

UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**“MÉTODO INDIRECTO PARA OBTENER LA PERMEABILIDAD EN
LAS BASES GRANULARES DE LOS TRATAMIENTOS
SUPERFICIALES DOBLES”**

POR

ALVARO PATRICIO FERNANDEZ NAVARRO

TRABAJO DE TÍTULO PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADO EN CIENCIAS DE
LA INGENIERIA Y TITULO DE INGENIERO CIVIL

PROF. GUÍA GUILLERMO BRANTE

NOVIEMBRE, 2012

"Lo que hacemos en la vida
tiene su eco en la eternidad"

Agradecimientos

Índice General

Índice General	4
Lista de figuras	5
Lista de tablas	5
Lista de anexos	6
Lista de apéndices	6
Resumen	7
CAPITULO I: ANTECEDENTES GENERALES	8
1.1 Justificación del tema	8
1.2 Objetivos de la investigación	10
1.2.1 Objetivo general.	10
1.2.2 Objetivo específico.	10
1.3 Alcances de la experiencia.	11
CAPITULO II: Marco teórico	12
2.1 Pavimento flexible	12
2.2 Tratamiento superficial	13
2.3 Permeabilidad	16
2.3.1 Ensayos de permeabilidad	17
a) Permeámetro de carga variable	17
b) Permeámetro de carga constante	18
2.4 Trituración	19
CAPITULO III: DISEÑO Y RESULTADOS DE LAS EXPERIENCIAS	21
3.1 Definición de las variables	21
3.1.1 Definiciones	21
3.2 Metodología de experiencia	22
3.2.1 Caracterización de los materiales	22
3.2.2 Preparación del suelo a ensayar	22
3.3 Resultados de las experiencias	24
3.3.1 Resultados de la Base Patrón (BP), contenido 100% de base granular	24
3.3.2 Resultados del material fino S4, contenido 100% “maicillo”	26
3.3.3 Resultados suelo S1	28
3.3.4 Resultados suelo S2	30
3.3.5 Resultados suelo S3	32
CAPITULO IV: ANALISIS DE LOS RESULTADOS	35
4.1 Análisis comparativo de resultados versus el Manual de Carreteras.	35
4.2 Índice de laja	38
4.3 Densidad máxima compactada seca	39
4.4 Humedad óptima	40
4.5 Capacidad de soporte (CBR)	40
4.6 Índice de trituración fino	41
4.7 Índice de trituración v/s desgaste de los ángeles	42
4.8 Limite líquido	42
4.9 Permeabilidad	43
CAPITULO V: CONCLUSIONES	45
CAPITULO VI: BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	47

Lista de Figuras

Figura 2.2.- Esquema que representa un Tratamiento Superficial Simple	13
Figura 2.3.- Esquema que representa un Tratamiento Superficial Doble	13
Figura 2.4.- Esquema de ejecución de un Tratamiento Superficial Doble	15
Figura 2.5.- “permeámetro de carga variable”	18
Figura 2.6.- “Permeámetro de carga constante”	19
Figura 3.1.- Granulometría Base Patrón	24
Figura 3.2.- Granulometría S4	26
Figura 3.3.- Granulometría S1	28
Figura 3.4.- Granulometría S2	30
Figura 3.5.- Granulometría S3	32
Figura 4.1.- Granulometría comparativa con banda TM-50b	36
Figura 4.2.- Granulometría comparativa con banda TM-50c	37
Figura 4.3.- Granulometría comparativa con banda TM-25	37
Figura 4.4.- Resumen índice de laja	38
Figura 4.5.1.- Resumen Proctor modificado	39
Figura 4.5.2.- Resumen Proctor modificado	40
Figura 4.6.- Resumen capacidad de soporte	40
Figura 4.7.- Resumen índice de trituración de finos total	41
Figura 4.8.- Resumen comparativo entre los distintos ensayos de desgaste.	42
Figura 4.9.- Resumen limite líquido	42
Figura 4.10.- Permeabilidad promedio	43

Lista de Tablas

Tabla 3.1.- Mezclas porcentuales de base granular y macillo	23
Tabla 3.2.- Granulometría Base Patrón	24
Tabla 3.3.- limites de Atterberg Base Patron	25
Tabla 3.4.- Granulometría S4	26
Tabla 3.5.- Limites de Atterberg S4	27
Tabla 3.6.- Granulometría S1	28
Tabla 3.7.- Limites de Atterberg S1	29
Tabla 3.8.- Granulometría S2	30
Tabla 3.9.- Limites de Atterberg S2	31
Tabla 3.10.- Granulometría S3	32
Tabla 3.11.- Limites de Atterberg S3	33
Tabla 3.12.- Resumen de los resultados obtenidos en laboratorio	34
Tabla 4.1.- Requisitos generales y la evaluación con la respectiva mezcla de material	35
Tabla 4.2.- Requisitos para material de base para tratamiento superficial doble y la evaluación con la respectiva mezcla de material	35

Lista de Anexos

Anexo A: Ley de Darcy

Anexo B: Desarrollo de ensayos y resultados

Lista de Apéndices

Apéndice 1: Especificaciones para Sub-bases y bases

Apéndice 2: Método para determinar el índice de trituración

Apéndice 3: Método para tamizar y determinar la granulometría

Apéndice 4: Método para determinar la relación humedad-densidad, ensaye Proctor modificado

Apéndice 5: Método de ensaye CBR (razón de soporte de california)

Apéndice 6: Método para determinar la cubicidad de las partículas

Apéndice 7: Método para determinar el desgaste mediante la maquina de los ángeles

Apéndice 8: Método para determinar el límite líquido

Apéndice 9: Método para determinar el límite plástico

Apéndice 10: DETERMINACIÓN ENSAYO PERMEABILIDAD

Resumen

Con este trabajo se logró relacionar un método indirecto como el “Método para determinar el Índice de Trituración”, con la permeabilidad aceptada para las bases granulares de tratamientos superficiales dobles (TSD), dado que el Manual de Carreteras (MC) recomienda un límite de permeabilidad mínimo de 0,01 cm/seg, que no es exigido al momento de construir, sino más bien es un requisito de diseño. Esta inconsistencia hace necesario buscar alguna forma de medir directa o indirectamente la permeabilidad de las bases granulares en los tratamientos superficiales dobles, de manera de asegurar que lo construido sea consistente con lo diseñado.

Este trabajo tomara como apoyo un estudio previo de la señorita María Eugenia Troncoso Peláez [8], en el cual se analiza la permeabilidad en función de distintos porcentajes de material fino tipo maicillo al interior de una base granular. En este se logró determinar que una permeabilidad de 0,01 cm/seg es obtenida sólo cuando se permite un máximo de 5% de material fino tipo maicillo dentro de la base granular.

Posteriormente al analizar distintas combinaciones de material fino tipo maicillo al interior de una base granular del mismo modo en que fue realizado el estudio antes mencionado, y llevando a cabo el “Método para determinar el Índice de trituración”, se logró determinar que una base granular con un máximo de 5% de material fino tipo maicillo, tiene un “Índice de trituración de fino” igual a un 7%.

Con este resultado es posible concluir que una base granular posee al menos una permeabilidad de un 0,01 cm/seg, (base permeable como lo indica el Manual de Carreteras), cuando se obtiene un “Índice de trituración de fino” igual o menor a un 7%. De esta manera se logra controlar la permeabilidad de una basa granular de forma indirecta, con un método normado (8.202.8 Manual de Carreteras Volumen 8), y de fácil aplicación en obra.

CAPITULO I: ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Justificación del tema

Chile es un país ubicado en el extremo suroeste de América del Sur. Su ancho máximo alcanza los 445 km y su ancho mínimo, los 90 km. Posee un borde costero de 6.435 km de longitud [7].

El hecho de ser un país tan largo, hace inminente la necesidad de conectar a sus habitantes, esta conectividad se realiza preferentemente a través de caminos, los cuales deben cumplir las condiciones que indica el Estado de Chile, a través de su Ministerio de Obras Públicas (MOP), el cual entrega todos sus requisitos de diseño, proyecto, construcción y conservación a través del “Manual de Carretera” (MC).

Las condiciones que pide el MOP hacen que los caminos construidos en Chile tengan una gran calidad, seguridad y bienestar para los usuarios.

La estructura de un camino se compone de una, sub-base granular, base granular y un pavimento rígido o flexible dependiendo del diseño, como se aprecia en la figura 1.1. Teniendo en consideración que para un pavimento flexible, lo más importante es su base granular, ya que es esta la que soporta los mayores esfuerzos, particularmente en los tratamientos superficiales dobles (TSD), en que la capa flexible simplemente es una protección de esta capa estructural soportante denominada base granular.

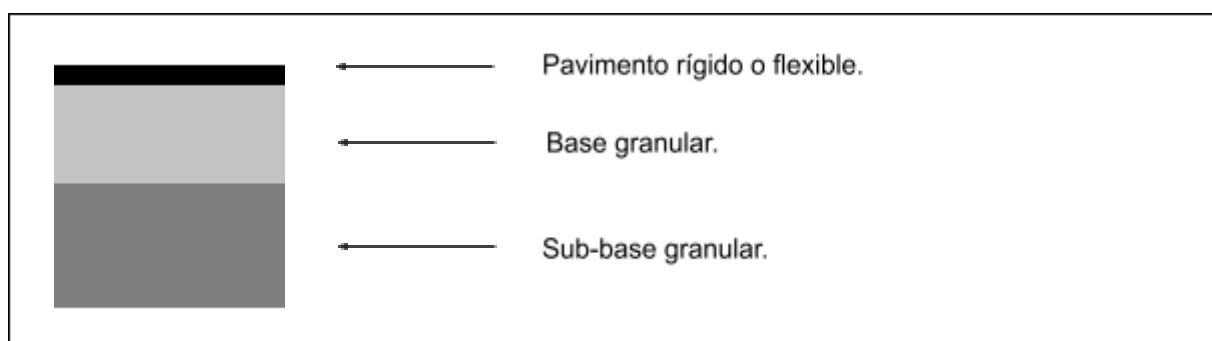


Figura 1.1.- Esquema de la estructura de un pavimento flexible.

De acuerdo al Manual de Carreteras [6], la base granular para un doble tratamiento superficial debe cumplir con las siguientes propiedades:

- 70% material chancado
- CBR > 100%
- Banda granulométrica
- TM50C – TM50B – TM25
- Compactación al 98% de la DMCS
- Limite liquido(LL) < 25
- Desgaste de los ángeles < 35%

A pesar de que las propiedades antes mencionadas se cumplen en la construcción de los caminos en Chile, la presencia de agua al interior de las bases granulares debido a la impermeabilidad de éstas, provoca daños al interior de la misma y en la superficie de rodado.

Si el agua que está dentro de la base granular no es evacuada; y dado que la base granular es la capa que principalmente resiste los ciclos de carga, se produce un fenómeno de amasado a las partículas granulares al interior de la masa de suelo, que sí está conformada por materiales desmenuzables y particularmente en descomposición geológica se ablandan, muelen y pierden su granulometría original. Luego cuando se drena el agua, está lleva consigo material fino haciendo que la base granular pierda densidad y por lo tanto capacidad de soporte, y al pasar una carga por la base menos densa por falta de materiales fino, hace que la carpeta de rodado se desforme y se produzca una desformación. Este tipo de daño es aún más notorio en las carpetas de rodadura flexible tipo tratamiento superficial doble, ya que en este tipo de solución la base granular es la capa que está diseñada para soportar gran parte de los esfuerzos provocados por los ciclos de carga móvil producto del tránsito, y la capa de rodadura simplemente corresponde a una capa de protección que mejora las condiciones de serviciabilidad de la estructura.

La incorporación de material fino en la base granular, se manifiesta principalmente en el litoral central de nuestro país, ya que es desde la cuarta y hasta la novena región, donde tenemos mayor presencia de material fino en descomposición o meteorizado (maicillo).

Lo anterior es relevante por el hecho de que no existen restricciones en el contenido de material fino impermeable dentro de la base granular en las actuales especificaciones técnicas. Además sólo en la etapa de diseño de bases granulares para tratamientos superficiales dobles, se menciona la permeabilidad ($K > 0,01$ cm/seg) en el Manual de Carreteras, sin considerarla en los posteriores controles de construcción.

