

1.1 MARCO TEÓRICO

El presente trabajo tiene una aplicación práctica, la cual nace de una necesidad común en la construcción de carreteras.

1.1.1 CONCEPTOS GENERALES

En la actualidad el transporte por carretera, tanto de pasajeros como de carga es el modo predominante dentro de nuestro país, las actividades de transporte por carretera tienen consecuencias para el desarrollo económico y calidad de vida de todos los ciudadanos.

Para mantener la red vial en condiciones de hacer frente a las demandas, son necesarias grandes inversiones tanto en la conservación de la infraestructura existente, como en la construcción de nuevas carreteras.

Para que la circulación resulte cómoda es necesario disponer de una capa de rodadura que reúna las condiciones adecuadas durante todo el año, especialmente en la estación de lluvias, tiempo en el cual resulta más peligroso el transporte por carretera.

Los problemas más frecuentes en tiempos de lluvia que se producen son la pérdida de adherencia entre el neumático y el pavimento, la disminución de visibilidad del conductor, ambos provocados como consecuencia de la capa de agua que queda en la superficie de rodadura. La pérdida de adherencia deja al conductor con poco control de su vehículo impidiéndole maniobrar en forma segura, si a esto le agregamos el agua que proyectan los vehículos a su paso y la neblina que se forma en la parte de atrás de los vehículos de gran tamaño hacen de la conducción en días lluviosos una actividad poco confortable e insegura. Han ocurrido muchos accidentes de tránsito provocados por los diferentes problemas ya mencionados predominantes en épocas de lluvia.

Para evitar estos problemas se necesita que el agua que cae en la superficie, sea evacuada rápidamente con el uso de las mezclas drenantes.

Las mezclas asfálticas drenantes son aquellas mezclas asfálticas cuyo porcentaje de vacíos es lo suficientemente alto para permitir que a través de ellos filtre el agua con rapidéz y pueda ser evacuada hacia las bermas, cunetas u otros elementos de drenaje, evitando así su permanencia en la superficie de la vía (capa de rodadura), incluso bajo precipitaciones intensas y prolongadas.

Para que una mezcla pueda considerarse como drenante debe tener un contenido inicial de vacíos del 16% al 25%, el cual permite una permeabilidad adecuada en este tipo de mezclas. Este elevado porcentaje de huecos se logra mediante el uso de una granulometría especial, con un alto porcentaje de áridos gruesos.

El diseño de las Mezclas Drenantes o Porosas se establece como un compromiso entre su porosidad y su resistencia al desgaste. El equilibrio de estas propiedades trae como consecuencia una mezcla óptima, ya que al ser éstas contrapuestas el aumento de la porosidad suele inducir una disminución de la resistencia al desgaste. Esta última es necesaria para que la capa no se desintegre y pueda responder satisfactoriamente a las necesidades del tránsito.

Las capas de mezclas drenantes exponen a la película de ligante que rodea a los agregados a la acción de los rayos ultravioletas, catalizador de la oxidación y la humedad. Resulta crítico que la película de ligante tenga suficiente espesor para resistir estos efectos. Cuando se busca extender el período de vida, se lo hace con mayor espesor de película asfáltica. Es aquí donde los asfaltos modificados encuentran su aplicación sumando la adición de filler (generalmente cal) mejorando la cohesión y durabilidad de la mezcla, contribuyendo a reducir significativamente la tendencia al escurrimiento en comparación con los asfaltos convencionales.

La elección del tema a estudio se ha basado en la necesidad de comprobar las virtudes del método y difundir a nivel nacional e internacional las ventajas que él ofrece, habiendo sido ya comprobado en otros países. Adicionalmente se desea ofrecer una alternativa segura, rápida y efectiva a toda la comunidad relacionada con el tema.

Este método el Cántabro que por su sencillez y efectividad puede ser ejecutado de manera rápida y confiable permite establecer cuál es el porcentaje de cemento asfáltico que funciona mejor con un pétreo dado.

1.2 MARCO CONCEPTUAL

Se utilizan para el presente trabajo, Normas Bolivianas para la construcción de carreteras, publicadas en la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).

Además de otras normas Internacionales que se apliquen dentro de nuestro territorio.

1.3 MARCO INSTITUCIONAL

La Empresa Constructora Consorcio “ANDALUZ.”, Institución encargada de los trabajos de Conservación Vial del Tramo Tarija-Bermejo, que abarca el sector del Tramo (Emborozú-Limal)

1.4 MARCO METODOLÓGICO

1.4.1 PROBLEMA

¿Cuál sería la estrategia metodológica para determinar el porcentaje óptimo de Cemento asfáltico en una mezcla drenante, considerando los procesos de dosificación y control de mezclas drenantes, a través de la determinación del método Cántabro, aplicado al tramo (Emborozú-Limal), a cargo de la Empresa Constructora “ANDALUZ”

1.4.2 HIPÓTESIS

Que la determinación y aplicación del método Cántabro mejorará los procesos de dosificación y control de mezclas drenantes, por lo tanto asegurará la determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezclas drenantes en la ejecución del proyecto Tramo (Emborozú-limal) a cargo de la Empresa Constructora Consorcio “ANDALUZ”. Entre los años 2016-2017

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el porcentaje óptimo de cemento asfáltico en una mezcla drenante a través de la aplicación del método Cántabro en la ejecución del proyecto tramo (Emborozú-limal)

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar los procesos de dosificación y control de mezclas drenantes en la ejecución del proyecto Tramo (Emborozú-limal) a cargo de la Empresa Constructora Consorcio “ANDALUZ “
- Analizar los tipos de métodos de dosificación de mezclas drenantes en la ejecución del proyecto Tramo (Emborozú-limal), mediante ensayos de laboratorio.
- Proponer la Aplicación del método Cántabro para determinar la cantidad de cemento asfáltico óptima en mezclas drenantes de la región
- Adquirir la mayor información posible sobre el método Cántabro para que de ésta manera y tras un proceso de ensayos y de análisis de resultados se pueda difundir e implementar, tanto en el campo profesional como en el estudiantil (de la ingeniería civil en Tarija, para así ampliar el nivel de conocimientos en ambos campos)

1.6 JUSTIFICACIÓN

En el país existen carreteras que no cuentan con una capa de rodadura adecuada para el tipo de clima existente en estas regiones, siendo muy peligroso transitar en estas rutas especialmente en tiempo de lluvias.

El uso de las mezclas drenantes es una solución adecuada para muchas carreteras que actualmente se encuentran en pésimo estado de transitabilidad.

En nuestro medio actual no se utiliza este tipo de mezclas, debido al poco conocimiento de sus ventajas y a la falta de parámetros propios de diseño.

Es por esta razón que se llevará a cabo una investigación y realización el diseño en laboratorio de una mezcla asfáltica drenante utilizando el método, Cántabro, para obtener parámetros y resultados que puedan ser aplicados en nuestro medio.

El método Cántabro evalúa el asfalto como parte de una mezcla asfáltica, con lo que se tiene en cuenta esta importante condición de servicio. Fueron las limitaciones e inquietudes existentes con los métodos actualmente empleados para dosificar las

mezclas drenantes (Marshall) las que conllevaron a la investigación de éste método, aplicándolo en el estudio de las propiedades adherentes de los ligantes asfálticos en nuestro medio.

Esta investigación es necesaria ya que buscamos adquirir la mayor información posible sobre el método Cántabro para que de ésta manera, y tras un proceso de ensayos y de análisis de resultados, se pueda difundir e implementar tanto en el campo profesional, como alternativa de dosificación de cementos asfálticos de tipo drenante y de ésta forma poder ampliar el nivel de conocimientos relacionados a este campo.

1.7 ALCANCE

Con la presente investigación se pretende aplicar el método Cántabro como alternativa nueva de diseño de dosificación de mezclas drenantes, aplicado en la ejecución del proyecto Tramo (Emborozú-limal) el cual nos permita encontrar el contenido de cemento asfáltico adecuados en mezclas de estudio, de una manera rápida y sencilla lo cual permitirá realizar proceso

2.1. DEFINICIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA

Las mezclas asfálticas también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos, ligante asfáltico y polvo mineral que le da cohesión al conjunto.

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros, también se utilizan en las capas inferiores de los firmes para tráficos pesados intensos.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

La combinación de los agregados y el cemento asfáltico se realizan en forma mecánica en centrales fijas o móviles, para luego ser transportadas a obra y allí se extienden y compactan.

2.1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas:

a) Por Fracciones de agregado pétreo empleado

- **Masilla asfáltica:** Polvo mineral más ligante.
- **Mortero asfáltico:** Agregado fino más masilla.
- **Concreto asfáltico:** Agregado grueso más mortero.
- **Macadam asfáltico:** Agregado grueso más ligante asfáltico.

b) Por la Temperatura de puesta en obra

- **Mezclas asfálticas en Caliente:** Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del

ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores al ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.

Las mezclas asfálticas en caliente son las de uso más generalizado, se emplean tanto en vías urbanas, autopistas, carreteras de todo tipo y pistas de aeropuertos.

- **Mezclas asfálticas en Frío:** Están referidas a aquellas cuya combinación de agregados más cemento asfáltico se han realizado a temperaturas bajas sin necesidad de diluir el ligante con un proceso de calentamiento. Estas mezclas también reciben el nombre de emulsiones que es la combinación de agregados, cemento asfáltico, agua y un emulsor químico, donde el agua actúa como aceite fluidificante del cemento asfáltico.

La producción de emulsiones son prácticamente en industrias y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

c) Por la proporción de Vacíos en la mezcla asfáltica

Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas, de manera general todas las mezclas que se utilizan tienen más de un 3% de huecos en la mezcla, por ello dentro de estas mezclas podemos mencionar:

- **Mezclas Cerradas:** También denominadas mezclas densas, cuyo porcentaje de vacíos no supera el 6%, estas mezclas son las más empleadas para la conformación de capa de rodadura, sin embargo por su pequeño porcentaje de huecos hace que sean prácticamente impermeables, cumpliendo así la misión que tienen de proteger a las capas inferiores del pavimento y a la sub rasante de la acción destructora del agua.
- **Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas:** Estas mezclas tienen un porcentaje de huecos entre 6% y 12% lo que hace que sean bastante parecidas a las anteriores. La diferencia estriba en sus curvas granulométricas que se alejan de la máxima compacidad, menores contenidos de filler y en consecuencia

menores contenidos de cemento asfáltico.

