\alpha = 1,47 \%$$

3.1.4 Constantes físicas e hídricas en pétreos finos

Este método es aplicable para todos los áridos que pasen por el tamiz de 2,5 mm (ASTM N° 8). La muestra de árido, previamente tamizada, debe ser sumergida en agua durante 24 horas, transcurrido este tiempo se retira la muestra del agua, donde paulatinamente se debe ir eliminando el exceso de agua mediante secado por la aplicación de fuego lento el que es proporcionado por un fogón. Una vez seca se vierte sobre molde cónico sujeto en una superficie plana y no absorbente, en donde se compacta suavemente con 25 golpes de pisón uniformemente distribuidos sobre la superficie; una vez realizado esto se remueve cuidadosamente el material sobrante en la superficie y se levanta el molde de forma vertical. Si hay humedad la muestra conserva la forma del cono, de lo contrario la muestra cae libre según su talud natural, eso significará que la muestra alcanzó la condición saturada superficialmente seca.

Se registra el peso en condición saturada superficialmente seca y luego la muestra se coloca en un matraz que es cubierto con agua a una temperatura de 20 °C donde esta se va agitando con el fin de eliminar las burbujas de aire. Realizado este procedimiento se deja reposar por una hora y se registra el peso total del matraz con la muestra y el agua.

Finalmente se saca la muestra del matraz y se procede con su secado en un horno a temperatura constante de 110 °C, una vez seca la muestra se registra su peso final. Basado en los pesos anteriores y utilizando las siguientes fórmulas se podrá calcular la densidad real, densidad neta y absorción de agua en áridos finos.

Densidad real seca (ρ_{rs}):

$$\rho_{rs} \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \left(\frac{Pms}{(Pmss + PMA) - PMam} \right) * 1000$$

Densidad neta (ρ_n):

$$\rho_n \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \left(\frac{Pms}{(Pms + PMA) - PMam} \right) * 1000$$

Absorción de agua (α):

$$\alpha (\%) = \frac{(100 * (P_{mss} - P_{ms}))}{P_{ms}}$$

Donde:

P_{mss} : Peso muestra saturada superficialmente seca (gr).

P_{ms} : Peso muestra seca (gr).

P_{Ma} : Peso matraz con agua (gr).

P_{Mam} : Peso matraz con agua + muestra (gr).

Datos obtenidos en laboratorio:

- Fracción fina:

P_{mss} : 400 (gr).

P_{ms} : 392,5 (gr).

P_{Ma} : 1244,5 (gr).

P_{Mam} : 1494,1 (gr).

Densidad real seca (ρ_{rs}):

$$\rho_{rs} \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \left(\frac{392,5}{(400 + 1244,5) - 1494,1} \right) * 1000$$

$$\rho_{rs} = 2609,70 \frac{kg}{m^3}$$

Densidad neta (ρ_n):

$$\rho_n \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \left(\frac{3557,8}{3557,8 - 2276,5} \right) * 1000$$

$$\rho_n = 2776,71 \frac{kg}{m^3}$$

Absorción de agua (α):

$$\alpha (\%) = \frac{(100 * (3594,3 - 3557,8))}{3557,8}$$

$$\alpha = 1,025 \%$$

3.1.5 Equivalente de arena

Este método se utiliza para determinar las proporciones relativas de finos que pasan por el tamiz de 5 mm (ASTM N° 4) presente en los agregados pétreos.

El material por ocupar será aquel obtenido bajo el tamiz N° 4, el cual se separará en dos muestras de 200 gr cada una, las cuales son secadas en un horno a temperatura de 110 °C. Dichas muestras una vez que se encuentren frías se les puede realizar el ensayo.

Las muestras serán situadas en probetas de 400 mm de alto y diámetro de 30 mm, a las cuales previamente se les ha añadido una solución base hasta llegar a una altura de 100 ± 5 mm. Ya introducidas las muestras en las probetas, se golpea firmemente el fondo de estas contra la palma de la mano con el propósito de eliminar las burbujas de aire que se forman, luego dejamos reposar cada probeta por un periodo de 10 minutos y procedemos a cerrar las probetas con un tapón. Ya tapadas las probetas realizamos una agitación mecánica durante un periodo de 45 segundos cada una, posteriormente se introduce un irrigador con el fin de lavar el material adherido en las paredes de la probeta.

Una vez realizada la limpieza, dejamos reposar las probetas por 20 minutos (ilustración N° 10) y medimos el nivel superior de la arcilla, luego de registrar dicha lectura introducimos un pisón

lentamente hasta que este quede totalmente apoyado en la arena y procedemos a registrar el nivel superior de la arena.



Ilustración 10. Probetas para medir equivalente.

Fuente: Propia

Basado en las alturas anteriores y utilizando las siguientes fórmulas se podrá calcular el equivalente de arena presente, para que el ensayo resultante se considere válido, el resultado obtenido para cada probeta no puede diferir en más del 2 % según el Manual de Carreteras Volumen 8.

Equivalente de arena (EA):

$$EA (\%) = \left(\frac{Na}{Nt} \right) * 100$$

Donde:

Na: Nivel superior de arena (mm).

Nt: Nivel superior arcilla (mm).

Datos obtenidos en laboratorio:

- Probeta N° 1:

Na: 99 (mm).

Nt: 188 (mm).

$$EA (\%) = \left(\frac{99}{188} \right) * 100$$

$$EA = 52,65 \%$$

- Probeta N° 2:

Na: 98 (mm).