La incorporación de material fino a la base granular, se debe a un tema económico, ya que producir un metro cúbico de base granular limpia, inerte y libre de finos desmenuzables en el mercado actual puede llegar a costar \$5.000 pesos y producir esa misma base con un porcentaje suficiente de material fino que asegure las propiedades solicitadas por el Manual de Carreteras pueden significar una rebaja en el costo de hasta \$2.000 pesos por metro cúbico. Es éste motivo que el contratista considera un buen negocio mezclar la base granular pura con material fino tipo maicillo.

El objetivo de este trabajo es, limitar el contenido de material fino dentro de la base granular para evitar una pérdida importante de la permeabilidad en ésta. Para ello se buscara la relación entre el ensayo normado y simple de medir en terreno, como es el de "Índice de Trituración de finos" (8.202.8 Manual de Carreteras Volumen 8), y la permeabilidad de las bases granulares. Debe hacerse presente que hoy no existe limitante al contenido de material fino en las bases granulares en las especificaciones técnicas de construcción (5.302 Manual de Carreteras Volumen 5); sin embargo existe una limitante de permeabilidad en el diseño de estas bases según AASHTO y Morin Todor la que se encuentra recomendada en el 3.603.206 del Manual de Carretera Volumen 3 y 3.604.106B del mismo manual de diseño.

El presente estudio ha sido patrocinado por el laboratorio del MOP con el fin de poder establecer una nueva exigencia para materiales finos a utilizar en bases granulares de tratamientos superficiales dobles, para asegurar concordancia entre el diseño estructural mediante AASHTO 93 y la materialización en obra. Para ello el MOP puso a disposición los equipos y materiales necesarios para realizar el trabajo.

1.2 Objetivos de la investigación.

1.2.1 Objetivo general.

Relacionar un método (“Índice de Trituración de finos”, 8.202.8 Manual de Carreteras Volumen 8, versión 2012) de fácil control en obra que permita restringir el uso de material fino impermeable en bases granulares para los tratamientos superficiales dobles, de manera que se asegure la permeabilidad mínima de diseño.

1.2.2 Objetivo específico.

1. Obtener una relación, si es que existe, entre el “Método para determinar el Índice de Trituración de finos” con la permeabilidad aceptada en el diseño de las bases granulares de tratamientos superficiales dobles.
2. Establecer el índice máximo de trituración de finos en los suelos que conforman bases granulares para tratamientos superficiales dobles, para así cumplir con la permeabilidad mínima aceptada ($K > 0,01 \text{ cm/seg}$).

1.3 Alcances.

Los principales alcances del estudio a desarrollar son los siguientes:

1. El estudio se válida para materiales de la Quinta región y zona centro del país, debido a que es en esta zona donde se encuentran los mayores depósitos de granito meteorizado (maicillo)
2. El estudio es válido para zonas en la que las precipitaciones son superiores a 100 mm al año, ya que precipitaciones menores no afectan los materiales finos en las bases granulares.
3. Los ensayos mecánicos se realizan bajo las condiciones climáticas y de temperatura de la Región de Valparaíso.

CAPITULO II: Marco teórico

2.1 Pavimento flexible

Los pavimentos flexibles se componen de tres capas, sub-base granular, base granular y la superficie de rodadura, tal como se muestra en la figura 2.1.

La capa de rodadura, además de cumplir con su función protectora, debe ser capaz de transmitir los esfuerzos hacia las capas inferiores. Siendo la base granular la encargada de resistir los esfuerzos provocados por las cargas aplicadas en la superficie.

- **Capa superficial o superficie de rodadura:** Esta capa es la primera línea de protección contra las abrasiones por el tránsito y el clima, dado que no soporta mayores cargas externas, sino más bien es de protección para las capas estructurales inferiores. Esta capa de rodadura se puede clasificar “de acuerdo al número de aplicaciones de riegos de asfalto y árido, como tratamientos superficiales simples o múltiples y lechadas asfálticas.
- **Base:** Esta es la capa que se encuentra directamente debajo de la capa superficial y, en general, se compone de material granular (grava – arena).
- **Sub-base:** Es la capa que está bajo la capa de base y también es granular del tipo grava – arena.

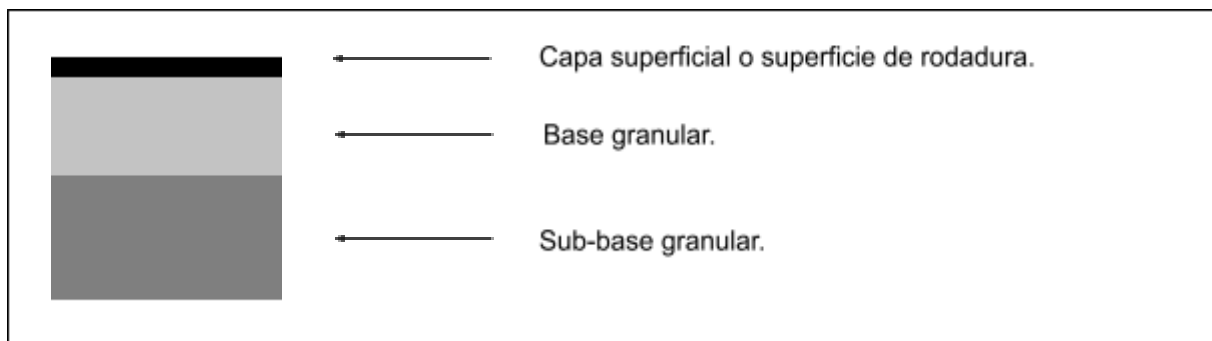


Figura 2.1.- Esquema de la estructura de un pavimento flexible.

Las especificaciones dispuestas por el Ministerio de Obras Públicas a través del Manual de Carreteras, para sub-bases y bases granulares se encuentran en el Apéndice 1.

2.2 Tratamiento superficial

Definición y Funciones

Una superficie asfáltica consiste en “sucesivas aplicaciones de asfalto recubiertas por áridos” [6], sobre una capa granular o sobre otra superficie, como por ejemplo antiguos caminos de hormigón o pavimentos asfálticos deteriorados. Para clasificarlos el Ministerio de Obras Públicas (MOP) en su Volumen N°5, destaca que “de acuerdo al número de aplicaciones de riegos de asfalto y áridos, estos reciben el nombre de tratamiento superficial simple, doble o triple” [6].

En las siguientes imágenes se aprecian esquemas de dos tipos de tratamientos superficiales.

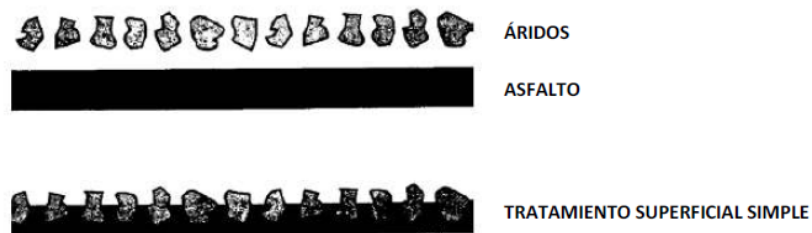


Figura 2.2.- Esquema que representa un Tratamiento Superficial Simple

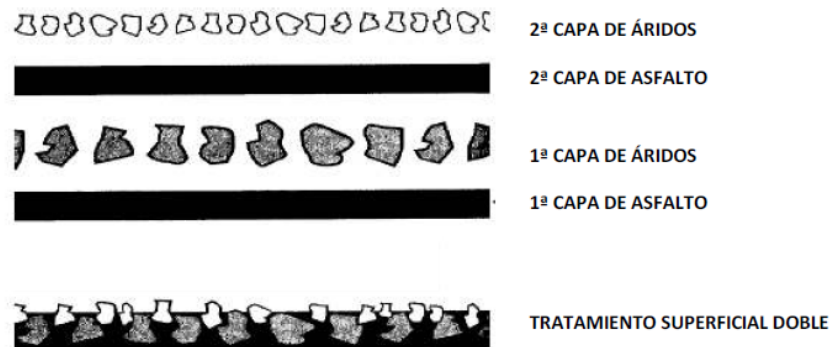


Figura 2.3.- Esquema que representa un Tratamiento Superficial Doble

Los tratamientos superficiales cumplen algunas funciones tales como:

- Proteger la estructura del camino (sub-base y base) de la acción del clima, principalmente del agua que podría filtrarse a las capas granulares debilitando su capacidad de soporte.
- Proteger la base granular de la erosión y de los esfuerzos producidos por las cargas que generan los vehículos que circulan.
- Ayudar a la conducción más segura, debido a la adherencia entre la capa de rodadura (asfalto) y los neumáticos de los vehículos.

El diseño de un tratamiento superficial doble y su posterior construcción, debe proporcionar una mayor durabilidad y resistencia de la base granular, con respecto al tratamiento superficial simple. Esto debido a que al poseer mayor cantidad de material, se aumenta la impermeabilidad y disminuyen las cargas que recaen en la base. Los tratamientos superficiales son recomendados en caminos con medias solicitaciones de tráfico y en caminos en condiciones climáticas medias a adversas.

La construcción de un tratamiento superficial

Las especificaciones técnicas generales para la construcción de un tratamiento superficial se definen en Manual de Carreteras Volumen 5 sección 5.407.

La construcción de un Tratamiento Superficial Simple (TSS) consiste en las siguientes etapas:

- i) Balizado y definición, mediante marcas o líneas visibles, del área a tratar.
- ii) Recepción de la superficie a cubrir por el TSS.
- iii) Limpieza de la superficie.
- iv) Aplicación del riego asfáltico según dosificación.
- v) Riego de los áridos según dosificación.
- vi) Rodillado del tratamiento.
- vii) Barrido y remoción de los áridos excedentes.
- viii) Puesta en servicio con control de tránsito mediante un “vehículo - guía”.

Si el tratamiento es doble se deben repetir las operaciones iii), iv), v), vi), vii) antes de viii), con las dosificaciones de la segunda aplicación.

La figura 2.4 muestra un esquema de la ejecución de un tratamiento superficial doble.