- **Mezclas Abiertas:** Son mezclas constituidas exclusivamente por agregados grueso y asfalto, de manera que exista entre ellas una estructura mineral que resiste al rozamiento interno.
- Son mezclas que tienen un porcentaje de huecos mayor al 12%, debido a su gran flexibilidad producto de la baja relación de filler y ligante, estas mezclas pueden ser utilizadas en capas de rodadura de pequeño espesor (hasta 5 cm) para carreteras que soportan tráfico ligero.
- **Mezclas Porosas o Drenantes:** Son mezclas con un porcentaje muy elevado de vacíos que varía entre el 16% al 25%, lo que les proporciona una gran permeabilidad, son empleadas en las capas de rodadura con este tipo de mezclas se consigue que el agua de lluvia que cae sobre la calzada evacue rápidamente por infiltración, además de reducir las proyecciones de agua sobre los vehículos, mejora la transitabilidad al mejorar el contacto de rueda-pavimento, destaca el bajo nivel de ruido de la superficie mojada de rodadura y mejora las características superficiales como la reflexión de la luz con la superficie húmeda.
- La porosidad de las mezclas se consigue empleando una granulometría con reducidos contenidos de arena, en general por debajo del 15%, ya que así la superficie específica del agregado resulta notablemente inferior a la de una mezcla cerrada y con los porcentajes de ligante no muy elevados se consigue una mezcla durable y con resistencia al envejecimiento.

d) Por el Tamaño máximo del agregado pétreo

- **Mezclas Gruesas:** Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm. Son mezclas cuya ventaja principal es que proporcionan un agregado de textura grande, sin embargo tienen el inconveniente de que cuando no se las extiende en capas de suficiente espesor se pueden producir arrastres del agregado durante la puesta en obra. Son mezclas que están normalizadas, cuyos tamaños máximos nominales especificados son 10, 12, 20 y 25 mm.

- Se recomienda que el espesor de la capa compactada sea tres veces mayor al tamaño máximo nominal del agregado empleado.
- **Mezclas Finas:** También llamadas micro aglomerado, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.
- Estas mezclas son aplicadas en capas de muy pequeño espesor, lo que evita los problemas eventuales que pudieran existir con respecto a la altura del bordillo de las calles.
- **e) Por la Estructura del agregado pétreo**
- **Mezclas con Esqueleto mineral:** Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable. Son las más utilizadas en casi todos los países, se adaptan a cualquier tipo de dosificación y cualquier espesor de capa, y comparadas con las mezclas sin esqueleto mineral resultan más económicas debido a que su contenido de asfalto es más reducido por ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos se debe a la masilla.
- **Mezclas sin Esqueleto mineral:** No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla, son mezclas que tienen elevadas proporciones de filler y de betún, de manera que si existe agregado grueso se halla disperso en la masa que forma el mastico.
- Al tener una elevada proporción de betún su precio es elevado, además su extensión es difícil, lo que encarece aún más el producto.

f) Por la Granulometría

- **Mezclas Continuas:** En estas mezclas, los diferentes tamaños de agregados se combinan de manera que la curva granulométrica sea continua, es decir que no tenga quiebres repentinos, puesto que las partículas más finas irán a rellenar los huecos que dejan los agregados gruesos.
- Este tipo de granulometría tiende a formar estructuras cerradas, dicha granulometría es un factor muy importante que se debe tomar en cuenta en la dosificación, puesto que es preciso un espacio mínimo de huecos en la mezcla que garantice los cambios de volumen del asfalto con la temperatura y para su posterior compactación.
- **Mezclas Discontinuas:** Son mezclas relativamente impermeables, aunque tienen los huecos suficientes para permitir el aumento de volumen de asfalto, mientras que su granulometría es discontinua al faltar tamaños comprendidos entre 2 y 8 mm, teniendo características de agregado grueso y asfalto menos críticas que en las granulometrías continuas.

g) Masillas

Son unas mezclas con elevadas proporciones de polvo mineral y de ligante, de manera que si hay agregado grueso se halla dispersa en la masilla formada por aquellos, este tipo de mezcla no trabaja por rozamiento interno y su resistencia se debe a la cohesión que proporciona la viscosidad de la masilla.

Las proporciones de asfalto son altas debido a la gran superficie específica de la materia mineral. Dada la sensibilidad a los cambios de temperatura que puede tener una estructura de este tipo, es necesario rigidizar la masilla y disminuir su susceptibilidad térmica mediante el empleo de asfaltos duros, cuidando la calidad del polvo mineral y mejorando el ligante con adiciones de fibras.

Los asfaltos fundidos, son mezclas de gran calidad, pero su empleo está justificado únicamente en los tableros de los puentes y en las vías urbanas, incluso en aceras, de los países con climas fríos y húmedos.

2.1.2 PROPIEDADES GENERALES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

El diseño de una mezcla asfáltica para un uso específico debe considerar las siguientes propiedades:

- **Estabilidad.-** Una de las características más importantes que debe tener una mezcla asfáltica es la de ser capaz de soportar el paso de las cargas y de resistir tensiones que se van a producir con deformaciones tolerables. La estabilidad depende de la fricción interna y de la cohesión.

La fricción interna está en función de la estructura superficial, granulometría del agregado, forma de las partículas, densidad de la mezcla y cantidad de asfalto. Es una combinación de la resistencia friccional y de la trabazón del agregado en la mezcla. Dicha resistencia friccional aumenta con la rugosidad superficial de las partículas del agregado y también con el área de contacto entre partículas.

La cohesión es la fuerza aglutinante propia de una mezcla asfáltica para pavimentación. El asfalto sirve para mantener las presiones de contacto desarrolladas entre las partículas del agregado.

La estabilidad se suele evaluar empíricamente, por lo tanto es una representación intrínseca del material, es decir de su rozamiento interno y de su cohesión. El método más utilizado para evaluar la estabilidad es el ensayo Marshall.

- **Durabilidad.-** Propiedad de una mezcla asfáltica que indica su capacidad de resistir la desintegración debida al tránsito y al clima.

Se sabe que las capas de rodadura están sometidas a agresiones externas de diversa índole, aparte de la acción de las cargas, como ser la radiación solar, heladas, derrame de aceites y combustibles, factores que afectan la durabilidad de las mezclas.

El envejecimiento de las mezclas es sumamente complejo, por diversas causas y procesos difíciles de definir. Algunos de estos procesos son irreversibles, mientras que a otros se les puede hacer frente con los llamados agentes

rejuvenecedores, que son sustancias que actúan sobre el ligante de la mezcla tratando de hacerle recobrar sus características iniciales.

➤ **Flexibilidad.-** Capacidad de una mezcla asfáltica de adaptarse a asentamientos graduales y movimientos en la base y sub-rasante. Los asentamientos diferenciales en el relleno de un terraplén ocurren ocasionalmente y es casi imposible desarrollar una densidad uniforme en la sub-rasante durante su construcción porque las secciones o porciones de pavimento tienden a comprimirse y asentarse bajo tránsito. Por esta razón un pavimento asfáltico debe tener la capacidad de adaptarse a asentamientos localizados o diferenciales, sin quebrarse. Generalmente la flexibilidad se incrementa con altos contenidos de asfalto y agregados de granulometría abierta.

➤ **Resistencia a la fatiga.-** Es la capacidad del pavimento asfáltico de soportar repetidas flexiones debido al paso de las cargas de los vehículos.

La determinación de la resistencia a la fatiga se la desarrolla en laboratorio, sometiendo probetas a ensayos de cargas repetidas, para diferentes deformaciones radiales, se obtiene el número de aplicaciones de carga que conducen a la rotura de la probeta ensayada.

Las pruebas han demostrado que la cantidad de asfalto es extremadamente importante, cuanto mayor es el contenido de asfalto, mayor la resistencia a la fatiga.

➤ **Resistencia al deslizamiento.-** Esta propiedad expresa la capacidad que debe tener el pavimento asfáltico de ofrecer resistencia al deslizamiento de las llantas, especialmente cuando la superficie de rodado está húmeda. Los factores para la obtención de alta resistencia al deslizamiento son generalmente los mismos que aquellos con los que se obtiene una alta estabilidad.

Los principales contribuyentes son: adecuados contenidos de asfalto y agregados con textura superficial rugosa y resistencia al pulimento, además de tener una granulometría abierta.

- **Impermeabilidad.-** Es la resistencia que tiene un pavimento al paso del agua dentro o a través del mismo.

Las mezclas asfálticas tienen como misión proteger la infraestructura, frente a la acción del agua que cae sobre la calzadas, por ello se debe de dotar a las mezclas una elevada impermeabilidad misma que no tiene que estar confinada a la capa de rodadura, existiendo por ello las denominadas mezclas porosas o drenantes, las cuales permiten el paso del agua por la capa de rodadura, siendo la capa base la que debe estar totalmente impermeabilizada.

2.2 DEFINICIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES.-

Las mezclas asfálticas drenantes son aquellas mezclas asfálticas cuyo porcentaje de vacíos es lo suficientemente alto para permitir que a través de ellos filtre el agua con rapidez y pueda ser evacuada hacia las bermas, cunetas u otros elementos de drenaje, evitando así su permanencia en la superficie de la vía (capa de rodadura), incluso bajo precipitaciones intensas y prolongadas.

Para que una mezcla pueda considerarse como drenante debe tener un contenido inicial de vacíos del 16% al 25%, el cual permite una permeabilidad adecuada en este tipo de mezclas. Este elevado porcentaje de huecos se logra mediante el uso de una granulometría especial, con un alto porcentaje de áridos gruesos.

El uso de las mezclas drenantes cambia radicalmente el concepto tradicional de una carpeta de rodado impermeable, traspasando la función de proteger de los efectos negativos del agua a la capa subyacente. Esta deberá ser impermeable y con un buen diseño geométrico que asegure el escurrimiento del agua a los drenes laterales y no se infiltre a capas inferiores del camino.