Nt: 184 (mm).

$$EA (\%) = \left(\frac{98}{184} \right) * 100$$

$$EA = 53,26 \%$$

Se considera válido el ensayo ya que la diferencia entre las dos probetas es de 0,61 %.

3.2 Diseño

3.2.1 Dosificación

Una vez comprobado que los agregados pétreos cumplen con todos los requisitos exigidos por el Manual de Carreteras Volumen 8, es factible dar paso a la dosificación para el diseño de la mezcla.

Para que la mezcla sea permeable esta debe presentar un contenido de vacíos elevado, por lo cual se deberá desarrollar una dosificación de tal manera que cumpla con los huecos exigidos y además cumpla con la banda granulométrica de trabajo PA-12.

La dosificación elegida corresponde a un 50 % de gravilla 1/2", 32 % de gravilla 3/8", 14 % polvo roca y un 4 % filler, como se muestra en la tabla N° 6.

		Áridos a usar en mezcla				Mezcla de trabajo	Banda PA 12		
Tamiz (mm)	Tamiz (ASTM)	1/2	3/8	Polvo roca	Filler				
25,00	1"	100	100	100	100	100			
19,00	3/4"	100	100	100	100	100	100	100	Cumple
16,00	5/8"	100	100	100	100	100			
14,00	9/ 16"	100	100	100	100	100			
12,50	1/ 2"	99	100	100	100	100	70	100	Cumple
9,50	3/ 8"	60	100	100	100	80	50	80	Cumple
8,00	5/ 16"	32	85	100	100	61			
6,30	1/ 4"	13	31	100	100	34			
4,75	N° 4	2	2	93	100	19	15	30	Cumple
2,36	N° 8	1	1	62	100	14	10	22	Cumple
2,00	N° 10	0	0	56	100	12			
1,18	N°16	0	0	43	100	10			
0,60	N°30	0	0	31	100	8	6	13	Cumple
0,30	N°50	0	0	22	100	7			
0,15	N°100	0	0	17	99	6			
0,07	N°200	0	0	13	94	6	3	6	Cumple

Dosificación %	50	32	14	4

Tabla 6. Dosificación de diseño.

Fuente: Manual de Carreteras volumen 8

La dosificación elegida nos muestra que la mezcla de trabajo está dentro del rango de la banda granulométrica PA-12, cumpliendo con las exigencias requeridas.

El cálculo para determinar la mezcla de trabajo se realizó de la siguiente manera, en caso de dar algún número decimal este será redondeado a la unidad más próxima:

- Tamiz 3/8:

$$Mezcla\ de\ trabajo(\%) = \left(\frac{60 * 50 + 100 * 32 + 100 * 14 + 100 * 4}{100} \right)$$

$$Mezcla\ de\ trabajo\ (\%) = 80$$

3.2.2 Preparación de probetas de diseño

Ya definida la dosificación a utilizar, se realizarán un total de 18 probetas con el fin de encontrar el punto óptimo de asfalto que debe ser agregado al diseño de la mezcla. Dichas probetas, se realizarán en bandejas donde deben tener un peso de 1000 gr cada una, las cuales se realizarán en moldes cilíndricos de 101,6 mm de diámetro y 7,62 mm de altura.

Las bandejas junto con el asfalto serán puestas en un horno donde tendrán que mantener una temperatura de los 180 °C con el fin de poder realizar la mezcla en caliente, como se muestra en la ilustración N° 11.



Ilustración 11. Bandejas con agregados pétreos.

Fuente: Propia

Para la elaboración de una probeta se seguirán los siguientes pasos:

1. Pesarse el material que se encuentra en la bandeja, el cual sufrirá una disminución respecto a su peso inicial, ya que al estar a altas temperaturas el árido pierde humedad y por ende peso.
2. Teniendo el peso del material, este será vertido en la mezcladora en donde se le sumará el peso del asfalto, que será agregado dependiendo del porcentaje de asfalto que se utilizará. En este estudio se utilizarán 3 porcentajes diferentes los cuales corresponden a 4 %, 4,5 % y 5 %.
3. Teniendo el peso de estos dos materiales se realiza la mezcla de forma mecánica. Ver ilustración 12.
4. Una vez realizada la mezcla, se debe comprobar su temperatura. Si esta presenta una temperatura menor a los 170 °C (la cual corresponde a la temperatura para poder realizar la compactación) se debe calentar de forma mecánica. Ver ilustración N° 13.

5. Obteniendo la temperatura de compactación se procede a rellenar el molde metálico.
6. La probeta recibirá 50 golpes por cada cara para obtener una compactación óptima.
7. Ya compactada la probeta se espera a que enfríe lo más posible para poder ser desmoldada y finalmente calcular su densidad geométrica, volumen y porcentaje de huecos. Ver ilustración N° 14.



Ilustración 12. Mezclador mecánico.

Fuente: Propia



Ilustración 13. Calentador mecánico.

Fuente: Propia



Ilustración 14. Probetas de diseño.

Fuente: Propia

3.2.3 Densidad máxima de la mezcla

Para la realización de la muestra, necesitaremos realizar dos mezclas de 2000 gr cada una. Para su confección se utilizará un 4,5 % de asfalto que corresponde al promedio de los 3 puntos de asfalto a estudiar.

El método de construcción de estas muestras es el mismo que se utilizó anteriormente, con la diferencia que estas no serán vaciadas en moldes cilíndricos ni compactadas, sino que serán vertidas en dos bandejas diferentes y separadas manualmente. Una vez ya divididas las muestras en partículas más pequeñas esperamos que se enfríe hasta llegar a temperatura ambiente y registramos su peso.