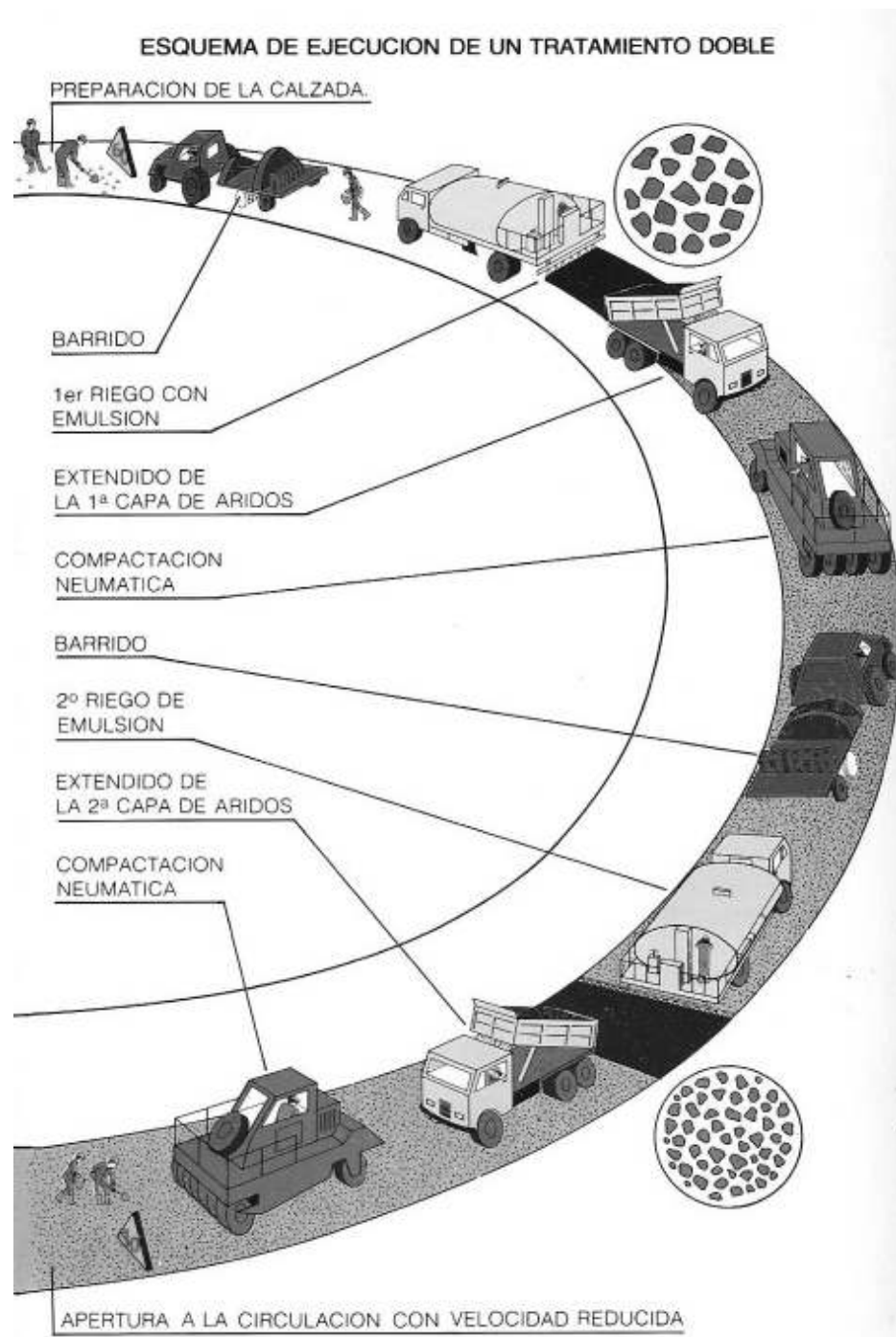


Figura 2.4.- Esquema de ejecución de un Tratamiento Superficial Doble

2.3 Permeabilidad

Un material se define permeable cuando permite el paso de fluidos a través de sus poros. En el caso de los suelos, se dice que un suelo es permeable cuando tiene la propiedad

de permitir el paso del agua a través de sus vacíos. No todos los suelos poseen la misma permeabilidad, de ahí que existe la diferencia entre suelos permeables y suelos impermeables.

En algunos casos, para facilitar el drenaje, es “conveniente tener un suelo permeable, especialmente en la construcción de las bases y sub-bases de pavimento” [5]. Es por este motivo que la relación entre la cantidad de material fino impermeable y la permeabilidad que posee la base granular, toma relevancia para la sustentabilidad de las carreteras y caminos.

El grado de permeabilidad de un suelo es medido por su “coeficiente de permeabilidad” que se identifica con la letra K. Su determinación se basa en la ley propuesta por el ingeniero francés Darcy, en el siglo XIX. Para más detalle sobre la “Ley de Darcy”, ver Anexo A.

El Ministerio de Obras Públicas (MOP), establece en el Volumen N°3, Capítulo 3.6, que para que una base sea permeable, ésta debe poseer un “coeficiente de permeabilidad” mayor que 0,01cm/seg o menos de 3% de material fino.

Los poros de los suelos no son cavidades aisladas en donde se pueda depositar el agua como si fueran cisternas, sino conductos pequeños e irregulares que están intercomunicados y por los cuales puede fluir el agua de la misma manera que lo hace en otros conductos [4].

El agua puede moverse en los suelos por “acción de la gravedad (avenamiento) y bajo un gradiente de succión (capilaridad); la velocidad del movimiento está gobernada por el tamaño y continuidad de los poros que contienen el agua, por la presión o gradiente de succión y por la viscosidad del agua. El agua sólo puede moverse a través de los conductos que están llenos de ella y no puede hacerla a través o hacia debajo de un espacio de aire, sólo podría realizar esto si estuviera a suficiente nivel hidrostático para, que mediante su peso, romper el mecanismo aire-agua que la retiene en la partícula, permitiendo el desprendimiento de una gota” [2]. Por lo tanto, el agua que se añade a la superficie de un suelo sólo puede moverse libremente por los poros gruesos.

2.3.1 Ensayos de permeabilidad

Debido a los numerosos y complejos factores que influyen en el coeficiente de permeabilidad, sólo se puede estimar la magnitud de dicho coeficiente mediante el

conocimiento de las características del suelo, obtenidas mediante ensayos. El ensayo más simple es el que se hace con el permeámetro de carga constante, se usa principalmente en arenas y gravas. Para arenas finas y limos se usa el permeámetro de carga variable. “Durante el ensayo el nivel del agua desciende en el tubo vertical y el volumen del agua que atraviesa la muestra es igual a la diferencia de volúmenes en el tubo vertical” [1]. Cuando se ensayan suelos no cohesivos de grano fino se debe tener mucho cuidado para evitar el arrastre de las partículas de suelo que pudiera producirse si el gradiente hidráulico es excesivo. “Para los suelos de arcilla se emplea indistintamente el permeámetro de carga constante o de carga variable. La cantidad de agua que pasa es tan pequeña que es necesario evitar la pérdida de agua por goteo o evaporación, que puede ser mucho mayor que la que realmente atraviesa el suelo” [3].

a) Permeámetro de carga variable

En este tipo de permeámetro se mide la cantidad de agua que atraviesa la muestra de suelo, por diferencia de niveles en un tubo alimentador.

Al ejecutar la prueba se llena de agua el tubo vertical del permeámetro, observándose su descenso a medida que el agua atraviesa la muestra [3] (ver figura 2.5).

$$K = 2,3 \frac{a^2 L}{A^2 t} \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \quad \left[\frac{cm}{s} \right] \quad \text{Ec 2.3}$$

Donde

a : área del tubo vertical de carga (cm²)

A : área de la muestra (cm²)

L : longitud de la muestra (cm)

h1 : carga hidráulica al principio de la prueba (cm)

h2 : carga hidráulica al término de la prueba (cm)

t : tiempo requerido para que la carga hidráulica pase de h1 a h2 (seg)

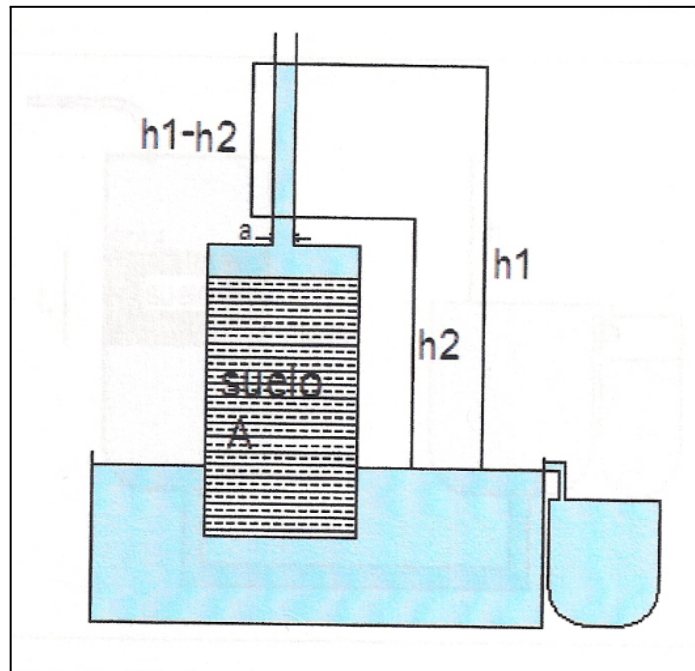


Figura 2.5.- "permeámetro de carga variable"

b) Permeámetro de carga constante

Una muestra de suelo de área transversal A y longitud L , confinada en un tubo, se somete a una carga hidráulica h . El agua fluye a través de la muestra, midiéndose la cantidad (en cm^3) que pasa en el tiempo t . Aplicando la Ley de Darcy [3] (ver figura 2.6):

$$Q' = K * A * i * t \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{seg}} \right] \quad \text{Ec 2.4}$$

Donde

- Q' : cantidad de agua que escurre en un tiempo t (cm^3/seg)
 K : coeficiente de permeabilidad (cm/seg)
 A : área perpendicular al escurrimiento (cm^2)
 i : gradiente hidráulico, h/L
 t : tiempo en el cual se realiza el análisis (seg)

Cambios de Variables

$$K = \frac{Q'}{A * t} \left[\frac{\text{cm}}{\text{s}} \right]$$

$$i = \frac{h}{L}$$

$$h = h_1 - h_2 \text{ [cm]}$$

Entonces

$$K = \frac{Q^*L}{A^*h^*t} \quad \left[\frac{\text{cm}}{\text{s}} \right] \quad \text{Ec 2.5}$$

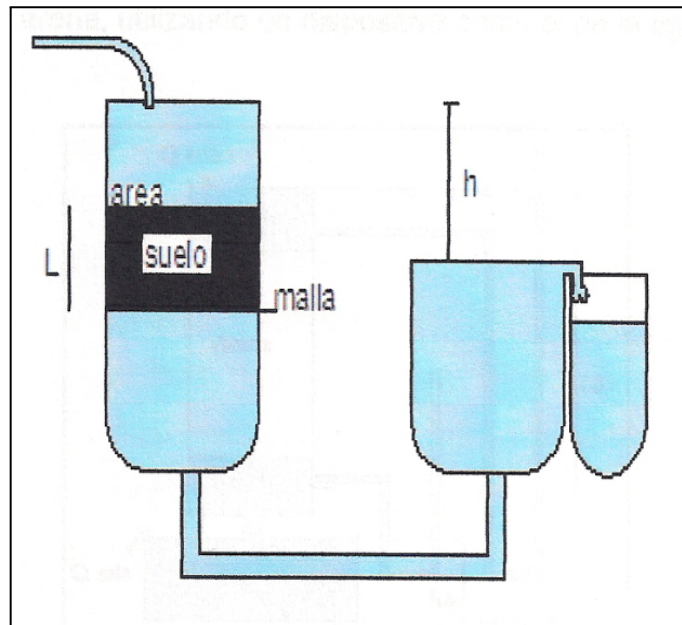


Figura 2.6.- "Permeámetro de carga constante"

Este tipo de permeámetro es aplicable para suelos con fricción, ya que en suelos poco permeables, el tiempo de prueba se hace tan largo, que deja de ser práctico, usando gradientes hidráulicos razonables.

2.3.1 Drenaje en bases granulares según meto de diseño AASHTO.

La conveniencia de drenar el agua fuera de la estructura del pavimento, ha sido un factor que siempre se ha considerado en forma preponderante en el diseño de un camino, a pesar de lo cual, normalmente las bases que se construyen no drenan bien. El exceso de agua que se origina, unido a la alta frecuencia y peso de las cargas solicitantes, llevan con frecuencia a deterioros prematuros de la estructura, por lo que el método de diseño AASHTO considera directamente los efectos del contenido de humedad en los suelos de la subrasante, bases y sub bases.

La evacuación de las aguas que alcanzan al pavimento se logra mediante tres procedimientos; drenaje superficial, sub-drenaje y drenes de pavimento, también llamados

drenaje estructural. Estos sistemas, sin embargo, sólo evacúan el agua libre, en tanto que el agua atrapada por la capilaridad, no puede ser drenada.

El método AASHTO considera los efectos del drenaje, modificando el coeficiente estructural en los pavimentos flexibles y los modelos de escalonamiento de juntas en los rígidos. En ambos casos, la calidad del drenaje, se expresa en función del tiempo que demora en drenar la estructura y el porcentaje del tiempo que ésta se encuentra sujeta a niveles de humedad cercanos a la saturación. En el caso de la rehabilitación de pavimentos, se debe averiguar si el diseño original del drenaje es adecuado, si se encuentra operando correctamente y definir los sistemas de drenaje complementarios, cuando corresponda.