Las mezclas drenantes pueden fabricarse tanto en caliente como en frío, empleando como ligantes betunes puros o emulsiones asfálticas modificadas o no.

2.2.1 VENTAJAS DE LAS MEZCLAS DRENANTES

- **Mayor resistencia al deslizamiento bajo lluvia y eliminación del hidroplaneo.-** Al presentarse el fenómeno del hidroplaneo se produce una pérdida total del control sobre la dirección del vehículo, al existir una película de agua entre los neumáticos y la capa de rodadura, lo cual ocasiona la disminución de adherencia entre el neumático y la carpeta de rodadura con lo que aumentan los riesgos de accidentes.

Las mezclas drenantes al tener mayor cantidad de vacíos producen una mejora en estos casos debido a que aumenta la macro textura del pavimento y elimina el agua de la superficie con mayor rapidez.

- **Elevada resistencia al deslizamiento a altas velocidades.-** En las mezclas asfálticas drenantes los parámetros de macro textura obtenidos son siempre altos, por lo cual la pérdida de resistencia al deslizamiento con la velocidad depende fundamentalmente de la macro textura de la superficie de rodadura.
- **Reducción del agua dispersada por el paso de vehículos.-** La seguridad y la comodidad del conductor se ve afectada en tiempo de lluvia por el agua dispersada por los vehículos, especialmente por los camiones y volquetas que no poseen guardafangos, disminuyendo o afectando la visibilidad y las maniobras de adelantamiento. Las mezclas drenantes por su gran porosidad disminuyen de forma radical estas dispersiones, hasta prácticamente eliminarlas, incluso bajo lluvias intensas y prolongadas.
- **Mejora la visibilidad con la capa de rodadura mojada.-** En pavimentos convencionales mojados y sobre superficies de macro textura lisa se produce la reflexión de la luz de los vehículos que circulan en sentido contrario durante la noche, presentándose el deslumbramiento de los conductores. Al eliminarse la película de agua con las mezclas drenantes y dotar la rodadura de una textura rugosa se reduce la reflexión de la luz de los vehículos y se mejora la visibilidad de las marcas viales.
- **Reducción del ruido.-** Las mezclas drenantes tienen la capacidad de absorber los ruidos provocados principalmente por el contacto que se produce entre el

neumático y el pavimento cuando el vehículo está en movimiento. Los huecos interconectados entre si permiten el paso del aire, atenuando los efectos sonoros. Tanto el conductor como el entorno se ven favorecidos por esta reducción.

2.2.2 DESVENTAJAS DE LAS MEZCLAS DRENANTES

- ✓ **Mayor costo inicial.-** Estas mezclas se construyen con asfaltos modificados y áridos que encarecen los costos de construcción.
- ✓ **Diseño geométrico riguroso.-** La mezcla se debe extender sobre una capa que sea impermeable, estructuralmente estable y además que tenga una geometría que permita la evacuación del agua hacia los laterales.
- ✓ **Pérdida de drenabilidad.-** Las mezclas porosas en el transcurso de su vida útil pueden colmatarse por la acumulación de polvo y otros agentes contaminantes como arena, materia orgánica, etc. Es importante señalar que, si bien pierde sus propiedades drenantes, seguirá funcionando como carpeta de rodado. Actualmente existen técnicas de lavado a presión que pueden limpiar las mezclas retardando su colmatación.

2.2.3 CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DRENANTES

El diseño de las Mezclas Drenantes o Porosas se establece como un compromiso entre su porosidad y su resistencia al desgaste. El equilibrio de estas propiedades, trae como consecuencia una mezcla óptima, ya que al ser éstas contrapuestas, el aumento de la porosidad suele inducir una disminución de la resistencia al desgaste. Esta última es necesaria para que la capa no se desintegre y pueda responder satisfactoriamente a las solicitudes del tránsito.

Las capas de mezclas drenantes exponen a la película de ligante que rodea a los agregados a la acción de los rayos ultravioletas, catalizador de la oxidación y la humedad. Resulta crítico que la película de ligante tenga suficiente espesor para resistir estos efectos. Cuando se busca extender el período de vida, se lo hace con mayor espesor de película asfáltica. Es aquí donde los asfaltos modificados encuentran su

aplicación sumando la adición de filler (generalmente cal) mejorando la cohesión y durabilidad de la mezcla y contribuyendo a reducir significativamente la tendencia al escurrimiento en comparación con los asfaltos convencionales.

El rol del ligante es mantener los agregados con suficiente cohesión para resistir desprendimientos y desplazamientos. La durabilidad del ligante está vinculada con la oxidación y el mantenimiento de su poder cohesivo. El empleo de ligante en exceso va en detrimento del objeto de una mezcla drenante al restringir los vacíos, y tiende a provocar un escurrimiento del ligante durante el transporte.

Los tramos en servicio ponen de manifiesto que la falla de estas mezclas, se produce por desintegración, al no poder resistir los esfuerzos tangenciales y de succión de los neumáticos vehiculares.

Una propiedad muy importante que deben poseer las mezclas bituminosas es una gran resistencia a la acción del agua, en particular las mezclas porosas. Por efecto del agua, pueden desintegrarse rápidamente, sobre todo cuando se emplean áridos y ligantes con problemas de adhesividad.

La elección del tamaño máximo nominal, está vinculada a las funciones de la mezcla y el espesor de capa a construir. En general se recomienda que para tener una adecuada compactación en obra el espesor de la capa de rodamiento posea 2,5 veces el tamaño máximo nominal del agregado. No obstante esto, para atenuar posibles efectos de inestabilidad el espesor máximo se limita a 4 veces el tamaño máximo nominal.

La composición granulométrica debe encuadrarse dentro del huso granulométrico seleccionado. La máxima porosidad la provee un agregado de un sólo tamaño, sin embargo por condiciones de durabilidad es necesario una mínima cantidad de mortero para proveer junto al ligante la cohesión necesaria a la mezcla.

2.2.4 MATERIALES GRANULARES PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES

En las mezclas asfálticas los agregados constituyen normalmente el 90 al 95% en peso total de la mezcla, donde la naturaleza y la calidad del agregado son de vital significación y es importante conocer su identificación o procedencia, ya que estos agregados están en forma natural o artificial en nuestro medio.

Tabla 2.1 Resumen Clasificación de Mezclas Asfálticas

PARÁMETRO DE CLASIFICACIÓN	TIPO DE MEZCLA
FRACCIONES DE AGREGADO EMPLEADO	Masilla
	Mortero
	Concreto
	Macadam
TEMPERATURA DE PUESTA EN OBRA	Caliente
	Frio
HUECOS EN LA MEZCLA (h)	Cerradas ($h > 6\%$)
	Semicerradas ($6\% < h < 12\%$)
	Abiertas ($h > 12\%$)
	Drenantes ($16\% < h < 25\%$)
TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO	Gruesas ($T_{max} > 10\text{mm}$)
	Finas ($T_{max} < 10\text{mm}$)
ESTRUCTURA DEL AGREGADO	Con esqueleto mineral
	Sin esqueleto mineral
GRANULOMETRIA	Continuas
	Discontinuas

Fuente: Elaboración propia

2.2.4.1 AGREGADOS NATURALES

Los agregados naturales son los más empleados en la fabricación de las mezclas

Asfálticas y estos se encuentran en canteras, en depósitos de origen fluvial y también proceden de la disgregación de rocas.

2.2.4.2 AGREGADOS ARTIFICIALES

Estos agregados resultan de procesos industriales de los cuales son un subproducto o bien el tratamiento industrial de los agregados naturales, también proceden de la trituración o fragmentación de rocas, son utilizados en la construcción de mezclas asfálticas, cuando los proyectos tienen que cumplir especificaciones rígidas, consideraciones ambientales y eventual escasez de agregados naturales.

Desde otro punto de vista los agregados artificiales pueden clasificarse en función de su empleo en las capas de rodadura (en virtud de su color, dureza, textura, etc.) y como subproductos de agregados manufacturados.

2.2.4.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS GRUESOS

Llamamos agregados gruesos a los retenidos en el tamiz N° 4, son de piedra triturada, grava triturada o una combinación de ambos, también pueden ser materiales que se presentan naturalmente en estado fracturado o en agregados naturales muy angulosos con textura superficial áspera o rugosa.

En general el agregado grueso debe cumplir con los siguientes requisitos:

- ❖ Los agregados gruesos no estarán recubiertos de arcilla, limo u otras sustancias perjudiciales ni contendrán otros agregados de material fino.
- ❖ El porcentaje de los agregados gruesos empleados en las capas de desgaste no será mayor del 40% cuando se ensayen por el método AASTHO T-96.
- ❖ No se utilizarán en capas de rodadura agregados que tiendan a pulimentarse.
- ❖ Los agregados no deben tener más del 20% de fragmentos suaves.
- ❖ Los agregados gruesos al ser sometidos a cinco ensayos alternativos de resistencia, mediante sulfato de sodio, empleando el método AASTHO T-104,

no podrá tener una pérdida de peso mayor a 12%.

- ❖ Cuando se utilice grava o cantos rodados triturados, no menos de un 50% en peso de las partículas retenidas por el tamiz N° 4 deberá tener por lo menos una cara fracturada.
- ❖ El tamaño máximo del agregado no deberá ser mayor que las 2/3 partes del espesor total de la carpeta proyectada.
- ❖ La absorción del material no deberá ser mayor al 5%.
- ❖ La densidad aparente del material no debe ser menor de 2.3%.

2.2.4.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS FINOS

Son considerados agregados finos, aquellos que pasan por el tamiz N° 4 y en general deben cumplir las siguientes características:

- ❖ Constarán de arena natural o de material obtenido del machaqueo de grava o piedra.
- ❖ Las partículas deben ser limpias, resistentes, duraderas, moderadamente angulosas y sin revestimiento de arcilla u otros aglomerados de material fino.

Cuando sea necesario mezclar agregados finos de uno o varios orígenes para producir la granulometría deseada, se acopiarán los agregados de cada tamaño u origen junto a la planta mezcladora en montones independientes separados por muros u otros elementos equivalentes.