Las muestras se colocan sobre el recipiente y agregamos agua destilada hasta el tope de éste, con una temperatura de 25 °C. Aplicamos vacío por 10 minutos, agitando su contenido periódicamente con vibraciones mecánicas, como muestra la ilustración N° 15, y procedemos a pesar el contenido final del recipiente.



Ilustración 15. Agitador mecánico.

Fuente: Propia

Densidad real seca (prs):

$$\text{DMM} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \left(\left(\frac{Pm}{(PMa + Pm) - PMam} \right) * Da \right) * 1000$$

Donde:

DMM: Densidad máxima de la mezcla (Kg/ m3).

PMa: Peso matraz + agua (gr).

Pm: Peso mezcla (gr).

PMam: Peso matraz con agua + muestra (gr).

Da: Densidad del agua (gr /cm3).

Datos obtenidos en laboratorio:

- DMM 1:

PMa: 15480.

Pm: 2065,70.

PMam: 16725,4.

Da: 0,99710.

$$\text{DMM1} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \left(\left(\frac{2065,70}{(15480 + 2065,70) - 16725,4} \right) * 0,99719 \right) * 1000$$

$$\text{DMM1} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 2511,14$$

- DMM 2:

PMa: 15480.

Pm: 2050,4.

PMam: 16714,6.

Da: 0,99710.

$$DMM2 \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \left(\left(\frac{2050,4}{(15480 + 2050,4) - 16714,6} \right) * 0,99719 \right) * 1000$$

$$DMM2 \left(\frac{kg}{m^3} \right) = 2506,29$$

Para obtener el DMM final sacamos el promedio de los DMM anteriormente calculados.

DMM = 2508,7.

3.2.4 Resultados de diseño 4 %

La tabla N° 7 nos muestra el peso total de cada probeta diseñada.

	Probetas					
	1	2	3	4	5	6
Porcentaje de asfalto (%)	4	4	4	4	4	4
Peso material (gr)	995,500	995,900	996,000	995,600	995,600	995,700
Peso asfalto (gr)	39,820	39,836	39,840	39,824	39,824	39,828
Peso total (gr)	1035,320	1035,740	1035,840	1035,420	1035,420	1035,530

Tabla 7. Peso total probetas de diseño.

Fuente: Propia

Ejemplo de cálculo

- Probeta N°1

$$Peso\ asfalto\ (gr) = \left(\frac{Peso\ material * \% \text{ de asfalto}}{100} \right)$$

$$\text{Peso asfalto (gr)} = \left(\frac{995,500 * 4}{100} \right)$$

$$\text{Peso asfalto (gr)} = 39,82$$

$$\text{Peso total (gr)} = \text{Peso material} + \text{peso asfalto}$$

$$\text{Peso total (gr)} = 995,500 + 39,820$$

$$\text{Peso asfalto (gr)} = 1035,320$$

- Volumen

La tabla N° 8 nos muestra el volumen total de cada probeta diseñada.

	Probetas					
	1	2	3	4	5	6
Altura (cm)	6,62	6,64	6,73	6,64	6,62	6,75
Diámetro (cm)	10,13	10,08	10,15	10,14	10,12	10,19
Volumen (cm3)	533,54	529,88	544,55	536,21	532,49	550,48

Tabla 8. Volumen probetas de diseño.

Fuente: Propia

Ejemplo de cálculo

- Probeta N°1

$$\text{Volumen (cm3)} = \left(\frac{D^2 * \pi * \text{Altura}}{4} \right)$$

$$\text{Volumen (cm3)} = \left(\frac{10,13^2 * \pi * 6,62}{4} \right)$$

$$\text{Volumen (cm3)} = 533,54$$

- Densidad geométrica

La tabla N° 9 nos muestra la densidad geométrica total de cada probeta diseñada.

	Probetas					
	1	2	3	4	5	6
Peso total (gr)	1035,32	1035,74	1035,84	1035,42	1035,42	1035,53
Volumen (cm3)	533,54	529,88	544,55	536,21	532,49	550,48

Densidad (kg/m3)	1940,47	1954,65	1902,19	1931,00	1944,50	1881,13
-------------------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Tabla 9. Densidad geométrica probetas de diseño.

Fuente: Propia

Ejemplo de cálculo

- Probeta N°1

$$Densidad \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = \left(\frac{Peso\ total}{Volumen} \right) * 1000$$

$$Densidad \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = \left(\frac{1035,32}{533,54} \right) * 1000$$

$$Densidad \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = 1940,47$$

- Porcentaje de Huecos

La tabla N° 10 nos muestra el porcentaje de huecos total de cada probeta diseñada

	Probetas					
	1	2	3	4	5	6
DMM	2508,70	2508,70	2508,70	2508,70	2508,70	2508,70
Densidad (kg/m3)	1940,47	1954,65	1902,19	1931,00	1944,50	1881,13
% Huecos	22,65	22,09	24,18	23,03	22,49	25,02

Tabla 10. Porcentaje de huecos probetas de diseño.