Como una referencia para enmarcar las características de los sistemas de drenaje de los pavimentos que se utilizan normalmente, la Figura 2.7, muestra las permeabilidades de las bases que habitualmente se utilizan en el país y que se ajustan a los requerimientos granulométricos de la especificación 8.101.1 del Manual de Carreteras Volumen 8

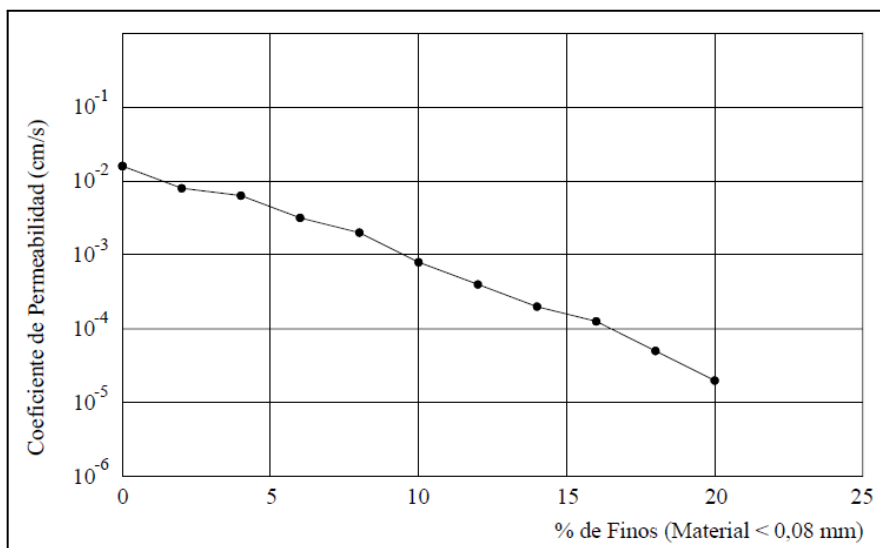


Figura 2.7.- Permeabilidades de bases y sub-bases

De acuerdo con AASHTO, la “calidad del drenaje” es función del tiempo que demora una base o sub base saturada, en evacuar el 50% del agua. Consecuentemente, la calidad del drenaje depende de factores tales como: la permeabilidad de la base, la permeabilidad del suelo de la subrasante, la existencia o no de sistemas de drenaje insertos en la base, la pendiente transversal y la distancia a que se encuentran los puntos de evacuación.

2.4 Trituración

La trituración es el proceso mediante el cual se chanca un árido hasta lograr un determinado tamaño de partícula. También es el nombre del proceso para reducir el tamaño de las partículas de una sustancia por la molienda. Además, se refiere a la producción de un material homogéneo a través de la molienda. La trituración implica sólo una transformación física de la materia sin alterar su naturaleza.

En el caso de vialidad, la trituración se produce cuando la capa protectora o capa de rodado no es lo suficientemente resistente como para soportar las cargas producidas por los vehículos y estas son traspasadas a la sub-base o base granular, produciendo una reducción en las partículas que las componen.

Es por este motivo que el Ministerio de Obras Públicas (MOP) en el Manual de Carreteras Volumen 8 sección 8.202.8, indica un método para determinar el “Índice de Trituración”, que pretende medir la resistencia a la desintegración de los áridos gruesos y finos.

En el caso de los áridos gruesos el “Índice de Trituración”, se obtiene a través de la “compresión del árido, confinado en un molde y sometido a una carga gradual de compresión” [5]. En el caso de los áridos finos, el “Índice de Trituración” se obtiene al someter el árido “a la acción de impactos repetidos, en situación de confinamiento” [5]. Estos dos tipos de carga son muy similares a los que se ve sometida una base granular cuando está en servicio.

El hecho de que exista trituración dentro de la masa de suelo, implica que su composición en el transcurso del tiempo va cambiando. Este cambio se refleja en un aumento en la cantidad de material fino, que repercute en un aumento en la densidad de la masa de suelo en el tiempo con la correspondiente pérdida de permeabilidad.

Las especificaciones del ensayo de “trituración de áridos” dispuestas por el Manual de Carreteras, se encuentran en el Apéndice 2.

CAPITULO III: DISEÑO Y RESULTADOS DE LAS EXPERIENCIAS

3.1 Definición de las variables

Los materiales utilizados fueron íntegramente obtenidos en la Región de Valparaíso y seleccionados de manera que representen las condiciones más desfavorables respecto a lo exigido en el Manual de Carreteras Volumen N°5 sección 5.302 para bases granulares de doble tratamiento superficial, de manera de validar los objetivos planteados y buscar la mejor representatividad de la realidad en terreno.

A continuación, se definen las variables medidas y analizadas en el trabajo de titulación. Se describe además la metodología utilizada, los materiales y su preparación.

Asimismo se exponen los resultados obtenidos en lo que se refiere a la caracterización de la base granular y sus diferentes porcentajes de material fino.

3.1.1 Definiciones

a) Material fino

Se define material fino como el tipo de suelo que pasa el tamiz ASTM #200 o de abertura 0,08mm según NCh165. El material fino no plástico, denominado bajo el nombre de "maicillo", se extrajo desde la cantera "Pozo Pangal" ubicado en Limache, de propiedad del MOP. Este suelo se encontraba en estado natural sin manipulación previa y libre de material orgánico.

b) Base Granular

El material base de la experiencia corresponde a la capa de material pétreo que soporta las mayores solicitaciones en un pavimento flexible cuyas exigencias se encuentran en el 8.101.1 del Manual de Carretera Volumen 8 y 5.302 del Manual de Carreteras Volumen 5. El material se obtuvo desde la Planta Tricam que obtiene este material en el río La Ligua. Es un material de origen fluvial, libre de elementos orgánicos, triturado y sin plasticidad.

c) Densidad

Se dio a cada suelo un 98% de la densidad máxima compactada seca alcanzada en el ensayo Proctor Modificado, dado que es la densidad requerida para un tratamiento superficial (5.407 del Manual de Carreteras Volumen 5)

d) Trituración

El ensayo de trituración se realizó tal como lo establece el Manual de Carreteras en su Volumen N°8. Para ello se utilizó un equipo proporcionado por el laboratorio de vialidad (MOP) en la Región de Valparaíso (ver Apéndice 2).

e) Permeabilidad

Debido a que en Chile no existe normativa para medir la permeabilidad de un suelo, se ajustó la norma ASTM 2434 para un permeámetro de carga constante.

3.2 Metodología de experiencia

Para lograr los objetivos planteados en este trabajo, fue necesario realizar los ensayos nombrados a continuación, los que se realizaron en primera instancia a la base granular patrón y posteriormente a las mezclas de material granular con material fino impermeable “maicillo”.

Ensayos:

- Granulometría (ver apéndice 3)
- Proctor modificado (ver apéndice 4)
- Capacidad de soporte (CBR) (ver apéndice 5)
- Índice de laja (ver apéndice 6)
- Índice de trituración (ver apéndice 2)
- Desgaste de los ángeles (ver apéndice 7)
- Límites de Atterberg (límite líquido - límite plástico) (ver apéndice 8 y 9)
- Permeabilidad (ver apéndice 10)

Estos experimentos fueron realizados según los especifica el Manual de Carreteras en su volumen N°8. Y son parte de los apéndices de este trabajo.

3.2.1 Caracterización de los materiales.

a) Base Granular.

Se realizaron todos los ensayos necesarios para cumplir con los requerimientos mínimos exigidos por el Manual de Carreteras para bases granulares de tratamientos superficiales dobles.

b) Material fino “Maicillo”.

Previo a ser incorporado a la base granular en los distintos porcentajes de peso seco, al material fino se le realizaron los ensayos necesarios para conocer sus propiedades.

3.2.2 Preparación del suelo a ensayar.

Con el fin de evaluar la potencial influencia del maicillo en las propiedades de las bases granulares para los tratamientos superficiales dobles, se mezcló la base granular original o base patrón con diferentes porcentajes de material fino, en las proporciones que se muestra Tabla 3.1.

Tabla 3.1.- Mezclas porcentuales de base granular y maicillo. Porcentaje de maicillo sobre el peso total de la base granular.

BP	S1	S2	S3	S4
100% base granular	95% base + 5% maicillo	90% base + 10% maicillo	85% base + 15% maicillo	100% maicillo

Fuente: Confección propia.

Para las dosificaciones realizadas, se aplicarán los mismo ensayos realizados a la base granular patrón y al material fino "maicillo".

Los resultados obtenidos en estos ensayos fueron contrastados entre si y comparados con los requerimientos mínimos presentes en el Manual de Carreteras para bases granulares a utilizar en tratamientos superficiales dobles.

3.3 Resultados de las experiencias

3.3.1 Resultados de la Base Patrón (BP), contenido 100% de base granular.

- Granulometría BP

Tabla 3.2.- Granulometría Base Patrón

ASTM Pulg.	NCh mm	Retenido		Pasa (%)
		peso (g)	(%)	
2"	50			100
1"	25	1633	7,5	93
3/4"	20	2495	11,4	81
3/8"	10	1660	7,6	57
N°4	5	2144	9,8	42
N°10	2	176,1	10,7	32
N°40	0,5	280,7	17,0	15
N°200	0,08	146,6	8,9	6

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

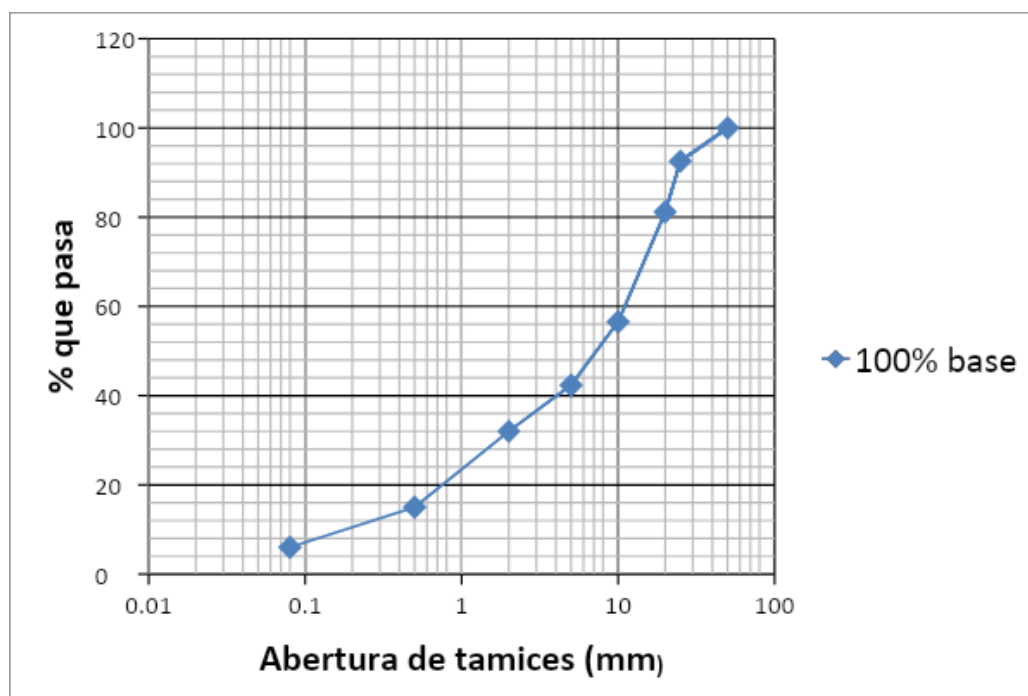


Figura 3.1.- Granulometría Base Patrón

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

Tabla 3.3.- Resultados obtenidos para suelo BP

Índice de laja	Chancado (%)	73
	Rodado (%)	27
	Laja (%)	2
Proctor modificado	DMCS (kg/m ³)	2,244
	H. Op	7,00
Capacidad de soporte	CBR (%)	133
Índice trituración grueso total	ITt (%)	24
Índice trituración fino total	ITt (%)	7
Permeabilidad	K Promedio (cm/seg)	1,19E-02
	K20 (cm/seg)	1,24E-02
Límite líquido	L.L	22
Límite plástico	L.P	-
Índice de plasticidad	I.P	N.P
Libre de materia orgánica		SI
Desgaste de Los Ángeles (%)		18

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

3.3.2 Resultados del material fino S4, contenido 100% "maicillo".

- Granulometría S4

Tabla 3.4.- Granulometría S4

ASTM Pulg.	NCh mm	Retenido		Pasa (%)
		peso (g)	(%)	
2"	50,00			100,00
1"	25,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	20,00	14,00	0,29	99,71
3/8"	10,00	2,00	0,04	99,67
N°4	5,00	6,00	0,12	99,55
N°10	2,00	124,60	23,21	76,34
N°40	0,50	210,80	39,27	37,08
N°200	0,08	115,60	21,53	15,54