2.2.4.5 CARACTERÍSTICAS DEL FILLER MINERAL

- ❖ Se considera filler mineral al material que pasa por el tamiz N° 200 y es fundamental en el comportamiento de algunas mezclas asfálticas, en función de su naturaleza fina, finura, actividad y la proporción en la que entra a formar parte de la mezcla.
- ❖ El filler mineral está compuesto de partículas muy finas generalmente de caliza, cal apagada, cemento portland u otra sustancia mineral aprobada no plástica.
- ❖ El material debe estar perfectamente seco y no contener grumos.

- ❖ La parte del filler mineral que pasa por el tamiz N° 200 se considera como polvo mineral.
- ❖ Más del 50% de la parte del filler mineral que pasa por vía húmeda a través del tamiz N° 200 pasará por este tamiz en tamizado seco.
- ❖ En el diseño y construcción de mezclas asfálticas el control de las propiedades de los agregados es muy importante, los ensayos que normalmente se realizan son los siguientes:
 - ❖ Peso Unitario
 - ❖ Granulometría
 - ❖ Peso específico
 - ❖ Desgaste de los ángeles
 - ❖ Durabilidad
 - ❖ Caras fracturadas
 - ❖ Límite líquido y plástico
 - ❖ Equivalente de arena

2.2.5 MÉTODOS DE DISEÑO

La particular estructura interna en estas mezclas ha llevado a desarrollar ensayos que ayudan a evaluar su comportamiento. Además, en este tipo de mezclas la energía de compactación necesaria para lograr la compacidad en obra es menor que en las mezclas convencionales, razón por la cual se evalúa para qué energía de compactación se alcanzará la máxima densidad en la metodología Marshall.

- ❖ Las metodologías normalmente utilizadas son:
 - ❖ Método Cántabro (Origen España)
 - ❖ Metodología Australiana (Open Graded Asphalt Design Guide, originada en la Australian Asphalt Pavement Association)

- ❖ Método RP (Origen Chile)
- ❖ Tracción Indirecta (Origen Brasil)

2.2.5.1 MÉTODO CÁNTABRO

En el año 1979, Félix Pérez Jiménez y Carlos Kraemer, comenzaron a realizar trabajos para establecer una metodología de dosificación en laboratorio para las mezclas asfálticas, llegando a desarrollar dos ensayos:

- Cántabro, ensayo de pérdida por desgaste en la máquina Los Ángeles, para la caracterización mecánica.
- Permeámetro de carga variable LCS, para la caracterización hidráulica de porcentajes de vacíos, ya sea en Laboratorio o en campo.

El ensayo Cántabro puede realizarse tanto en estado seco como en húmedo, simulando en laboratorio la acción abrasiva del tránsito y la influencia del agua, lo que permite el estudio y dosificación de estas mezclas.

Cuanto mayor es la calidad y porcentaje de los componentes que proporcionan la cohesión a la mezcla, menores son las pérdidas. Como resultado del ensayo se obtiene la pérdida en peso de la probeta, en tanto por ciento, referido a su peso inicial.

Cántabro Seco: La norma NLT-352/86 describe el procedimiento que debe seguirse, empleando la máquina de Los Ángeles. El procedimiento puede emplearse tanto en el proyecto de mezclas en laboratorio como para el control en obra. Se aplica a las mezclas bituminosas fabricadas en caliente y de granulometría abierta, cuyo tamaño es inferior a 25 mm. El ensayo es realizado a una temperatura de 25 °C, lo cual permite valorar indirectamente la cohesión y trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tránsito vehicular.

Cántabro Húmedo: La norma que se refiere a esta metodología es la NLT -362/92. El ensayo Cántabro Húmedo nos permite valorar la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua en la mezcla y el efecto que produce el empleo de ligantes modificados en la mejora de esa propiedad.

El procedimiento consiste en determinar la pérdida al cántabro Húmedo de mezclas

que han permanecido sumergidas en agua durante 4 días a 49 °C o 24 horas a 60 °C. Pérdidas altas o un índice de aumento de las pérdidas respecto al ensayo de Cántabro Seco también alto, sería indicativo de una falta de resistencia de la mezcla a la acción del agua. Las recomendaciones más usuales para mezclas porosas para capas de rodadura establecen los siguientes valores máximos y mínimos de exigencias.

- % Huecos >16 %
- Pérdida al Cántabro seco (25 °C) < 25 %
- Pérdida al Cántabro tras Inmersión (24hs, 60 °C) < 35 %

La medición de permeabilidad se hace a través de un permeámetro de carga variable LCS, (NLT 327/88 -Permeabilidad in situ de pavimentos drenantes con el Permeámetro LCS). El ensayo consiste en medir el tiempo que demora una cierta cantidad de agua en evacuarse del tubo del permeámetro pasando a través de dos marcas, filtrándose en la mezcla. Estudios españoles han podido determinar correlaciones entre permeabilidad y tiempo de evacuación y porcentaje de huecos versus tiempo de evacuación. Si bien esta metodología fue diseñada para medir permeabilidad in situ de las mezclas drenantes, este permeámetro se utiliza también en laboratorio.

La metodología cántabro contempla los siguientes pasos:

a) Elección de la curva granulométrica: Existen diferentes tipos de curvas o husos granulométricos, esto dependiendo del país o normativa que se use.

b) Elección de los porcentajes de ligante para el diseño: Se pueden elegir diferentes porcentajes de asfalto, en base al uso granulométrico que se va a utilizar para el diseño.

Se realizan los ensayos especificados anteriormente y se determina para qué porcentaje de ligante se cumple con las exigencias establecidas, realizándose, de ser necesario, las correcciones que garanticen el cumplimiento de dichas especificaciones. Para la determinación de la densidad aparente de cada probeta, el volumen se obtiene en forma “geométrica”.

2.2.5.2 MÉTODO AUSTRALIANA

Es un procedimiento racional de diseño, esta “Guía de Diseño” hace la composición de ensayos y determinaciones características, mediante “Cartas de Diseño”. Estas son las herramientas mediante las cuales es posible establecer qué porcentaje de ligante es utilizado en el diseño de la mezcla de obra, respetando valores tales como:

- ✓ Cántabro Seco < 25 %
- ✓ Cántabro
Húmedo < 35 %
- ✓ Vacíos mín. 16 %
- ✓ Escurrimiento Máx. 0,3 %

Sugiere esta guía dos rangos de aplicación, los cuales son designados como: -Tipo I, TMDA (Tránsito Medio Diario Anual) < 500 (equivalentes a $< 5 \times 10^6$) -Tipo II, TMDA (Tránsito Medio Diario Anual) > 500 ($N > 5 \times 10^6$).

El Tipo I, provee una modesta performance, el Tipo II está destinado a la más alta performance, con elevado contenido de ligante y empleo de cemento asfáltico modificado. Las primeras experiencias realizadas en Argentina se encuadran dentro del Tipo II.

Para la selección de la granulometría, se utiliza el tamaño máximo nominal.

La resistencia a la desintegración y la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua en la mezcla son ponderadas mediante los ensayos, cántabro en Seco y en Húmedo, respectivamente.

Por otra parte, la segregación de ligante es considerada mediante el ensayo de Escurrimiento (Norma NLT-365/93, Escurrimiento de ligante en mezclas bituminosas abiertas), realizando las determinaciones para cada contenido de ligante asfáltico utilizado en el proceso de dosificación y por duplicado.

El procedimiento se realiza a la máxima temperatura de mezclado que se ajusta, de

acuerdo con el tipo de ligante asfáltico utilizado, garantizando las viscosidades especificadas por Norma.

La Guía de Diseño consta de: Selección del tamaño máximo nominal, selección de la granulometría y selección del ligante de prueba. Previamente a la determinación del contenido de ligante de la mezcla, debe determinarse la absorción de ligante por parte del agregado pétreo. La metodología se refiere únicamente al ligante efectivo. Existe un mínimo contenido de ligante referido al tamaño máximo nominal y vinculado al recubrimiento, con una película que asegure cohesión y durabilidad. El máximo se relaciona a la posibilidad de escurrimiento de ligante durante el transporte.

La metodología de diseño se basa en:

- Seleccionada la granulometría inicial, en función de los vacíos que se esperen obtener en la capa terminada, se procede a confeccionar probetas con distintos tenores de asfalto.
- Con las cantidades de ligante seleccionadas, se preparan pastones destinados a la confección de probetas Marshall para el ensayo de abrasión cántabro y la ejecución del ensayo de escurrimiento. Los contenidos de ligante de prueba son los mínimos requeridos para el trazado de las diferentes gráficas, que serán las que conformen las cartas de diseño.
- La resistencia a la abrasión de las mezclas se evalúa en el ensayo cántabro Seco.
- Se determina el escurrimiento de ligante para cada contenido de prueba, por duplicado, empleando el ensayo del canasto de escurrimiento. El escurrimiento no debe superar el 0,3 %. Se grafica el promedio del porcentual de escurrimiento para cada uno de los pesajes de prueba.
- Para determinar el contenido de ligante que satisfaga las condiciones de vacío de aire y requerimientos de abrasión, puede emplearse la carta de diseño. El límite mínimo del contenido de vacío de aire es el máximo contenido de ligante (CLmax). El contenido de ligante correspondiente a la máxima pérdida por abrasión (25 % Cántabro Seco), es el mínimo contenido de ligante (CLmin). El contenido provisional de ligante es el promedio entre CLmax y CLmin.

- Se determinan las propiedades de la mezcla diseñada.
- Si la mezcla con el contenido provisional de ligante reúne todos los requerimientos, la mezcla es satisfactoria por lo cual puede elaborarse y colocarse con el contenido de diseño del ligante.