Fuente: Propia

Ejemplo de cálculo

- Probeta N°1

$$Huecos (\%) = \left(\frac{DMM - Densidad}{DMM} \right) * 100$$

$$Huecos (\%) = \left(\frac{2508,7 - 1940,47}{2508,7} \right) * 100$$

$$Huecos (\%) = 22,65$$

3.2.5 Resultados de diseño 4,5 %

La tabla N° 11 nos muestra el peso total de cada probeta diseñada

	Probetas					
	7	8	9	10	11	12
Porcentaje de asfalto (%)	4,500	4,500	4,500	4,500	4,500	4,500
Peso material (gr)	995,500	994,900	995,200	994,800	995,300	999,800
Peso del asfalto (gr)	44,797	44,770	44,784	44,766	44,788	44,991
Peso total (gr)	1040,300	1039,670	1039,980	1039,570	1040,09	1044,790

Tabla 11. Peso total probetas de diseño.

Fuente: Propia

- Volumen

La tabla N° 12 nos muestra el volumen de cada probeta diseñada.

	Probetas					
	7	8	9	10	11	12
Altura (cm)	6,69	6,63	6,71	6,64	6,63	6,71
Diámetro (cm)	10,13	10,13	10,13	10,13	10,09	10,13
Volumen (cm³)	539,18	534,35	540,79	535,15	530,14	540,79

Tabla 12. Volumen probetas de diseño.

Fuente: Propia

- Densidad geométrica

La tabla N° 13 nos muestra la densidad geométrica de cada probeta diseñada.

	Probetas					
	7	8	9	10	11	12
Peso total (gr)	1040,30	1039,67	1039,98	1039,57	1040,09	1044,79
Volumen (cm3)	539,18	534,35	540,79	535,15	530,14	540,79
Densidad (kg/m3)	1929,40	1945,68	1923,07	1942,56	1961,93	1931,96

Tabla 13. Densidad geométrica probetas de diseño.

Fuente: Propia

- Porcentaje de Huecos

La tabla N° 14 nos muestra el porcentaje de huecos total de cada probeta diseñada.

	Probetas					
	7	8	9	10	11	12
DMM	2508,70	2508,70	2508,70	2508,70	2508,70	2508,70
Densidad (kg/m3)	1929,40	1945,68	1923,07	1942,56	1961,93	1931,96
% Huecos	23,09	22,44	23,34	22,57	21,79	22,99

Tabla 14. Porcentaje de huecos probetas de diseño.

Fuente: Propia

3.2.6 Resultados de diseño 5 %

La tabla N° 15 nos muestra el peso total de cada probeta diseñada

	Probetas					
	13	14	15	16	17	18
Porcentaje de asfalto (%)	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Peso material (gr)	995,700	995,900	995,800	995,100	998,900	995,400
Peso del asfalto (gr)	49,785	49,795	49,790	49,755	49,945	49,770
Peso total (gr)	1045,490	1045,700	1045,590	1044,860	1048,850	1045,170

Tabla 15. Peso total probetas de diseño.

Fuente: Propia

- Volumen

La tabla N° 16 nos muestra el volumen de cada probeta diseñada.

	Probetas					
	13	14	15	16	17	18
Altura (cm)	6,61	6,62	6,63	6,65	6,63	6,62
Diámetro (cm)	10,06	10,12	10,12	10,13	10,12	10,12
Volumen (cm³)	525,40	532,49	533,29	535,96	533,29	532,49

Tabla 16. Volumen probetas de diseño.

Fuente: Propia

- Densidad geométrica

La tabla N° 17 nos muestra la densidad geométrica de cada probeta diseñada.

	Probetas					
	13	14	15	16	17	18
Peso total (gr)	1045,49	1045,70	1045,59	1044,86	1048,85	1045,17
Volumen (cm3)	525,40	532,49	533,29	535,96	533,29	532,49
Densidad (kg/m3)	1989,89	1963,79	1960,63	1949,51	1966,74	1962,80

Tabla 17. Densidad geométrica probetas de diseño.

Fuente: Propia

- Porcentaje de Huecos

La tabla N° 18 nos muestra el porcentaje de huecos total de cada probeta diseñada.

	Probetas					
	13	14	15	16	17	18
DMM	2508,70	2508,70	2508,70	2508,70	2508,70	2508,70
Densidad (kg/m3)	1989,89	1963,79	1960,63	1949,51	1966,74	1962,80
% Huecos	20,68	21,72	21,85	22,29	21,60	21,76

Tabla 18. Porcentaje de huecos probetas de diseño.

Fuente: Propia

3.2.7 Ensayo de cántabro por pérdida de desgaste

Este ensayo determina la pérdida por desgaste de las mezclas diseñada, empleando la máquina de Desgaste de los Ángeles. Se deben ensayar las probetas de forma individual, las cuales deben estar a una temperatura constante entre los 15 y 30 °C como mínimo seis horas antes de empezar el ensayo.

Antes de ser introducida la probeta a la máquina se debe registrar su peso inicial, seguido de esto se procede a realizar 300 vueltas de tambor, cabe mencionar que la probeta debe realizar estos giros sin la presencia de bolas de acero. Al terminar las vueltas se procede a registrar su peso final y mediante la siguiente fórmula calcularemos su porcentaje de desgaste por probeta.

$$Pérdida (\%) = \left(\frac{P1 - (P2 - (Pc - P1))}{P1} \right) * 100$$

Donde:

P1: Peso total (gr).

P2: Peso después del ensayo de Desgaste de los Ángeles (gr).

Pc: Peso antes de ensayo de Desgaste de los Ángeles (gr).