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

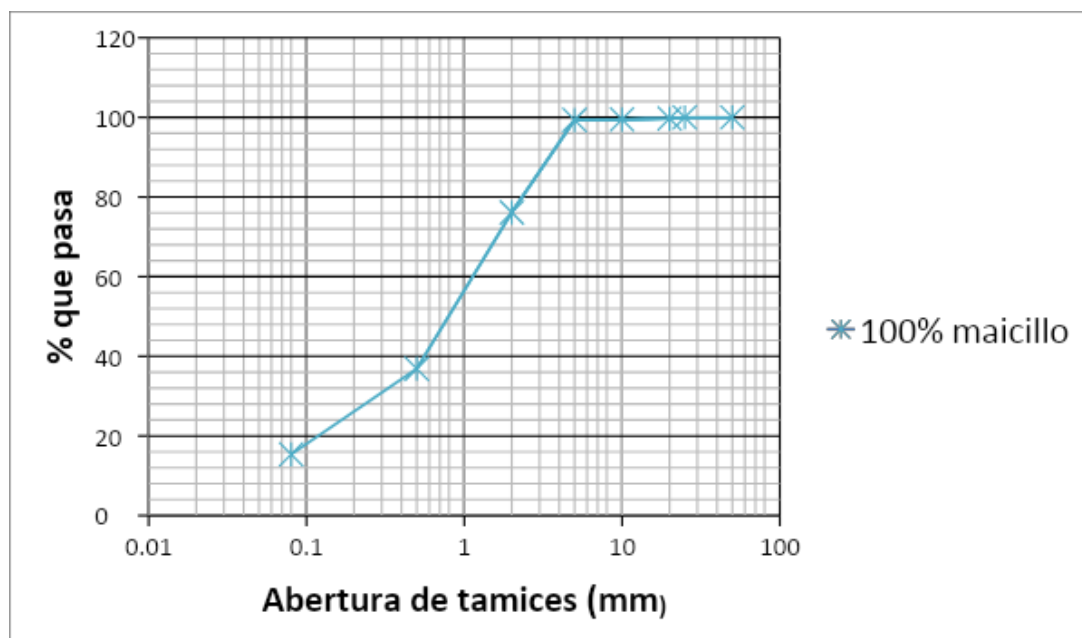


Figura 3.2.- Granulometría S4

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

Tabla 3.5.- Resultados obtenidos para suelo S4

Índice de laja	Chancado (%)	0
	Rodado (%)	0
	Laja (%)	0
Proctor modificado	DMCS (kg/m ³)	2,036
	H. Op	9,50
Capacidad de soporte	CBR (%)	41
Índice trituración grueso total	ITt (%)	-
Índice trituración fino total	ITt (%)	16
Permeabilidad	K Promedio (cm/seg)	-
	K20 (cm/seg)	-
Limite liquido	L.L	30
Limite plástico	L.P	-
Índice de plasticidad	I.P	N.P
Libre de materia orgánica		SI
Desgaste de Los Ángeles (%)		-

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

3.3.3 Resultados suelo S1, contenido, 95% de base granular y 5% de material fino.

- Granulometría S1

Tabla 3.6.- Granulometría S1

ASTM Pulg.	NCh mm	Retenido		Pasa (%)
		peso (g)	(%)	
2"	50			100,00
1"	25	1133	5,8	94,25
3/4"	20	2553	13,0	81,28
3/8"	10	4077	20,7	60,58
N°4	5	2550	12,9	47,63
N°10	2	166	12,1	35,52
N°40	0,5	266	19,4	16,12
N°200	0,08	134,5	9,8	6,31

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

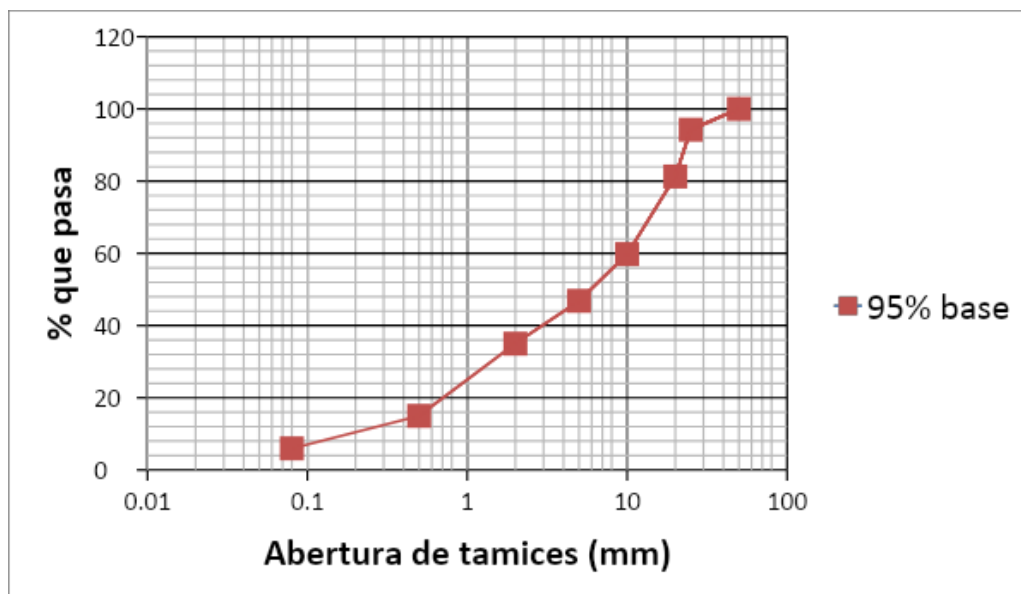


Figura 3.3.- Granulometría S1

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

Tabla 3.7.- Resultados obtenidos para suelo S1

Índice de laja	Chancado (%)	72
	Rodado (%)	25
	Laja (%)	3
Proctor modificado	DMCS (kg/m ³)	2,280
	H. Op	7,50
Capacidad de soporte	CBR (%)	118
Índice trituración grueso total	ITt (%)	24
Índice trituración fino total	ITt (%)	7
Permeabilidad	K Promedio (cm/seg)	1,07E-02
	K20 (cm/seg)	1,09E-02
Limite líquido	L.L	24
Limite plástico	L.P	-
Índice de plasticidad	I.P	N.P
Libre de materia orgánica		SI
Desgaste de Los Ángeles (%)		18

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

3.3.4 Resultados suelo S2, contenido, 90% de base granular y 10% de material fino.

- Granulometría S2

Tabla 3.8.- Granulometría S2

ASTM Pulg.	NCh mm	Retenido		Pasa (%)
		peso (g)	(%)	
2"	50			100,00
1"	25	824	4,2	95,81
3/4"	20	2571	13,1	82,76
3/8"	10	4814	24,5	58,31
N°4	5	2656	13,5	44,82
N°10	2	207,1	13,8	31,06
N°40	0,5	269,8	17,9	13,15
N°200	0,08	125,8	8,4	4,79

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

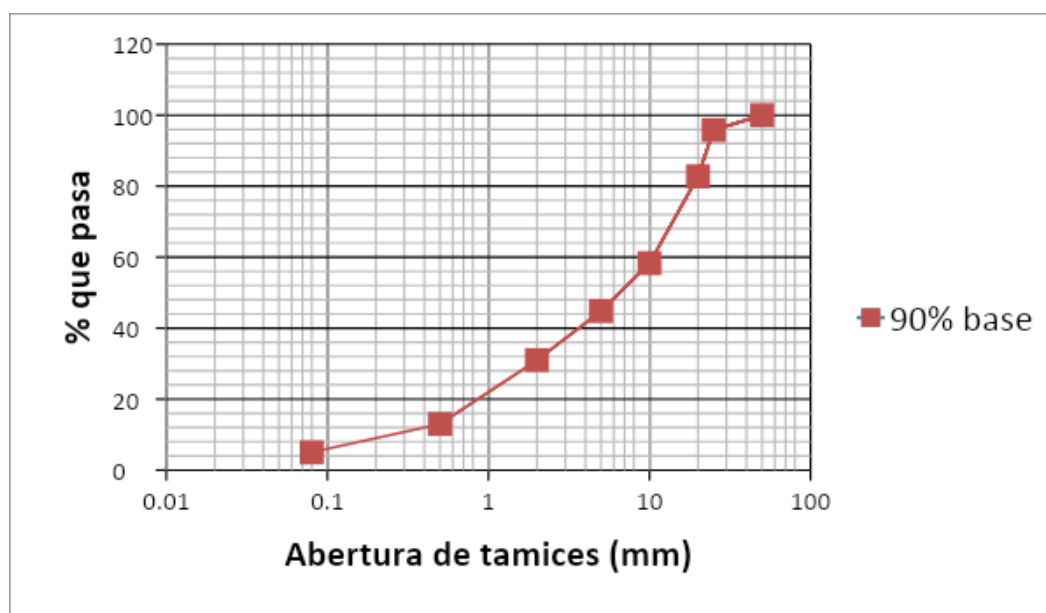


Figura 3.4.- Granulometría S2

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

Tabla 3.9.- Resultados obtenidos para suelo S2

Índice de laja	Chancado (%)	72
	Rodado (%)	26
	Laja (%)	2
Proctor modificado	DMCS (kg/m ³)	2,292
	H. Op	8,00
Capacidad de soporte	CBR (%)	105
Índice trituración grueso total	ITt (%)	24
Índice trituración fino total	ITt (%)	8
Permeabilidad	K Promedio (cm/seg)	9,78E-02
	K20 (cm/seg)	9,83E-02
Limite líquido	L.L	24
Limite plástico	L.P	-
Índice de plasticidad	I.P	N.P
Libre de materia orgánica		SI
Desgaste de Los Ángeles (%)		18

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

3.3.5 Resultados suelo S3, contenido, 85% de base granular y 15% de material fino.

- Granulometría S3

Tabla 3.10.- Granulometría S3

ASTM Pulg.	NCh mm	Retenido		Pasa (%)
		peso (g)	(%)	
2"	50			100,00
1"	25	875	4,5	95,54
3/4"	20	2827	14,4	81,13
3/8"	10	4029	20,5	60,59
N°4	5	2314	11,8	48,80
N°10	2	134,6	9,4	39,38
N°40	0,5	289,3	20,2	19,15
N°200	0,08	174,7	12,2	6,94

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

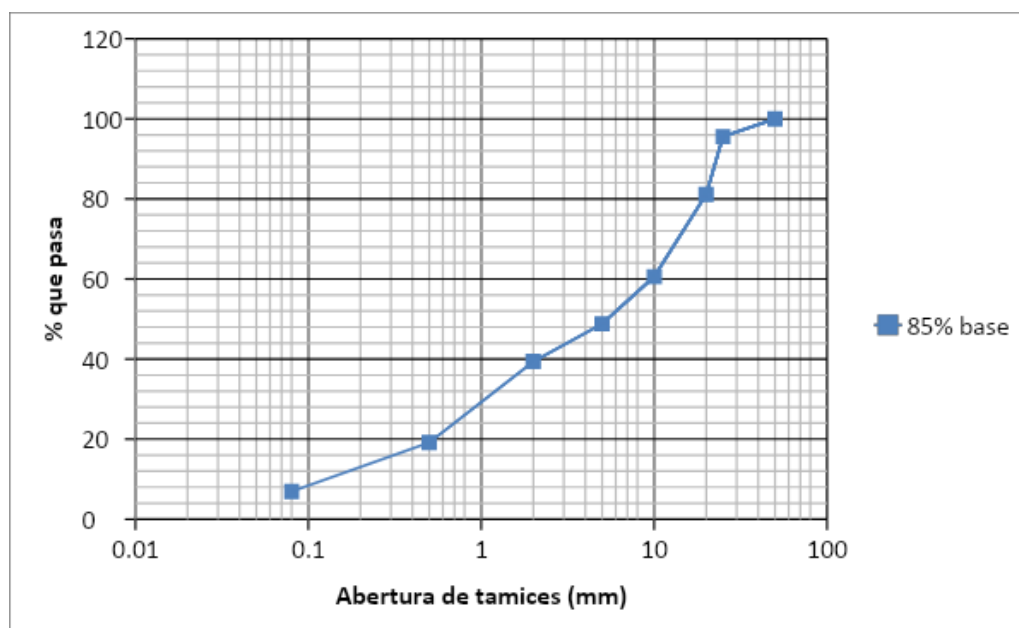


Figura 3.5.- Granulometría S3

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

Tabla 3.11.- Resultados obtenidos para suelo S3

Índice de laja	Chancado (%)	74
	Rodado (%)	24
	Laja (%)	3
Proctor modificado	DMCS (kg/m ³)	2,368
	H. Op	8,90
Capacidad de soporte	CBR (%)	94
Índice trituración grueso total	ITt (%)	24
Índice trituración fino total	ITt (%)	9
Permeabilidad	K Promedio (cm/seg)	7,14E-02
	K20 (cm/seg)	7,94E-02
Limite líquido	L.L	26
Limite plástico	L.P	-
Índice de plasticidad	I.P	N.P
Libre de materia orgánica		SI
Desgaste de Los Ángeles (%)		18

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

En el Anexo B podremos encontrar en su totalidad el desarrollo de las experiencias con las tablas y gráficos, para cada combinación de material.