2.2.5.3 METODOLOGÍA RP

Esta metodología fue desarrollada en Chile, en el Laboratorio Nacional de Vialidad, MOP, por los Ingenieros Héctor Rioja V. y Gabriel Palma P. La metodología consiste en la medición del esfuerzo a la penetración, a temperatura y velocidad controlada, que presentan probetas de mezcla asfáltica abierta, fabricadas de acuerdo con la metodología Marshall. Utilizando en este caso 45 golpes por cara y distintos contenidos de ligante, considerando que la mezcla óptima es **aquella que presenta el valor máximo de esfuerzo a la penetración**. Para el ensayo, los autores especifican una temperatura de laboratorio de 20 °C, dejando las probetas enfriar a esta temperatura y posteriormente colocándolas en forma vertical en una prensa Marshall. En esta disposición son penetradas a una velocidad de 1 mm/min por un pistón de acero de 50 mm de diámetro y un largo de 105 mm adaptado al aro del dinamométrico de la prensa. Para realizar el proyecto de una mezcla por esta metodología, se escoge el huso granulométrico, se establecen distintos porcentajes de ligante, se moldean tres probetas por cada tenor de ligante y se realiza el ensayo de penetración. Por definición, el cálculo de esfuerzo se realiza considerando el valor medio entre el área del pistón y área de la base de la probeta. Los distintos esfuerzos de penetración son graficados para cada tipo de mezcla y sus respectivos porcentajes de ligante asfáltico. De dicha gráfica se obtiene el máximo esfuerzo de penetración, que corresponde a un porcentaje de ligante que es adoptado como el “Ligante de Diseño”.

2.2.5.4 TRACCIÓN INDIRECTA

La determinación de la resistencia a Tracción Indirecta en las mezclas bituminosas representa un parámetro mecánico que puede resultar una herramienta sumamente útil para evaluar la calidad del proceso constructivo de la capa asfáltica, valorando la cohesión de la mezcla.

En el Laboratorio de Caminos de la Universidad de Cataluña se ha estudiado la posibilidad de implementación del ensayo de tracción indirecta en el control de ejecución de capas asfálticas tradicionales, mediante un análisis de sensibilidad del ensayo y un estudio de correlación entre los valores obtenidos en laboratorio y en testigos extraídos de numerosas obras. De las conclusiones obtenidas ha surgido un criterio de aceptación de la mezcla bituminosa que permite evaluar su calidad mecánica y no sólo su compactación.

También se ha deducido que existe una correlación entre la densidad y la resistencia a tracción indirecta de la mezcla, y que esta última es un parámetro capaz de evaluar a la mezcla con mayor sensibilidad que la obtenida mediante el uso de la compactación, pues se ha demostrado que puede conseguirse la misma compactación con temperaturas bajas y una elevada energía o con mayor temperatura y menor energía, resultando la cohesión conseguida mayor en este último caso.

A partir del análisis de estos resultados se han recomendado valores mínimos a conseguir en cada una de las mezclas estudiadas para establecer un factor de calidad en función de la diferencia entre la resistencia de la mezcla fabricada y la conseguida tras su extensión y compactación en obra. Este factor varía con la calidad conseguida en cada obra, ya que cuanto menor sea el factor mayor es la calidad y más semejanza existe entre el producto final y la mezcla proyectada en laboratorio.

De lo expuesto se deduce que esta metodología modifica los umbrales de calidad. El conocimiento de los valores de tracción indirecta en laboratorio es una herramienta muy importante. El único control que se le realiza a una capa terminada es determinar la densidad y compararla con la obtenida en la compactación Marshall.

2.3 CEMENTO ASFÁLTICO

Aunque en una mezcla asfáltica, el asfalto sea minoritario en proporción, sus propiedades pueden influir de manera significativa en su comportamiento. El tipo de mezcla será el que en gran medida determine la contribución hecha por el ligante sobre todo el conjunto. Generalmente, las propiedades de las mezclas con granulometría continua dependen del trabazón de los áridos, mientras que las preparadas con altos contenidos de mortero asfáltico dependen más de la rigidez de la proporción de ligante, polvo mineral y arena.

A altas temperaturas de servicio, puede que el ligante llegue a reblandecerse, facilitando la deformación de la mezcla (ahuellamiento). El riesgo de aparición de estas deformaciones es aún mayor en pavimentos sometidos a la circulación de vehículos pesados. De manera generalizada y sin tener en cuenta otros factores que pueden influir, se puede disminuir la probabilidad de aparición de estas deformaciones aumentando la rigidez del ligante mediante el empleo de un asfalto más duro.

Por otro lado a temperaturas de servicios bajos, el ligante se vuelve relativamente rígido y va perdiendo poder de resistencia a las tensiones, volviéndose frágil y siendo susceptible de fisuraciones. El grado de susceptibilidad a la figuración está relacionado con la dureza del asfalto y su capacidad para absorber las sollicitaciones inducidas por el tráfico. Disminuyendo la dureza del asfalto, se minimizará el riesgo de fallo por fragilidad.

Entonces, debido a lo dicho precedentemente a la hora de buscar comportamientos globales satisfactorios de las mezclas bituminosas, la elección del asfalto adecuado para cada tipo de mezclas se vuelve un compromiso entre ambos extremos; ahuellamiento a altas temperaturas y fisuramiento por fragilidad térmica a bajas temperaturas. Donde mejorando el comportamiento a altas temperaturas se influye negativamente en el comportamiento a bajas temperaturas.

2.4 ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS

Los asfaltos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto, de un polímero o hule molido de neumático, que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura, estos productos se le añaden al cemento asfáltico para modificar sus propiedades físicas y geológicas, de esta manera disminuir su susceptibilidad a la temperatura, a la humedad y a la oxidación.

Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interface entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aun en presencia del agua.

También aumenta la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y por lo tanto a la fatiga, reduciendo de esta manera los agrietamientos.

Los modificadores por lo general se aplican directamente al asfalto antes de mezclarlo con el material pétreo.

Los asfaltos modificados con polímeros están constituidos por dos fases, una formada por pequeñas partículas de polímero hinchado y la otra por asfalto. En las composiciones de baja concentración de polímeros existe una matriz continua de asfalto en la que se encuentra disperso el polímero; pero si se aumenta la proporción de polímero en el asfalto se produce una inversión de fases, estando la fase continua constituida por el polímero hinchado y la fase discontinua corresponde al asfalto que se encuentra disperso en ella.

Esta micro morfología bifásica y las interacciones existentes entre las moléculas del polímero y los componentes del asfalto parecen ser la causa del cambio de propiedades que experimentan los asfaltos modificados con polímeros.

El efecto principal de añadir polímeros a los asfaltos es el cambio en la relación viscosidad-temperatura (sobre todo en el rango de temperaturas de servicio de las mezclas asfálticas) permitiendo mejorar de esta manera el comportamiento del asfalto tanto a bajas como a altas temperaturas.

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formado por la unión de cientos o miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas o termofijas que no pueden ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas, etc. Algunos modificadores poliméricos que han dado buenos resultados son:

- **Homopolímeros:** Que tienen una sola unidad estructural (monómero).
- **Copolímeros:** Tienen varias unidades estructurales distintas.
- **Plastómeros:** Al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia, no volviendo a su longitud original al cesar la sollicitación. Tienen deformaciones pseudoplásticas con poca elasticidad.

2.4.1 PROPIEDADES DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS

Las principales propiedades físicas y geológicas que se cambian con la adición de los polímeros en el asfalto son:

- Aumenta la viscosidad, dependiendo de la cantidad y tipo de polímero.
- Disminuye la penetración.
- Aumenta el punto de reblandecimiento del asfalto entre 8 y 12 grados.
- Aumenta el punto inflamación.
- Disminuye las susceptibilidades a las variaciones de la temperatura.
- Sube entre uno y dos grados la clasificación PG (Penetración Grade o Grado de Penetración del asfalto)
- Eleva la recuperación elástica del asfalto hasta arriba del 30%.
- Amplio rango de temperatura en el manejo y almacenamiento del asfalto.
- Mayor intervalo de plasticidad.
- Mayor cohesión.
- Mayor resistencia a la acción del agua.
- Mayor resistencia al envejecimiento.
- Las propiedades que estos imparten dependen de los siguientes factores:
 - Tipo y composición del polímero incorporado.
 - Característica y estructura coloidal del asfalto base.

- Proporción relativa de asfalto y polímero.

Para que los asfaltos con polímeros consigan las prestaciones óptimas, hay que seleccionar cuidadosamente el asfalto base (es necesario que los polímeros sean compatible con el material asfáltico), el tipo de polímero, la dosificación, la elaboración y las condiciones de almacenaje. Cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptima para mejorar las propiedades reológicas, donde por encima de esta el polímero solo actúa como un filler; y por debajo de esta, pasan a estar muy solubilizados y aumentan la viscosidad, sin mejorar la elasticidad y la resistencia.

Para analizar la compatibilidad de los polímeros con el asfalto base tenemos:

- Criterio del índice de Imamura.
- Mediante tablas de solubilidad.

2.4.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS

Los asfaltos modificados se deben aplicar, en aquellos casos específicos en que las propiedades de los ligantes tradicionales son insuficientes para cumplir con éxito la función para la cual fueron encomendados, es decir, en mezclas para pavimentos que están sometidos a solicitudes excesivas, ya sea por el tránsito o por otras causas como: temperaturas extremas, agentes atmosféricos, tipología del firme, etc. Si bien los polímeros modifican las propiedades reológicas de los asfaltos, estos deben mostrar ventajas y desventajas.

2.4.2.1 VENTAJAS

- Disminución de la susceptibilidad térmica
- Se obtienen mezclas más rígidas a altas temperaturas de servicio reduciendo al ahuellamiento.
- Se obtienen mezclas más flexibles a bajas temperaturas de servicio reduciendo el fisuramiento.
- Disminuye la exudación del asfalto: por la mayor viscosidad de la mezcla, su menor tendencia a fluir y su mayor elasticidad.
- Mayor elasticidad: debido a los polímeros de cadenas largas.