El total de probetas se dividirá en dos grupos dependiendo el porcentaje de asfalto usado, donde una mitad irá en seco, eso quiere decir que tendrán que estar secando en el horno 24 horas antes de empezar el ensayo simulando un clima seco y la otra mitad deberá estar sumergida en agua 24 horas antes del ensayo simulando un clima con precipitaciones.

- Mezclas en seco

Las tablas N° 19, N° 20 Y N° 21 nos muestra los resultados obtenidos de las probetas en seco.

Porcentaje de asfalto (%)	Probetas en seco		
	4		
N° de probeta	2	4	6
P1	1035,74	1035,42	1035,53
Pc	1030,80	1031,80	1029,70
P2	838,10	875,10	867,50
P	18,61	15,13	15,66

Tabla 19. Porcentaje de pérdida con 4 % de asfalto.

Fuente: Propia

Ejemplo de cálculo

- Probeta N°2

$$Pérdida (\%) = \left(\frac{P1 - (P2 - (Pc - P1))}{P1} \right) * 100$$

$$Pérdida (\%) = \left(\frac{1035,74 - (838,1 - (1030,8 - 1035,74))}{1035,74} \right) * 100$$

$$Pérdida (\%) = 18,61$$

Se considera válida la mezcla cuando la probeta no supera el 20 % de pérdida por desgaste, según el Manual de Carreteras Volumen 8.

	Probetas en seco		
Porcentaje de asfalto (%)	4,5		
N° de probeta	7	10	11
P1	1040,30	1039,57	1040,09
Pc	1019,50	1033,20	1034,40
P2	881,60	958,10	917,10
P	13,26	7,22	11,28

Tabla 20. Porcentaje de pérdida con 4,5 % de asfalto.

Fuente: Propia

	Probetas en seco		
Porcentaje de asfalto (%)	5		
N° de probeta	13	14	16
P1	1045,49	1045,70	1044,86
Pc	1036,80	1034,70	1036,40
P2	917,90	963,50	958,10
P	11,37	6,81	7,49

Tabla 21. Porcentaje de pérdida con 5 % de asfalto.

Fuente: Propia

- Mezclas en agua

Las tablas N° 22, N° 23 Y N° 24 nos muestra los resultados obtenidos de las probetas en agua.

Porcentaje de asfalto (%)	Probetas en agua		
	4		
N° de probeta	1	3	5
P1	1035,32	1035,84	1035,42
Pc	1035,80	1045,20	1043,70
P2	573,10	779,30	665,80
P	44,69	25,67	36,50

Tabla 22. Porcentaje de pérdida con 4 % de asfalto.

Fuente: Propia

Ejemplo de cálculo

- Probeta N°1

$$Pérdida (\%) = \left(\frac{P1 - (P2 - (Pc - P1))}{P1} \right) * 100$$

$$Pérdida (\%) = \left(\frac{1035,32 - (573,1 - (1035,8 - 1035,32))}{1035,32} \right) * 100$$

$$Pérdida (\%) = 44,69$$

Se considera válida la mezcla cuando la probeta no supera el 30 % de pérdida por desgaste, según el Manual de Carreteras Volumen 8, por lo tanto, esta no sirve.

	Probetas en agua		
Porcentaje de asfalto (%)	4,5		
N° de probeta	8	9	12
P1	1039,67	1039,98	1044,79
Pc	1048,40	1044,50	1057,40
P2	911,50	910,40	943,70
P	13,17	12,89	10,88

Tabla 23. Porcentaje de pérdida con 4,5 % de asfalto.

Fuente: Propia

	Probetas en agua		
Porcentaje de asfalto (%)	5		
N° de probeta	15	17	18
P1	1045,59	1048,85	1045,17
Pc	1049,10	1057,80	1048,60
P2	965,40	968,60	964,10
P	8,01	8,50	8,08

Tabla 24. Porcentaje de pérdida con 5 % de asfalto.

Fuente: Propia

3.2.8 Preparación mezcla permeable

Ya definido el porcentaje de asfalto óptimo, damos paso a la fabricación de las probetas de diseño permeable, la cual consta de 3 probetas de 5000 gr cada una (ver ilustración N° 16). El método de construcción de dichas probetas es el mismo que se detalló con anterioridad.

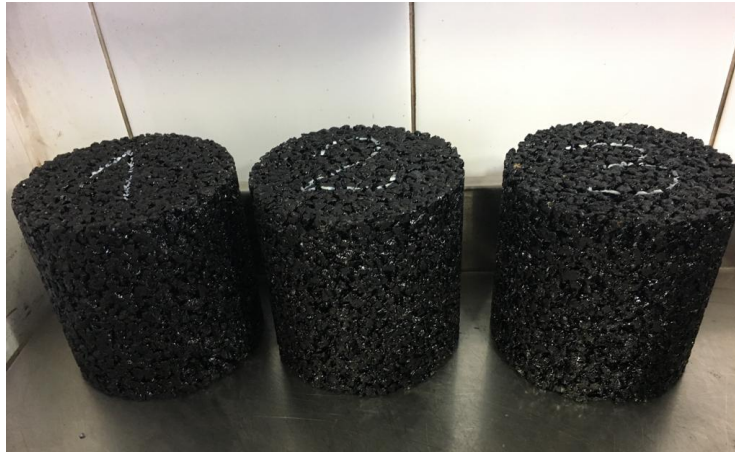


Ilustración 16. Probetas de diseño permeable.