Tabla 3.12

	Pulg.	mm	100% base	95% base	90% base	85% base	100% maicillo	TM-50b		TM-50c		TM-25	
Granulometría	2"	50	100	100	100	100	100	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	100
	1"	25	93	94	96	96	100	55	85	70	10 0	10 0	100
	3/4"	20	81	81	83	81	100	45	75	60	90	70	100
	3/8"	10	57	60	58	61	99	35	65	40	75	50	80
	N°4	5	42	47	45	49	99	25	55	30	60	35	65
	N°10	2	32	35	31	39	76	15	45	15	45	25	50
	N°40	0,5	15	15	13	19	37	5	25	10	30	10	30
	N°200	0,08	6	6	5	7	15	0	10	0	15	0	15
Índice de laja	Chancado (%)		73	72	72	74	0						
	Rodado (%)		27	25	26	24	0						
	Laja (%)		2	3	2	3	0						
Proctor modificado	DMCS (kg/m³)		2,244	2,280	2,292	2,368	2,036						
	H. Op		7,00	7,50	8,00	8,90	9,50						
Capacidad de soporte	CBR (%)		133	118	105	94	41						
Índice trituración grueso total	ITt (%)		24	24	24	24	-						
Índice trituración fino total	ITt (%)		7	7	8	9	16						
Permeabilidad	K Promedio (cm/seg)		1,19E-02	1,07E-02	9,78E-03	7,14E-03	-						
	K20 (cm/seg)		1,24E-02	1,09E-02	9,83E-03	7,94E-03	-						
Limite liquido	L.L		22	24	24	26	30						
Limite plástico	L.P		-	-	-	-	-						
Índice de plasticidad	I.P		N.P	N.P	N.P	N.P	N.P						
Libre de materia orgánica			SI	SI	SI	SI	SI						
Desgaste de Los Ángeles (%)			18	18	18	18	-						

Resumen de los resultados obtenido en laboratorio

CAPITULO IV: ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 Comparación de resultados obtenidos con respecto a especificaciones del Manual de Carreteras.

Las tablas 4.1 y 4.2 muestran los requisitos generales y los requisitos para materiales de base para tratamiento superficial doble, presentes en el Manual de Carreteras. En las mismas tablas se indica el cumplimiento (“ok”) o no cumplimiento (“NO”) de estos requisitos para las distintas combinaciones de base granular y material fino, consideradas en este trabajo y específicas en el Capítulo III.

Tabla 4.1.- Requisitos generales y la evaluación con la respectiva mezcla de material

Requisitos Generales	100%	95%	90%	85%
Densidades entre 2,000 y 3,000 kg/m ³	ok	ok	ok	ok
Fracción que pasa por 0,08mm < 2/3 de la fracción que pasa por 0,5 mm	ok	ok	ok	ok
Libre de material orgánico y terrones de arcilla	ok	ok	ok	ok

Fuente: Confección propia.

Tabla 4.2.- Requisitos para material de base para tratamiento superficial doble y la evaluación con la respectiva mezcla de material

Requisitos para material de base para tratamiento superficial doble	100%	95%	90%	85%
Cumplir con los requisitos generales	ok	ok	ok	ok
Graduación TM-50b, TM-50c o TM-25	ok	ok	ok	ok
CBR \geq 100 (%)	ok	ok	ok	NO
Desgaste de los Ángeles \leq 35%	ok	ok	ok	ok
Límite líquido base (máx. 25)	ok	ok	ok	ok
Índice de plasticidad base (4%)	ok	ok	ok	ok
Material chancado > 70%	ok	ok	ok	ok
Tamaño máximo absoluto 40 mm	ok	ok	ok	ok

Fuente: Confección propia.

Tal como se aprecia en la tabla 4.2, la combinación de un 85% de base granular y un 15% de material fino “maicillo” no cumple con los requisitos del Manual de Carreteras dado que de acuerdo a la tabla 3.12 la capacidad de soporte corresponde a un CBR igual a 94%. Como primera condición la mezcla de material fino impermeable, no puede ser superior a un 10%.

Cabe destacar dentro de los requisitos para material de base para tratamiento superficial doble, la granulometría como se muestra en la tabla 4.2 donde se ve que se permite la utilización de tres tipos de banda granulométrica, la TM-50b, TM-50c o la TM-25, de las cuales solo la TM-50c cumple con las mezclas realizadas como se muestra en la figura 4.2, a diferencia de la TM-50b y la TM-25, donde el material queda fuera de la banda granulométrica como se aprecia en las figuras 4.1 y 4.3 respectivamente. Se debe considerar que la mezcla no cumple en el tramo grueso de la banda granulométrica y no por la incorporación de material fino, por lo que al cambiar la base, si se podrían fabricar material de base para tratamiento superficial doble con maicillo, sin el perjuicio de ninguna de las tres banda granulométrica.

Esto deja ver que el Manual de Carreteras, da un amplio espectro en sus recomendaciones lo que permite la incorporación y la utilización de mezclas de materiales como las de este trabajo.

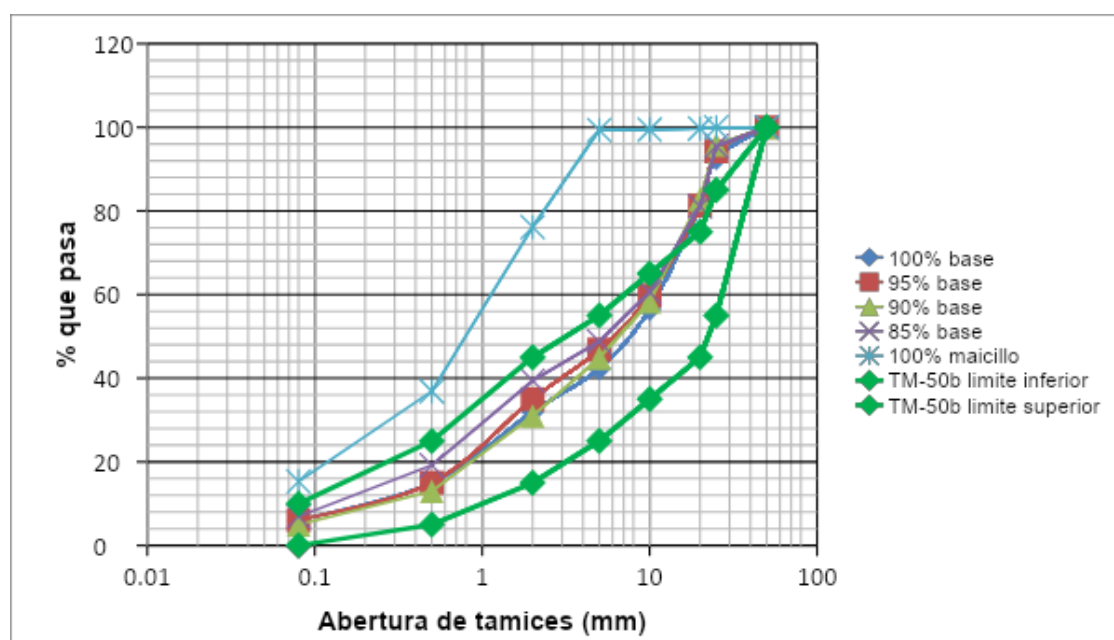


Figura 4.1.- Granulometría comparativa con banda TM-50b
Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

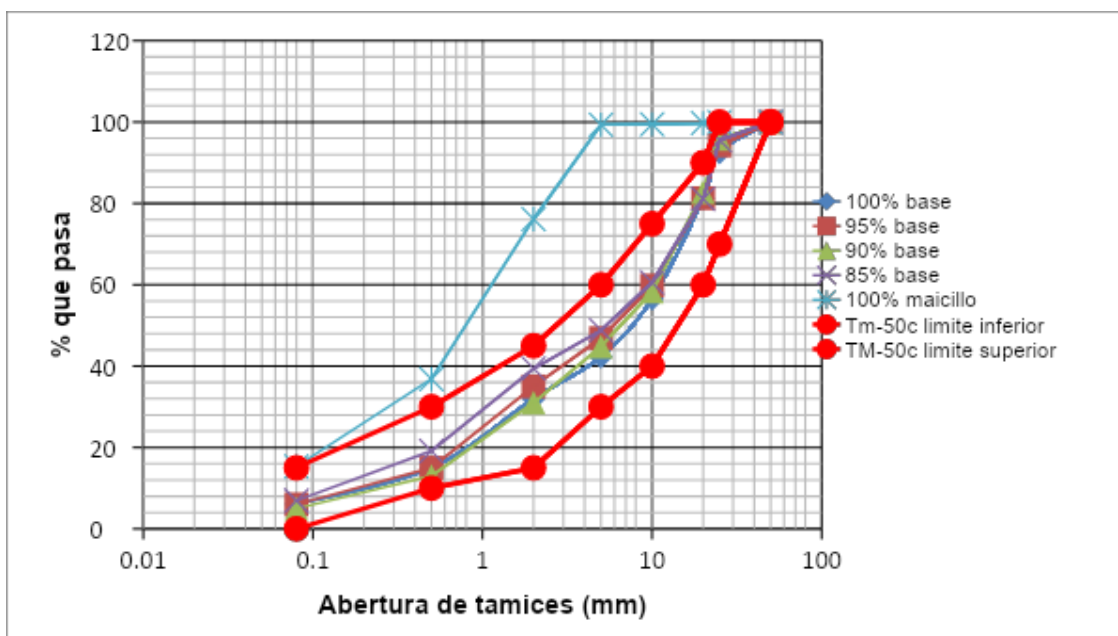


Figura 4.2.- Granulometría comparativa con banda TM-50c

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

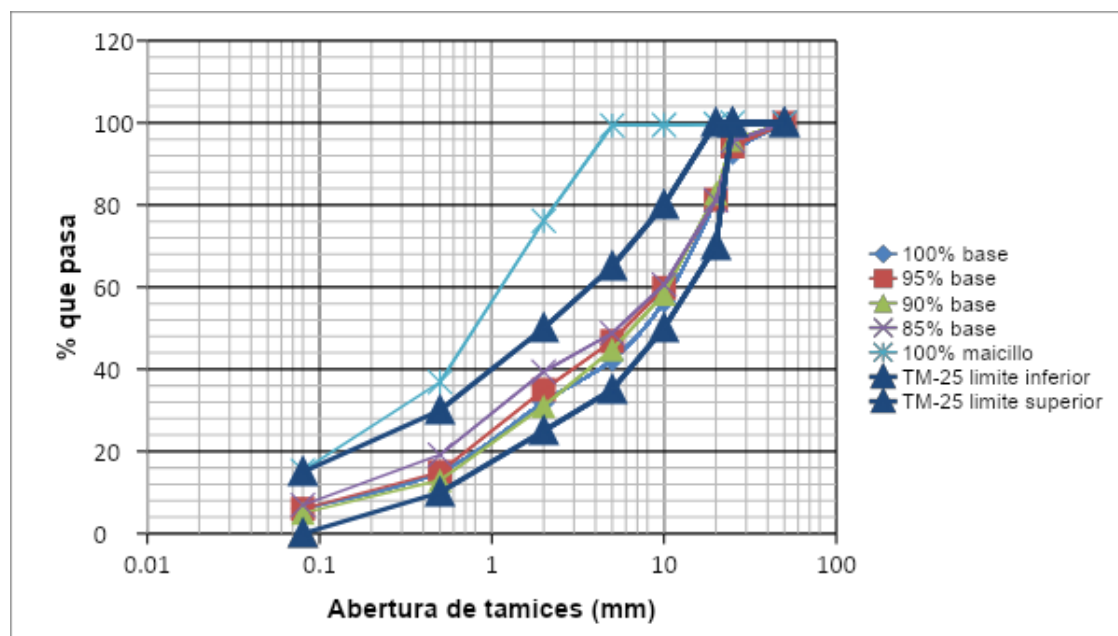


Figura 4.3.- Granulometría comparativa con banda TM-25

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

A continuación se muestra el análisis y los resultados obtenidos para los diferentes parámetros medidos a los distintos materiales del estudio.