- Mayor adherencia: debido a los polímeros de cadenas cortas.
- Mayor cohesión: el polímero refuerza la cohesión de la mezcla.
- Mejora la trabajabilidad y la compactación: por la acción lubricante del polímero o de los aditivos incorporados para el mezclado.
- Mejor impermeabilización: en los sellados bituminosos, pues absorbe mejor los esfuerzos tangenciales, evitando la propagación de las fisuras.
- Mayor resistencia al envejecimiento: mantiene las propiedades del ligante, pues los sitios más activos del asfalto son ocupados por el polímero.
- Mayor durabilidad: los ensayos de envejecimiento acelerado en laboratorio, demuestran su excelente resistencia al cambio de sus propiedades características.
- Mejora la vida útil de las mezclas: menos trabajos de conservación.
- Fácilmente disponible en el mercado.
- Permiten mayor espesor de la película de asfalto sobre el agregado.
- Mayor resistencia al derrame de combustibles.
- Reduce el costo de mantenimiento.
- Disminuye el nivel de ruidos: sobre todo en mezclas abiertas.
- Aumenta el módulo de la mezcla.
- Permite la reducción de hasta el 20% de los espesores por su mayor módulo.
- Mayor resistencia a la flexión en la cara inferior de las capas de mezclas asfálticas.
- Permite un mejor sellado de las fisuras.
- Buenas condiciones de almacenamiento a temperaturas moderadas.
- No requieren equipos especiales.

2.4.2.2 DESVENTAJAS

- Alto costo del polímero.
- Dificultades del mezclado: no todos los polímeros son compatibles con el asfalto base (existen aditivos correctores).
- Deben extremarse los cuidados en el momento de la elaboración de la mezcla.
- Los agregados no deben estar húmedos ni sucios.
- La temperatura mínima de distribución es de 145°C por su rápido endurecimiento.

Es evidente que la mayor desventaja es el alto costo inicial del asfalto modificado, sin embargo, si hacemos un análisis del costo a largo plazo (es decir, la vida útil de la vía); podemos concluir que el elevado costo inicial queda sobradamente compensado por la reducción del mantenimiento futuro y el alargamiento de la vida de servicio del pavimento.

2.5 CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN Y PROYECTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA

En muchas ocasiones el proyecto de una mezcla asfáltica se reduce a determinar su contenido de ligante, sin embargo, es solo la última fase de un proceso más amplio, que requiere de un estudio cuidadoso de todos los factores involucrados, a fin de garantizar un comportamiento adecuado de la mezcla y un considerable ahorro económico en la solución.

Las fases de las que consta el proyecto de una mezcla son las siguientes:

a) Análisis de las condiciones en las que va a trabajar la mezcla: Tráfico, tipo de infraestructura (carretera, vía urbana, aeropuerto, etc.), la capa de la que se trata (rodadura, intermedia o base) y espesor, naturaleza de las capas subyacentes, intensidad del tráfico pesado, clima, etc. Asimismo, hay que distinguir si se trata de un pavimento nuevo o de una rehabilitación.

b) Determinación de las propiedades fundamentales que ha de tener la mezcla: Dadas las condiciones en las que ha de trabajar. Debe establecerse la resistencia a las deformaciones plásticas o la flexibilidad, entre otras.

c) Elección del tipo de mezcla: La que mejor se adapte a los requerimientos planteados, incorporando en este análisis las consideraciones económicas o de puesta en obra que haya que considerar.

d) Materiales disponibles: Elección de los agregados pétreos, los cuales deben cumplir con determinadas especificaciones, pero que en general serán los disponibles en un radio limitado y, por lo tanto, a un costo razonable. Asimismo hay que elegir el polvo mineral de aportación.

e) Elección del tipo de ligante: Asfalto, asfalto modificado, emulsión asfáltica, el costo es siempre un factor muy relevante.

f) Dosificación o determinación del contenido óptimo de ligante: Según un proceso que debe adaptarse al tipo de mezcla, la cual debe hacerse para distintas combinaciones de las fracciones disponibles del agregado pétreo, de manera que las granulometrías conjuntas analizadas estén dentro de un huso previamente seleccionado.

g) Otros factores: A tener en cuenta en el diseño y selección de una mezcla asfáltica son los siguientes: Exigencias de seguridad vial, Estructura del firme, Técnicas de Diseño y Ejecución, Sitio de construcción del pavimento (topografía, temperatura, terreno, periodo de lluvias trazado de la vía, entre otros), Condiciones de drenaje y Consideraciones económicas.

Para realizar el proyecto de una mezcla asfáltica que se empleará en un determinado pavimento existe una gama amplia de posibles soluciones, para esto se hace necesario un estudio muy riguroso y detenido, para elegir el diseño más adecuado técnica y económicamente.

Existen también principios que se aplican de acuerdo con las siguientes reglas:

a) Tipo de mezclas asfálticas según su composición granulométrica

El tipo de mezcla asfáltica a emplear se determinará en función de:

- La capa de firme a que se destine.
- La categoría del tráfico.
- La sección de firmes correspondiente.

b) Tipo de ligante asfáltico

El tipo de ligante asfáltico a emplear dependerá de:

- La capa de firme a que se destine la mezcla.
- El tipo de mezcla.
- La categoría del tráfico.
- El clima de la zona en que se encuentre la carretera.

c) Relación Filler /Asfalto

La relación ponderal de los contenidos de filler y asfalto de la mezcla asfáltica, dependerá de:

- El tipo de mezcla.
- La categoría del tráfico.
- La zona en que se encuentre la carretera.

2.6 FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

De los numerosos aspectos relativos a las mezclas drenantes el de la fabricación y puesta en obra es probablemente el que menos debate ha suscitado y sobre el que menor número de referencias bibliográficas se puede encontrar.

Es pertinente señalar de entrada que prácticamente todas las recomendaciones existentes para la ejecución de mezclas convencionales deben seguirse en la ejecución de las drenantes. Sin embargo, la fabricación y puesta en obra de las mezclas drenantes presenta algunas peculiaridades respecto a las mezclas convencionales cerradas, sean estas de granulometría continua o discontinua.

Estas diferencias existentes provienen básicamente de la propia concepción de la mezcla drenante y de su característica más importante; el alto contenido de hueco

Un estudio minucioso del tema relativo a la fabricación y puesta en obra nos lleva a señalar un buen número de diferencias en la ejecución de las mezclas drenantes

Sin llegar a ser exhaustivos, describiremos a continuación las principales diferencias:

- Preparación de la superficie existente.
- Fabricación.
- Transporte de la mezcla.
- Extensión y compactación.
- Detalles constructivos relativos a la evacuación del agua.
- Control.
- Otros aspectos.

3.1 ENFOQUE DE LA PROPUESTA

Se trata de mezclas asfálticas que se caracterizan por tener un elevado porcentaje de huecos interconectados entre el (16 a 25%) o más, dependiendo del uso. Estos huecos permiten el paso del agua a través de la misma, favoreciendo su eliminación en la superficie del camino, y presentando una alta macro textura y micro textura, ésta última como consecuencia de la calidad de los áridos usados.

Existen diferentes métodos de diseño, los cuales se vuelcan en el presente artículo. La particular estructura interna en estas mezclas, ha llevado a desarrollar ensayos que ayudan a evaluar su comportamiento. El Diseño de la mezcla asfáltica drenante sigue un camino un poco diferente al habitualmente empleado para otras mezclas bituminosas, para el diseño de nuestra mezcla usaremos el método Cántabro

Con el fin de realizar una aplicación práctica, en el presente trabajo se valoran las distintas metodologías de diseño usadas en mezclas drenantes. Para el desarrollo, se evalúan los agregados y el ligante, y se moldean en laboratorio probetas con porcentaje variable de ligante, conforme a la fórmula de trabajo para cada una de las metodologías, para el diseño de nuestra mezcla usaremos el método Cántabro y australiano.

En este capítulo se ha escogido como tramo carretero para el diseño el camino comprendido en el Sector (**Emborozú – Limal**) de la Carretera Tarija Bermejo Ruta F001, Tramo TJ03, se presentan un sitio crítico consistente en dos taludes frontales muy erosionados, donde descienden flujos laminares de lodos durante la época lluviosa, cubriendo la calzada y tornándola resbaladiza y peligrosa para la circulación vehicular, por lo que es imprescindible la intervención con una obra preventiva.

3.2. ANTECEDENTES

Suponemos que con la aplicación del método Cántabro complementará la metodología de dosificación Marshall, por lo tanto se optimizará la cantidad de cemento asfáltico en mezclas abiertas, aplicadas por el presente estudio en el tramo Vial (**Emborozú – Limal**) Departamento de Tarija en el periodo 2016 - 2017.

El uso de las mezclas asfálticas de graduación abierta tiene sus inicios en Europa y E. U. a principios de los años 80, este tipo de mezclas asfálticas de graduación abierta dan

una mayor fricción entre un pavimento y el neumático de un vehículo, disminuye el ruido, elimina el acuaplano y da una mayor visibilidad. En nuestro medio existe carencia del estudio de estas mezclas, por tal razón realicé esta investigación para determinar el comportamiento, aplicando un nuevo ensayo denominado cántabro.

Por tal razón surge por primera vez en la universidad de Cantabria España el ensayo cántabro, cuyo nombre nace por dicha universidad, desarrollado por el Dr. Carlos Kraemer profesor investigador de dicha universidad. Cuatro años más tarde, este ensayo fue perfeccionado e investigado por el Dr. Félix E. Pérez Jiménez (cuya tesis doctoral está basada principalmente en este ensayo) actualmente está en proceso de normalización según las normas NLT Españolas (normas para laboratorio) estudiadas y probadas en gran parte por en el centro de estudios y experimentación de carreteras de Madrid (CEDEX)

Esta investigación se basa en estudiar el comportamiento mecánico de diferentes mezclas asfálticas de graduación abierta para ver la resistencia que se producen al cántabro aplicando a las probetas diferentes contenidos de ligante (cemento asfáltico) y compactación (aplicando cargas dinámicas de 25, 50, y 75 golpes de cara sobre probetas Marshall) con el fin de obtener resistencia al cántabro en condiciones seco y húmedo, posteriormente con la compactación y el contenido del cemento asfáltico óptimos, hacer un análisis comparativo de la resistencia al desgaste en mezclas asfálticas de graduación abierta compactadas de forma dinámica

Los objetivos que se plantean en esta investigación son los siguientes:

- Analizar y evaluar los procedimientos del método Marshall para la determinación de la cantidad de cemento asfáltico en mezclas abiertas.
- Analizar cuantitativamente los resultados de la obtención de cemento asfáltico mediante los métodos de dosificación Marshall y Cántabro.
- Proponer la aplicación del método Cántabro para la dosificación de cemento asfáltico para mezclas abiertas.
- Estudiar el comportamiento mecánico de las diferentes mezclas contempladas en el trabajo.