Fuente: Propia

Para la compactación de estas probetas se utilizó un compactador giratorio, el cual aplica fuerza de forma vertical a través de un pisón mientras el eje longitudinal del molde va girando. Durante la compactación, se va registrando las diferentes alturas obtenidas, con el fin de lograr el porcentaje de compactación óptimo.

Una vez compactada la probeta se procede a calcular su densidad geométrica, volumen y porcentaje de huecos obteniendo los siguientes resultados:

- Peso probeta

La tabla N° 25 nos muestra peso total probetas de diseño permeable.

	Probetas		
	1	2	3
Porcentaje de asfalto (%)	4,50	4,50	4,50
Peso material (gr)	4876,00	4878,20	4874,30
Peso del asfalto (gr)	219,42	219,519	219,3435
Peso total (gr)	5095,42	5097,72	5093,64

Tabla 25. Peso total probetas de diseño permeable.

Fuente: Propia

- Volumen

La tabla N° 26 nos muestra el volumen de las probetas de diseño permeable.

	Probetas		
	1	2	3
Altura (cm)	14,90	15,02	15,01
Diámetro (cm)	15,06	15,09	15,08
Volumen (cm3)	2654,16	2686,21	2680,86

Tabla 26. Volumen probetas de diseño permeable.

Fuente: Propia

- Densidad geométrica

La tabla N° 27 nos muestra la densidad geométrica de las probetas de diseño permeable.

	Probetas		
	1	2	3
Peso total (gr)	5095,42	5097,72	5093,64
Volumen (cm3)	2654,16	2686,21	2680,86
Densidad (kg/m3)	1919,79	1897,74	1900,00

Tabla 27. Densidad geométrica probetas de diseño permeable.

Fuente: Propia

- Porcentaje de huecos

La tabla N° 28 nos muestra el porcentaje de huecos de las probetas de diseño permeable.

	Probetas		
	1	2	3
DMM	2508,7	2508,7	2508,7
Densidad (kg/m3)	1919,79	1897,74	1900,00
% Huecos	23,47	24,35	24,26

Tabla 28. Porcentaje de huecos probetas de diseño permeable.

Fuente: Propia

- Compactación

La compactación de las probetas permeables diseñadas se realizó mediante el compactador giratorio, en donde pudimos obtener los siguientes resultados:

Probeta N°1

La tabla N° 29 nos muestra el porcentaje de compactación obtenido respecto a la altura registrada.

N° Giros	5	10	15	20	25	30	40
Altura (mm)	161,8	158,9	157,1	155,7	154,6	153,7	152,4
% Compacidad	70,5	71,8	72,6	73,3	73,8	74,2	74,9
% Huecos	29,5	28,2	27,4	26,7	26,2	25,8	25,1
Densidad (Kg/m3)	1768,0	1801,0	1821,0	1838,0	1851,0	1862,0	1878,0

N° Giros	50	60	80	100
Altura (mm)	151,5	150,8	149,7	149,1
% Compacidad	75,3	75,7	76,2	76,5
% Huecos	24,7	24,3	23,8	23,5
Densidad (Kg/m3)	1889,0	1897,0	1911,0	1919,0

Tabla 29. Porcentaje de compactación probetas de diseño permeable.

Fuente: Propia

- Probeta N°2

La tabla N° 30 nos muestra el porcentaje de compactación obtenido respecto a la altura registrada.

N° Giros	5	10	15	20	25	30	40
Altura (mm)	162,4	159,5	157,7	156,4	155,3	154,5	153,2
% Compacidad	70,3	71,5	72,3	72,9	73,5	73,8	74,5
% Huecos	29,7	28,5	27,7	27,1	26,5	26,2	25,5
Densidad (Kg/m3)	1762,0	1794,0	1814,0	1830,0	1842,0	1852,0	1868,0

N° Giros	50	60	70
Altura (mm)	152,3	151,6	151
% Compacidad	74,9	75,3	75,6
% Huecos	24,7	24,3	24,4
Densidad (Kg/m3)	1879,0	1887,0	1895,0

Tabla 30. Porcentaje de compactación probetas de diseño permeable.

Fuente: Propia

- Probeta N° 3

La tabla N° 31 nos muestra el porcentaje de compactación obtenido respecto a la altura registrada.

N° Giros	5	10	15	20	25	30	40
Altura (mm)	162,0	159,0	157,2	155,8	154,7	153,9	152,6
% Compacidad	70,4	71,8	72,6	73,2	73,7	74,1	74,8
% Huecos	29,6	28,2	27,4	26,8	26,3	25,9	25,2
Densidad (Kg/m3)	1766,0	1800,0	1820,0	1837,0	1850,0	1859,0	1875,0

N° Giros	50	60
Altura (mm)	151,7	150,9
% Compacidad	75,2	75,6
% Huecos	24,8	24,4
Densidad (Kg/m3)	1886,0	1896,0

Tabla 31. Porcentaje de compactación probetas de diseño permeable.

Fuente: Propia

3.2.8 Ensayo de permeabilidad

Una vez que se ha comprobado que la mezcla diseñada es apta para su uso en carretera, procedemos a medir su permeabilidad mediante un permeámetro (ver ilustración N° 17).

Se medirá la permeabilidad en la probeta número 2 y 3, ya que están ensayadas con el porcentaje de compactación óptimo. Las muestras se colocan dentro del cilindro de metal, donde previamente se le aplica vaselina alrededor para llenar los huecos y así evitar que el agua pase por los bordes (ver ilustración N° 18). Además, el permeámetro cuenta con una membrana de látex que se expande por los bordes de la probeta. El agua para la muestra debe estar a 20 °C, la cual se vacía en la bureta del permeámetro donde se medirá el tiempo que se demora pasar por cada probeta. Cabe mencionar que debe existir una presión de 103,42 KPa.