4.2 Índice de laja

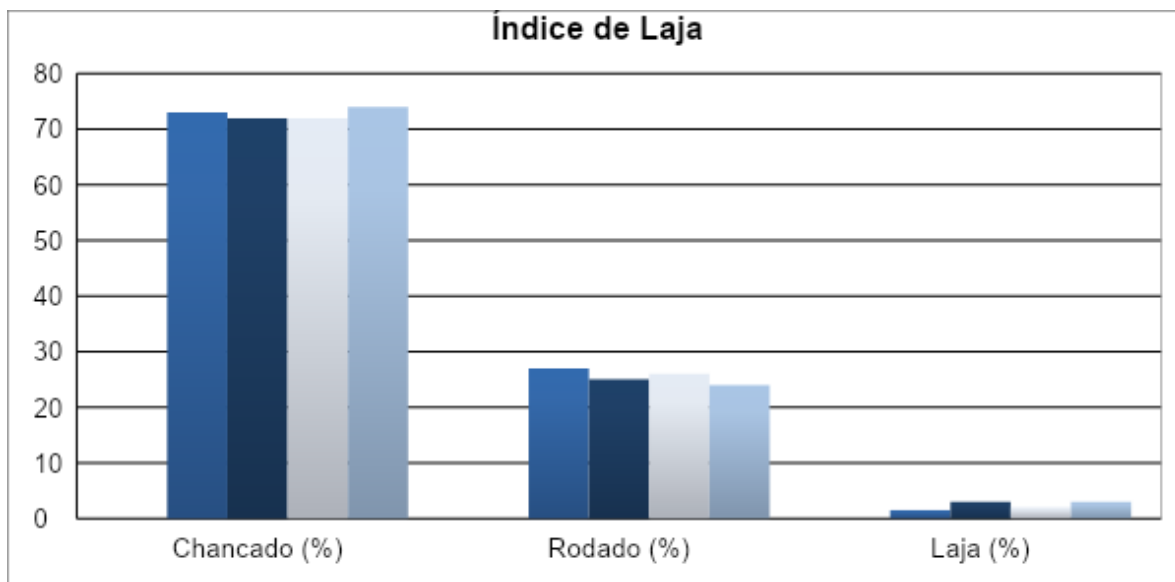


Figura 4.4.- Resumen índice de laja

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

El índice de laja, no logra darnos mayor información relevante. Esto se debe a que se realiza sólo al material grueso, por lo que sólo sirve como un parámetro comparativo entre las distintas mezclas que se realizaron en laboratorio y así permite saber si estas tienen la misma proporción de material chancado, rodado y laja.

Como se logra apreciar en la figura 4.4, se observa cuenta que las distintas combinaciones mantiene la proporcionalidad de material.

4.3 Densidad máxima compactada seca (DMCS)

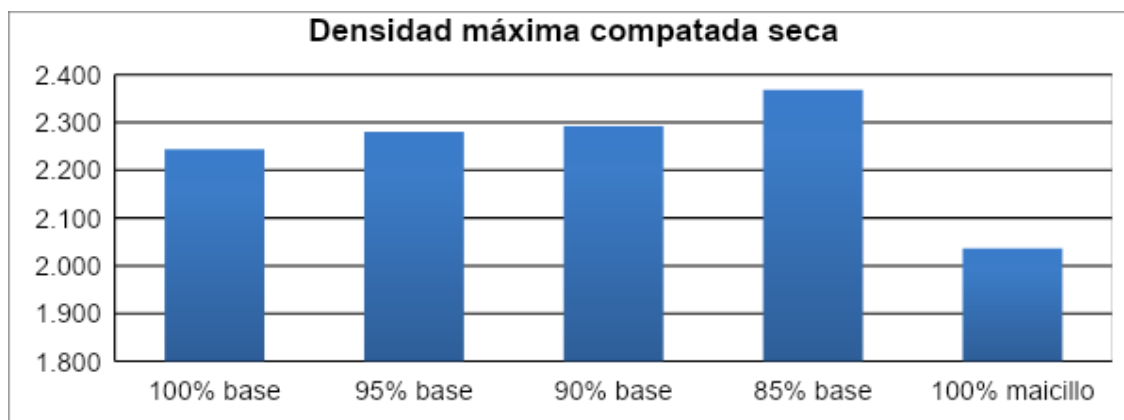


Figura 4.5.1.- Resumen Proctor modificado

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

Como se aprecia en la figura 4.5.1, a medida que aumenta la cantidad de árido fino, la densidad va aumentando, lo que en verdad no es muy significativo, ya que una base con 15% de material fino "maicillo", solo aumenta en un 5,5% la DMCS, con respecto a una base granular pura sin material fino.

Este aumento en la densidad, se debe a que con mayor porcentaje de material fino se ocupan de mejor manera los espacios de aire en la mezcla de material, aumentando así su densidad hasta un punto donde la densidad de partículas sólidas del maicillo (claramente más baja que la de la piedra sana del árido fluvial de La Ligua) influye negativamente en la densidad de la mezcla, base inerte más maicillo.

Si bien en terreno se busca alcanzar altos niveles de compactación, comprimir el suelo más allá de lo necesario para lograr la resistencia solicitada por el proyectista, disminuye la capacidad de deformación de la Base e, implica restarle capacidad drenante; esto se ratificará cuando analicemos la figura 4.10 de permeabilidad.

4.4 Humedad óptima

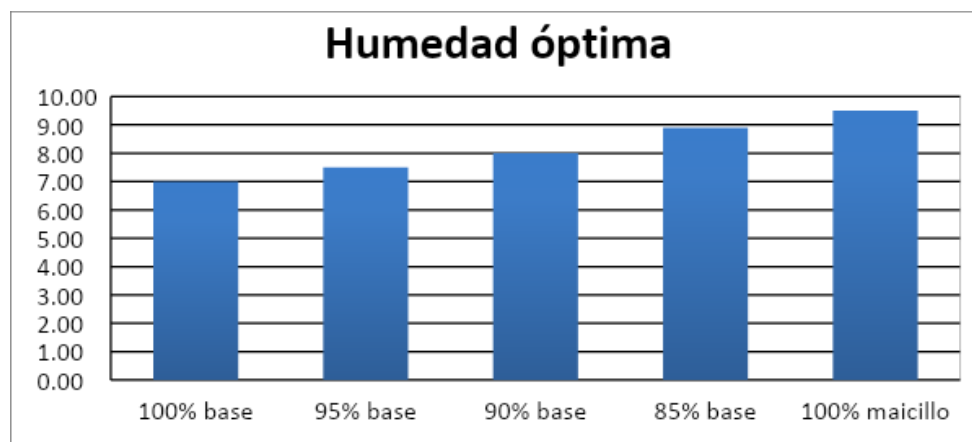


Figura 4.5.2.- Resumen Proctor modificado

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

La figura 4.5.2, que representa la humedad óptima, deja ver que a mayor cantidad de material fino, se necesita una mayor cantidad de agua para llegar a esta, lo cual significa un incremento en los gastos constructivos, al necesitar mayor recurso hídrico.

4.5 Capacidad de soporte (CBR)

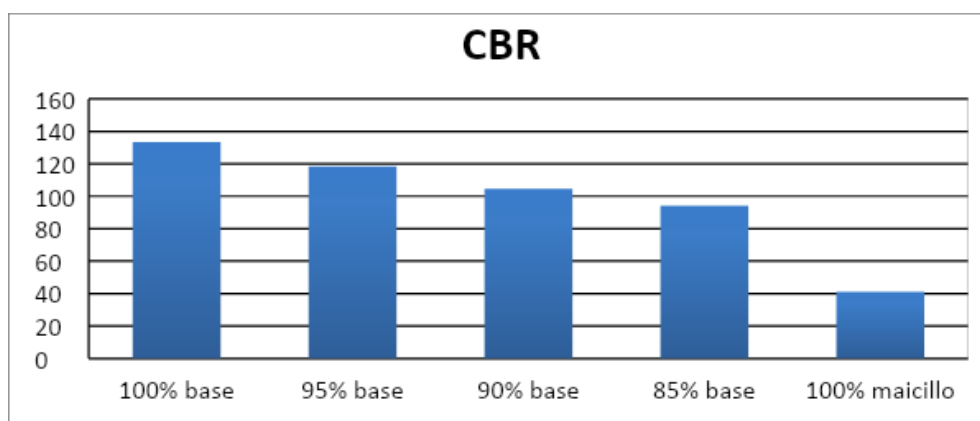


Figura 4.6.- Resumen capacidad de soporte

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

En cuanto a la capacidad de soporte, tal como muestra la figura 4.6, se observa una relación inversamente proporcional, dado que al agregar mayor cantidad de fino menor es la capacidad de soporte, siendo está más notoria al tener un 15% de material fino, donde se ve una pérdida de un 29,3% de capacidad de soporte. A consecuencia de esta pérdida de CBR, el

Manual de Carreteras con sus parámetros y especificaciones no permite la utilización de esta mezcla como material de base para tratamientos superficiales dobles ya que no cumple con el CBR igual o superior a 100% como se especifica.

4.6 Índice de trituración fino

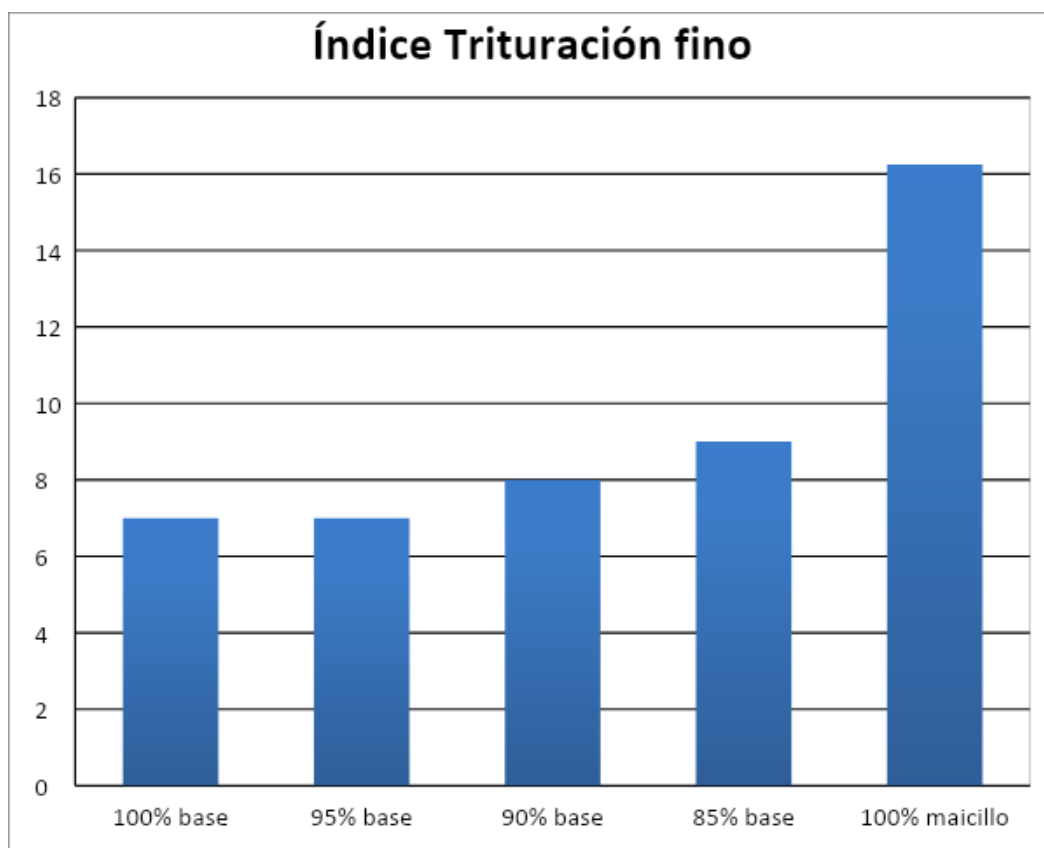


Figura 4.7.- Resumen índice de trituración de finos total

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

En este ensayo logramos apreciar que a medida que el material fino incrementa en proporción a la base, aumenta el porcentaje de trituración de material. Esto se debe a que el material fino "maicillo" es un material que se encuentra en estado de meteorización, y que al verse sometido a cargas éste se tritura con mayor facilidad que un material de base granular, esto se aprecia al comparar el 100% base patrón que posee un 7% de trituración con el 100% maicillo que posee un notorio 16% de trituración. Si bien el índice de trituración de fino, no aumento más que en 2 puntos porcentuales al pasar de 0 a 15% de "maicillo", esto denota un aumento en la cantidad material fino dentro de la base, lo que lleva, a un aumento en la