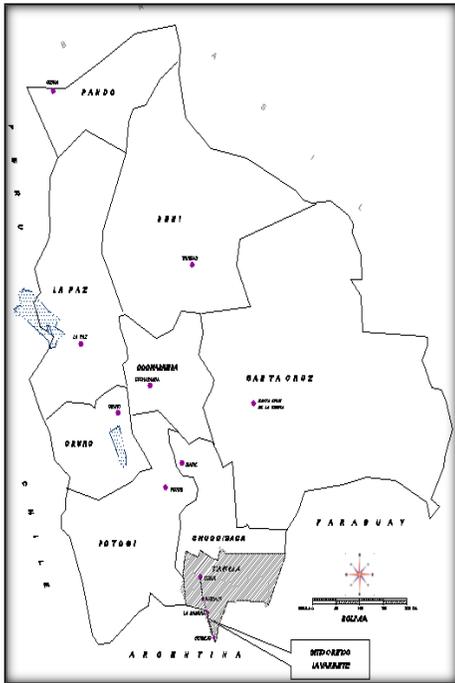
- Obtener valores medios de resistencia al cántabro de estas mezclas asfálticas de graduación abierta para ser utilizadas y recomendadas en el futuro.

3.3 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE INTERVENCIÓN

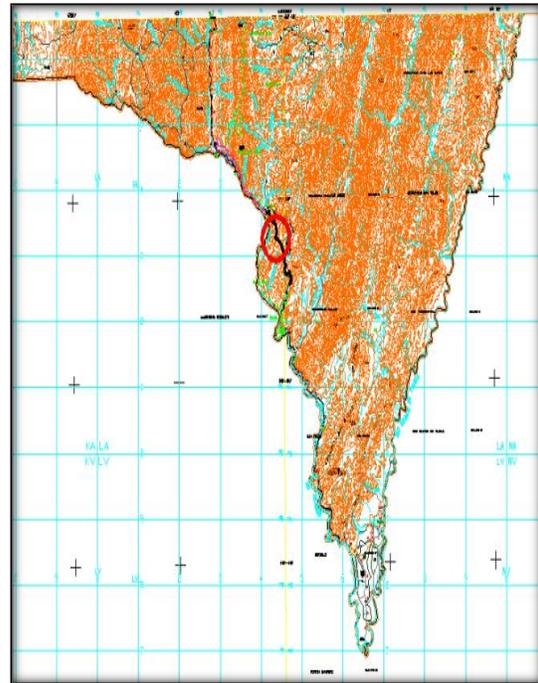
El estudio contempla el diseño de una mezcla drenante del sitio denominado (Emborozú - Limal) que tiene la siguiente ubicación:

- ❖ Departamento: Tarija
- ❖ Provincia: Aniceto Arce
- ❖ Municipio: Multi municipal Aniceto Arce
- ❖ Carretera: Tarija - Bermejo
- ❖ Ruta: F001
- ❖ Tramo: Tarija – Bermejo
- ❖ Tramo: TJ03

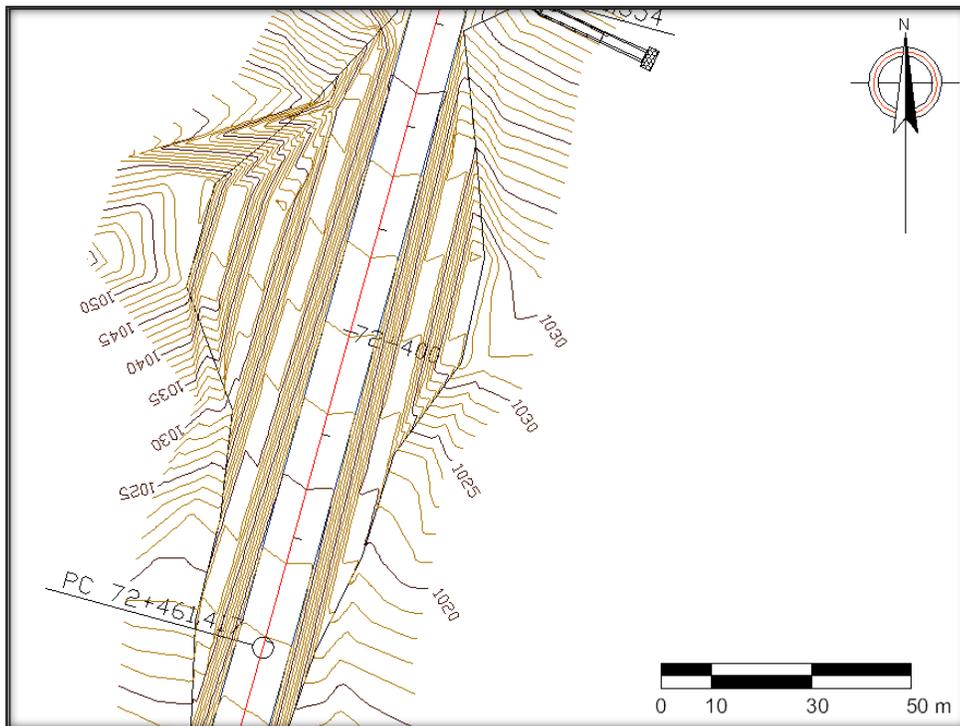
Entre las coordenadas 20 K 343528 m E – 7532745 m S y 343501 m E – 7532628m S. y las progresivas 1129+500 y 1129+610. El sector denominado (**Emborozú – Limal**) ver mapas 1-2-3.



Mapa 1.- Ubicación del Proyecto



Mapa 2.- Ubicación del Proyecto



Mapa 3.- Ubicación del Proyecto

Geológicamente; el sitio se halla emplazado en la Formación Tariquía del Oligoceno (Cenozoico Paleógeno), consistente en areniscas, limolitas y arcilitas friables marrón rojizas de claras a oscuras. Al pie del talud expuesto se desarrollan depósitos de masa derrumbada y coluviales.

3.4 PROCESO DE LA PROPUESTA

3.4.1 MATERIALES

3.4.1.1 AGREGADOS PÉTREOS

La caracterización de los agregados pétreos tiene una doble finalidad: cuantificar las propiedades de los mismos para atender a la correcta dosificación de la mezcla asfáltica y anticipar su comportamiento en servicio.

Los resultados obtenidos en la caracterización de los agregados utilizados en la construcción de carreteras dependen tanto de las propiedades intrínsecas del propio material como de su proceso de extracción y/o explotación en cantera.

La forma de extracción influye principalmente en la granulometría, la forma, la limpieza de los áridos y por consiguiente en los resultados de algunos ensayos mecánicos de caracterización; mientras que otros ensayos valoran principalmente las propiedades de los minerales que los forman.

3.4.1.2 TIPOS DE AGREGADOS EN MEZCLA POROSAS

Durante el proceso y análisis de la combinación granulométrica para su aplicación en el diseño y conforme con los requisitos exigidos por las especificaciones de las mezclas asfálticas y las mezclas drenantes, se realizó una evaluación de las fajas o husos granulométricos.

Considerando las fajas de las especificaciones del diseño, se procedió a dosificar teóricamente los materiales para verificar si éstos se encuadran dentro de lo establecido.

Dada la naturaleza de la mezcla y para cumplir con los porcentajes de vacíos, estabilidad y flujo, se utilizó el huso granulométrico “PA-12” de las Especificaciones Españolas, como se puede ver en la tabla N° 3.1.

3.4.1.3 UBICACIÓN DEL MATERIAL PÉTREO EMPLEADO



Mapa 4.- Planta de Agregados (Chancadora de la Empresa ERIKA)

El yacimiento de extracción de material para la ejecución del presente estudio Influencia del Tipo de Agregado en Mezclas Bituminosas Porosas está ubicado sobre el margen del río Guadalquivir, cerca de la localidad de San Lorenzo. Este yacimiento se encuentra entre las localidades de Tomatitas y San Lorenzo, a una distancia de 13 km. de la ciudad de Tarija.

En las Gráficas 3.2 y 3.3 se observa la extracción de los agregados, se lo realiza por medios mecánicos a través de una clasificadora de materiales y una chancadora de donde se obtienen los diferentes tamaños de agregados.



Fuente N° 1 Planta de Agregados (Chancadora de la Empresa ERIKA)



Fuente N° 2 Planta de Agregados (Chancadora de la Empresa ERIKA)

Tabla N° 3.1
Faja Granulométrica para la Mezcla Drenante Tipo “PA-12”

Tamiz	Tamaño Máximo Nominal del Agregado 3/4"	
	Porcentaje total que pasa	
3/4"	100	100
1/2"	70	100
3/8"	50	80
N° 4	15	30
N° 80	10	22
N° 30	6	13
N° 200	3	6

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.4 SELECCIÓN DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA

Tabla N° 3.2
Curvas Granulométrica
Granulométrica de los agregados pétreos existentes

Peso Suelto seco (Grs.) 7184,00			2800		3397.00		Abertura
Tamiz	Grava de 3/4		Grava de 3/8		Arena Triturada		Tamiz
N°	Peso Ret.	% Pasa	Peso Ret.	% Pasa	Peso Ret.	% Pasa	mm
3/4"	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	19,00
1/2"	6455,00	10.15	0,00	100,00	0,00	100,00	12,70
3/8"	659,00	0.97	0,00	100,00	15,00	99.56	9,52
N° 4	46,00	0.33	2169.00	22.54	7.00	99.35	4,75
N° 8			582.00	1.75	883.00	73.36	2,36
N° 30			39.00	0.36	826.00	31.68	0,60
N° 200					200.00	15.07	0,075

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.5 CEMENTO ASFÁLTICO.

El rol del ligante, es mantener los agregados con suficiente cohesión para resistir desprendimientos y desplazamientos. La durabilidad del ligante está vinculada con la oxidación y el mantenimiento de su poder cohesivo.

La tendencia mundial es utilizar ligantes asfálticos modificados, con aporte de polímeros, neumáticos reciclados o aditivos para mejorar la consistencia y conseguir elevados espesores de película. También con estos se busca aumentar la adhesividad, la cohesión y evitar escurrimientos, o al menos disminuir la tendencia a que éste se produzca.