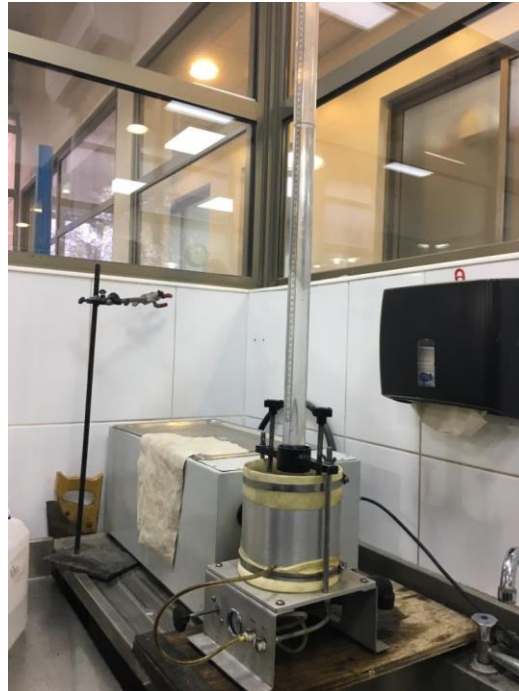


Ilustración 17. Permeámetro.

Fuente: Propia



Ilustración 18. Probeta con vaselina.

Fuente: Propia

Para calcular la permeabilidad de cada probeta usaremos la siguiente fórmula:

$$\text{Permeabilidad (cm/sg)} = \left(\frac{A_b * E_p}{A_p * T} \right) * \ln \left(\frac{A_i}{A_f} \right) * D$$

Donde:

Ab: Área bureta (cm²).

Ep: Espesor probeta (cm).

Ap: Área probeta (cm²).

T: Tiempo (sg).

Ai: Altura inicial (cm).

Af: Altura final (cm).

D: Densidad (g/cm³).

Datos obtenidos de laboratorio

- Probeta 2A

Ab: 7,89 (cm²).

Ep: 7,42 (cm).

Ap: 177,19 (cm²).

T: 2,50 (sg).

Ai: 85,92 (cm).

Af: 22,92 (cm).

D: 0,9982 (g/cm³).

$$\text{Permeabilidad} \left(\frac{\text{cm}}{\text{sg}} \right) = \left(\frac{7,89 * 7,42}{177,19 * 2,50} \right) * \ln \left(\frac{85,92}{22,92} \right) * 0,9982$$

$$\text{Permeabilidad (cm/sg)} = 0,174$$

- Probeta 2B

Ab: 7,89 (cm²).

Ep: 7,42 (cm).

Ap: 178,84 (cm²).

T: 2,71 (sg).

Ai: 85,92 (cm).

Af: 22,92 (cm).

D: 0,9982 (g/cm³).

$$\text{Permeabilidad} \left(\frac{\text{cm}}{\text{sg}} \right) = \left(\frac{7,89 * 7,42}{178,84 * 2,71} \right) * \text{Ln} \left(\frac{85,92}{22,92} \right) * 0,9982$$

$$\text{Permeabilidad (cm/sg)} = 0,159$$

Promedio permeabilidad probeta N° 2: 0,166 cm/sg.

- Probeta 3A

Ab: 7,89 (cm²).

Ep: 7,42 (cm).

Ap: 176,95 (cm²).

T: 2,75 (sg).

Ai: 85,92 (cm).

Af: 22,92 (cm).

D: 0,9982 (g/cm³).

$$\text{Permeabilidad} \left(\frac{\text{cm}}{\text{sg}} \right) = \left(\frac{7,89 * 7,42}{176,95 * 2,75} \right) * \text{Ln} \left(\frac{85,92}{22,92} \right) * 0,9982$$

$$\text{Permeabilidad (cm/sg)} = 0,158$$

- Probeta 3B

Ab: 7,89 (cm²).

Ep: 7,42 (cm).

Ap: 176,95 (cm²).

T: 2,72 (sg).

Ai: 85,92 (cm).

Af: 22,92 (cm).

D: 0,9982 (g/cm³).

$$\text{Permeabilidad} \left(\frac{\text{cm}}{\text{sg}} \right) = \left(\frac{7,89 * 7,42}{176,95 * 2,72} \right) * \text{Ln} \left(\frac{85,92}{22,92} \right) * 0,9982$$

$$\text{Permeabilidad (cm/sg)} = 0,160$$

Promedio permeabilidad probeta N° 3: 0,159 cm/sg.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

Una vez detectada la problemática que produce el agua como fenómeno ambiental en las mezclas asfálticas, se planteó como objetivo principal el poder mejorar la permeabilidad de una mezcla asfáltica a modo de evitar desgastes en la carpeta de rodadura originados por la acumulación de líquidos producto de la lluvia, filtración o acumulación de aguas, rocíos, entre otros. Es por lo que esta memoria se dedicó a la obtención de una mezcla permeable, pero que a su vez cumpliera con todos los requerimientos exigidos por el Manual de Carreteras Volumen 8, donde se especifican las condiciones y parámetros que debe cumplir tanto los áridos como la mezcla en sí, para poder ser factibles de utilizar en las carreteras de nuestro país.