densidad, como se logra ver en la figura 4.5.1 y por consiguiente una pérdida en la permeabilidad.

4.7 Índice de trituración de gruesos v/s Desgaste de Los Ángeles

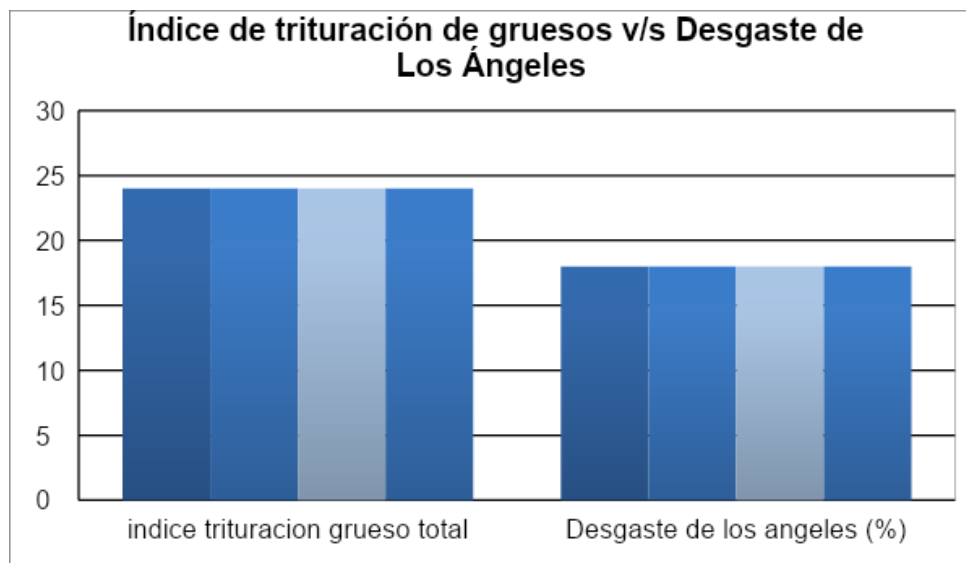


Figura 4.8.- Resumen comparativo entre los distintos ensayos de desgaste.

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

Como se puede observar en la figura 4.8, en donde se comparan los ensayos de “Índice de Trituración de gruesos” versus el “Desgaste de Los Ángeles”, el primero da una evaluación más exacta del desgaste del material grueso, debido a que el material se ve sometido a una compresión constante en donde las partículas de árido se desgastan a medida que se van acomodando, a diferencia del desgaste de los ángeles en el cual, las partículas chocan contra bolas de acero, lo cual no ocurre en las bases granulares, las que se ven sometidas a una abrasión más semejante a la del ensayo de trituración.

4.8 Límite Líquido

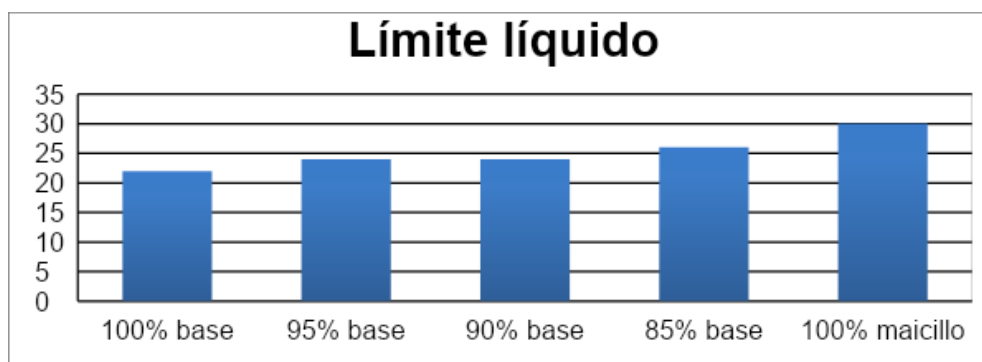


Figura 4.9.- Resumen limite líquido

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

Con la figura 4.9 del límite líquido, se confirma que la humedad retenida por el suelo se ve aumentada a medida que se incrementa la cantidad de material fino en la mezcla, al igual que se observó en la figura 7.5.2 de la humedad óptima.

4.9 Permeabilidad

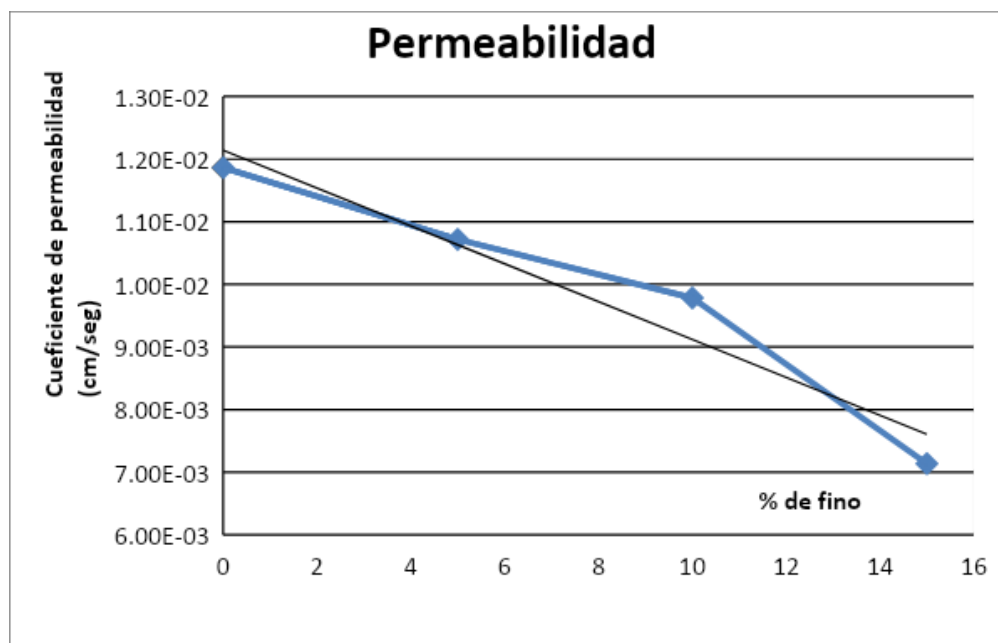


Figura 4.10.- Permeabilidad promedio

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

Se puede observar en la figura 4.10 que la permeabilidad de la Base Granular disminuye en la medida que crece el porcentaje de material fino "maicillo" incorporado, aunque en apariencia no es significativo ya que es sólo un 15% adicional de fino, sin embargo la capacidad drenante disminuye en un 60%.

Esta disminución se debe a que aumenta la densidad de la base haciéndola cada vez más impermeable, como se mencionó en el análisis de la figura 4.5.1 de la densidad máxima compactada seca, en el cual se apreció que a medida que se aumentaba la cantidad de material fino, era mayor la densidad.

Para hacer una evaluación de que tan importante es esta disminución en la permeabilidad se hará referencia a la recomendación del Manual de Carreteras, Volumen 3,

Capítulo 3.6, en donde se establece que **una base permeable es aquella que posee un coeficiente de permeabilidad $K > 0,01$ cm/s**. Por consiguiente, para cumplir con este parámetro sólo es posible utilizar la Base Granular en estado puro o con hasta un 5% de material fino.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

Con respecto a los objetivos planteado en este trabajo, se concluyen lo siguiente:

Existe una relación entre el “Método para determinar el Índice de Trituración” y la permeabilidad de una base granular para tratamientos superficiales dobles. Si tiene relación, dado que a medida que aumenta el “Índice de Trituración de fino”, disminuye la permeabilidad. Por lo que se obtiene una relación inversamente proporcional.

Un “índice de trituración de fino” igual a un 7% conlleva a que la permeabilidad obtenida sea igual o superior a un 0,01 cm/seg, que es la permeabilidad indicada por el Manual de Carreteras para que la base granular sea clasificada como una base granular permeable.

Queda demostrado que el límite superior de 7% de Trituración de fino, corresponde una mezcla de 5% de material fino tipo maicillo que es el máximo aceptado para lograr una permeabilidad mínima de 0,01 cm/seg.

El ensayo para obtener el “Índice de trituración de fino”, es ejecutable en obra, dado que requiere de un equipo de fácil transporte y utilización, no requiere energía eléctrica y además el resultado se obtiene en un corto plazo a diferencia del ensayo de permeabilidad que es más lento y de mayor costo.

Fuera de los objetivos planteados se logró demostrar que el ensayo para obtener el “Índice de trituración de gruesos” es más representativo de lo que ocurre al interior de una base granular (como fue explicado en el punto 4.7), comparándolo con el ensayo “Desgaste de Los Ángeles”, actual requisito de aceptación para bases granulares de tratamientos superficiales dobles, según 5.302 del Manual de Carretera Volumen 5.

A las propiedades ya exigidas por el Manual de Carreteras para las bases granulares de tratamientos superficiales dobles, se propone agregar, que el “Índice de trituración de fino” sea igual o menor que un 7% y que el ensayo “Desgaste de Los Ángeles” sea reemplazado por el de “Índice de trituración de gruesos”, asegurando así bases granulares con permeabilidades superiores a 0,01 cm/seg.

CAPITULO VI: BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- [1] T. William Lambe, Robert V. Whitman (1998) - Mecánica de suelos. Editorial Limusa, México
- [2] Eulalio Juárez Badillo, Alfonso Rico Rodríguez (1972) - Flujo de agua en suelos. Editorial Limusa, México.
- [3] Eulalio Juarez Badillo (1975) - Mecanica de suelos tomo 3: flujo de agua en suelos. Editorial Limusa, México.
- [4] Carlos Crespo Villalaz (2004) - Mecánica de suelos y cimentaciones. Editorial Limusa, México.
- [5] Alfonso Rico Rodríguez, Hermilo del Castillo (2006) - La ingeniería de suelos en las vías terrestres, volumen 1: carreteras, ferrocarriles y aeropistas. Editorial Limusa, México.
- [6] Dirección de Vialidad (2010) - Manual de carreteras, volumen 5 y 8. Editorial Subdirección de Desarrollo de la dirección de Vialidad, MOP, Chile
- [7] Benjamín Subercaseaux (2005) - Chile o una loca geografía. Editorial Universitaria, Chile.
- [8] M. Troncoso (2008) - Potencial influencia del material maicillo en la permeabilidad de bases granulares. Trabajo de título, Chile.