En primera instancia se concluye que los áridos provenientes de la ciudad de Talca cumplen con las normas exigidas, dando así paso a la elaboración de la mezcla permeable en donde se aplicaron dosificaciones de estudio con tres cantidades distintas de asfalto, con el fin de encontrar su punto óptimo. Conforme a los resultados obtenidos podemos concluir que con un 4 % de asfalto no cumple con lo exigido por el Manual de Carreteras, ya que algunas probetas superan el mínimo exigido al calcular el porcentaje de huecos, debido a que el máximo no debe exceder el 30 % cuando las probetas se encuentren sumergidas en agua. Con un 5 % de asfalto las probetas cumplen con lo exigido de sobremana, pero esto repercute inmediatamente en el impacto económico que induce el utilizar una mayor cantidad de asfalto en la mezcla diseñada, pues esto eleva sustancialmente los costos de producción de esta. Además el promedio de huecos obtenido en las probetas de diseño con un 4,5% de asfalto es mayor al promedio obtenido con un 5% de asfalto, por ende, se concluye que un 4,5 % de asfalto es suficiente para un óptimo diseño, ya que cumple con los parámetros de diseño exigido por el Manual de Carreteras, su producción sería más económica y presenta un mayor porcentaje de huecos, lo cual es de gran relevancia ya que se busca tener el mayor porcentaje de huecos posibles en las probetas permeables.

Para la mezcla permeable diseñada se pudo obtener el porcentaje de compactación óptimo es de 75,25 %, lo que corresponde el promedio entre los 50 y 60 giros, concluimos esto ya que para que nuestra mezcla sea lo más permeable posible debe tener entre el 20 y 25 % de huecos, donde lo más cercano a ese número sin estar muy cerca del límite sería con un 75,25 % de compacidad. Junto con esto pudimos obtener la densidad final de la mezcla diseñada la cual corresponde a un promedio obtenido entre los giros 50 y 60, donde se obtuvo una densidad de 1888 kg/m³.

Luego para poder determinar si la mezcla diseñada cumplía con el objetivo de ser permeable, se realizó un ensayo de permeabilidad a dicha mezcla, que arrojó que esta mantenía un coeficiente de permeabilidad promedio de 0,1625 cm/sg, demostrando así, que la mezcla diseñada al tener un coeficiente de permeabilidad distinto de cero, permite el paso del agua a través de ella, por lo cual si se empleara la mezcla diseñada se lograría aminorar los desgastes producidos por el agua detenida en la superficie de los pavimentos de asfaltos. Por lo tanto, se concluye que es factible la utilización de carpetas asfálticas permeables en las carreteras de la Región del Maule.

El uso de este tipo de mezclas trae consigo algunos beneficios, donde podemos destacar la existencia de una mayor resistencia al deslizamiento bajo la lluvia eliminando el fenómeno del hidropneumático, el cual se da al existir una capa de agua entre el pavimento y el neumático del vehículo lo que conlleva a la pérdida del control sobre el vehículo ya que su tracción disminuye. También la reducción de las proyecciones de agua, ya que este tipo de mezclas al tener huecos en su estructura, a la hora de llover el agua pasaría a través de estos huecos y no quedaría acumulada en su superficie, disminuyendo tanto como las proyecciones de agua como el ruido que puede darse en las carreteras.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

- García, A. (19 de Octubre de 2016). *Ligante Bituminosos*. Obtenido de Ligante Bituminosos: www.slideshare.net
- Ministerio de Obras Públicas, D. d. (2013). *Mezcla Asfálticas Volumen 5*. Santiago, Chile.
- Ministerio de Obras Públicas, D. d. (2013). *Mezcla Asfálticas Volumen 8*. Santiago, Chile.
- Vialidad, D. d. (Junio de 2015). *Mezclas asfálticas, Curso C*. Obtenido de Mezclas asfálticas, Curso C: <http://www.vialidad.cl>

Artículos de revista

- Ancap. (15 de Mayo de 2019). *Proceso de refinería*. Obtenido de Proceso de refinería: www.ancap.com
- AsfalChile. (2019). *AsfalChile*. Obtenido de AsfalChile.
- E-asfalto. (s.f.). *Historia del Asfalto*. Obtenido de Historia del Asfalto: <http://www.e-asfalto.com>
- Hammons, M. I. (2006). Detection of stripping in hot-mix asphalt. *Diario de la Junta de Investigación de Transporte*, págs. 20-31.
- Muñoz Rojas, G., & Ruiz Rodrigo, C. (2019). Metodología de diseño y colocación de mezclas drenantes. *EspecíficMezclasDrenantes-sinfoto.doc*, 1-2.
- Quintero Luz, Sanabria Luis. (2014). ASFALTO MODIFICADO CON UN NANOCOMPOSITO DE SBS/MMWCNT Y EL PROCEDIMIENTO PARA SU OBTENCIÓN. *WIPO*, 4-5.
- Rondon Quintana, H. A., Ruge Cárdenas, J. C., & Moreno Anselmi, L. A. (2016). *Efecto del agua sobre el asfalto y su posible influencia en el daño por humedad en una mezcla asfáltica porosa*. Bogotá: Scielo.

Páginas webs

- Weatherspark. (12 de Junio de 2019). *Clima promedio en region del Muale, Chile*. Obtenido de Clima promedio en región del Maule, Chile.
- Wikipedia. (19 de Junio de 2019). *Permeabilidad*. Obtenido de Permeabilidad: <https://es.wikipedia.org/wiki/Permeabilidad>.