El cemento asfáltico que se ha empleado para esta investigación es proveniente de la Empresa Brasileira Petrolera del Suquíás SRL., el muestreo se lo ha realizado en la empresa constructora, consorcio “ANDALUZ”, la cual cuenta con este cemento asfáltico para sus trabajos.

El cemento asfáltico empleado tiene una penetración correspondiente a un C. A. 60 – 85, el cual es recomendado para climas templados como el de Tarija, además se recomienda su aplicación en calles y carreteras con tránsito liviano a medio por lo que es aplicable en la investigación en su empleo con agregados naturales y triturados para un pavimento drenante asfáltico

Tabla N° 3.3
Cemento asfáltico con polímeros

CEMENTO ASFÁLTICO CON POLÍMEROS					
Ensayo	Unidad	Resultados	Especificaciones		Designación
			Mínimo	Máximo	AASHTO
Peso específico	g/cm ³	1.000	0.95	1.05	T - 227
Punto de Inflamación	°C	>230		230	T - 48
Penetración a 25°C, 100s. 5seg	mm	86	85	100	T - 49
Punto de Ablandamiento	°C	68	65		T - 53

Fuente: Elaboración propia

3.5 DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA DRENANTE

Para la composición de los agregados fue utilizado el proceso de tentativas, después de analizarlas fajas granulométricas de los agregados y cumpliendo las exigencias de las especificaciones técnicas, la composición porcentual en peso de los agregados, alcanza los siguientes valores

Tabla N° 3.4
Dosificación de Materiales
Planilla de Granulometría Proyectada

DOSIFICACIÓN DE MATERIALES																								
PLANILLA DE GRANULOMETRIA PROYECTADA																								
MATERIAL	plg.	1"		3/4"		1/2"		3/8"		N° 4		N° 8		N° 16		N° 40		N° 50		N° 100		N° 200		
	Mm.	25.40	19.05		12.70		9.53		4.75		2.36		1.18		0.60		0.3		0.15		0.075			
	%	%	M	%	M	%	M	%	M	%	M	%	M	%	M	%	M	%	M	%	M	%	M	
Grava de 3/4"	33.0	100.0	33.0	100.00	33.0	10.15	3.3	0.97	0.3	0.33	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Grava de 3/8"	48.0	100.0	48.0	100.0	48.0	100.0	48.0	100.0	48.0	22.54	10.8	1.75	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.36	0.2
Arena Triturada	19.0	100.0	19.0	100.0	19.0	100.0	19.0	99.66	18.9	99.35	18.9	73.36	13.9	0.00	0.0	31.68	6.0	26.41	5.0	20.26	3.8	15.07	2.9	
RESULTANTE	100.0		100.0		100.0		70.35		67.24		29.80		14.78		0.00		6.02		5.0		3.8		3.04	
ESPECIFICACIONES (mín.-Máx.)			100	100	100	100	70	100	50	80	15	30	10	22			6	13					3	6

Tabla N° 3.5
Aporte Porcentual de Agregados en Peso, Mezcla Drenante

Material	Cantidad (%)
Grava 3/4"	33
Grava 3/8"	48
Material Fino	19

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.6
Curva granulométrica Seleccionada para la Mezcla “PA – 12”

Tamices	Gradación "PA-12"		% Pasa por Tamiz
	Mínimo	Máximo	
3/4"	100	100	100,00
1/2"	70	100	70,35
3/8"	50	80	67,24
N° 4	15	30	29,80
N° 8	10	22	14,70
N° 30	6	13	6,02
N° 200	3	6	3,04

Elaboración

Fuente:
propia

3.5.1

MÉTODO

MARSHALL

Este método es aplicable a mezclas en caliente con cementos asfálticos que contengan áridos con tamaño máximo absoluto igual o inferior a 25 mm. Se puede usar tanto para el diseño en laboratorio como el control de terrenos y describe una metodología para determinar el óptimo de asfalto en mezclas.

Se debe determinar los siguientes parámetros:

- **La densidad real seca de cada árido que participa en la mezcla y la del filler**

$$\text{Volumen} = P. \text{ saturada. Superf. Seca} - P. \text{ sumergido en agua (1)}$$

- **La densidad máxima de la mezcla suelta, para un contenido de asfalto**

Óptima previsto.

$$\text{Densidad Máxima} = \frac{100}{\frac{\% \text{ de asfalto}}{100 - \text{Peso específico del C.A.}} + \frac{100 - \text{Peso específico del C.A.}}{\text{Peso específico de los agregados}}} \quad (2)$$

- **Las densidades de las briquetas compactadas.**

$$\text{Densidad de Briquetas} = \frac{\text{peso seco}}{\text{volumen}} \quad (3)$$

$$\text{Densidad de Briquetas}_{\text{promedio}} = \frac{\sum \text{densidad de briquetas} \% \text{ de asfalto}}{\text{numero de \% de asfalto}} \quad (4)$$

- **Porcentaje de Vacíos de la Mezcla Total**

$$\% \text{ de vacíos de la mezcla} = \frac{\text{Densidad Maxima} - \text{Densidad de Briquetas}_{\text{promedio}}}{\text{Densidad Maxima} * 100} \quad (5)$$

- **Vacíos Agregados Mineral**

$$\text{V.A.M.} = \% \text{ de vacíos de la mezcla} + \frac{(\% \text{ de asfalto} + \text{Densidad de Briquetas}_{\text{promedio}})}{\text{Peso específico del C.A.}} \quad (6)$$

- **Relación de Bitumen de Vacíos**

$$\text{R.B.V} = \frac{(\text{V.A.M.} \% \text{ de vacios de la mezcla})}{\text{V.A.M.} * 100} \quad (7)$$

- **La Estabilidad de las mezclas usando un equipo Marshall**

$$\text{Estabilidad de Marshall} = \frac{0.000004 * (\text{lec. dial})^3 - 0.0038 * (\text{lec. dial})^2 + 5055 * \text{lec dial} + 11.768}{0.4536} \quad (8)$$

- **La Fluencia de las mezclas usando un equipo Marshall**

$$\text{Flujo} = \frac{\sum \frac{1}{n}}{n} * 10 \quad (9)$$

Se debe realizar el siguiente procedimiento:

- Con la composición granulométrica definida, se preparan para cada contenido de ligante un mínimo de tres briquetas.
- Las distintas fracciones de agregados se secan en estufa hasta peso constante a una temperatura de 105°C a 110°C y sepárelo por tamiz en seco.
- El asfalto empleado se calienta hasta una temperatura tal que se su viscosidad permita una buena mezcla con los agregados sin que ocurra escurrimiento (150°C a 170°C)

- Para cementos asfálticos la temperatura de composición debe de estar entre 140°C a 145°C.
- Se realizan las briquetas de 1000 a 1200 gr. Esto para que como resultado de una briketa compactada de una altura mínima de 65 mm.
- La mezcla de los áridos debe de ser colocada en el horno a una temperatura de 180°C.
- Colocar el árido caliente en una plancha firme de mezclado y se debe de revolver completamente, se debe de incorporar el cemento asfáltico. En instante la temperatura del cemento asfáltico y los áridos deben de estar dentro de los límites establecidos. Se debe de mezclar el árido y el asfalto lo más rápido posible para que este no sufra de un enfriamiento y endurecimiento de la muestra.
- Preparar el molde y el martillo, limpiando completamente el conjunto del molde y la cara del martillo de compactación calentarlos durante 15 min. en la plancha a una temperatura aproximada a la de la compactación
- Colocar un disco de papel filtro cortado a medida en la parte inferior del molde antes de colocar la mezcla.
- Llenar el molde con una espátula acomodando la mezcla 15 veces en el perímetro y 10 veces en el centro. La temperatura antes de compactar debe de estar en los límites establecidos.
- La compactación de la mezcla se realiza empleando los moldes y el martillo Marshall, pero dando a cada briketa debe de enfriar por una hora.

Determinación de la densidad, espesor, estabilidad y fluencia:

- Colocar las briquetas en un baño de agua temperatura de 25°C, durante 30 a 40 min, seguidamente pesar estas briquetas para obtener un peso seco superficial.
- Sumergir las briquetas en bañador con agua y pesar estas cuando se encuentren dentro del bañador, para así obtener un peso sumergido.
- Colocar las briketa en un baño maría a 60 +/- 1°C, durante 30 a 40 min.

- Sacar la briqueta del agua del y seque cuidadosamente la superficie. Coloque y seque la briqueta en la parte inferior de la mordaza de aparato de Marshall, luego coloque la parte superior y centre el conjunto en el aparato de carga.
- Aplicar carga a la briqueta a una velocidad constante de deformación de 50 +/-1 mm/min, hasta que se produzca la falla.
- El punto de falla queda definido por la carga máxima obtenida, se define la estabilidad Marshall como el número total de newtons (N) necesarios para producir la falla de la briqueta a 60°C.
- A medida que avanza el ensayo de estabilidad sujete firmemente el medidor del flujo sobre la barra guía cuando se produzca la carga máxima se debe de tomar la lectura y anotarla. Esta lectura es el valor de la briqueta expresada en unidades de 25 mm (1/100plg).

La determinación de la estabilidad y la fluencia, comenzando desde el momento en que retira la briqueta del agua, no debe durar más de 30 seg.

3.5.2 MÉTODO CÁNTABRO

- Separados los áridos en fracciones se procederá ponderalmente a la recompensación de la granulométrica de la fórmula de trabajo. Finalmente con la composición granulométrica definida se preparan para cada contenido de ligante un mínimo.
- Las distintas fracciones de agregados se secan en estufa hasta peso constante a una temperatura de 105°C a 110°C.
- En un recipiente tarado se van pesando sucesivamente las cantidades de cada una de las fracciones de tal modo que la cantidad total de árido sea de 1000gr. Y el resto del proceso es el mismo que el procesamiento Marshall.
- El asfalto empleado se calienta hasta una temperatura tal que su viscosidad permita una buena mezcla con los agregados sin que ocurra escurrimiento (140°C a 160°C).
- La compactación de la mezcla se realiza empleando los moldes y el martillo Marshall, pero dando a cada briqueta un total de 50 golpes por cara.

- Sobre las briqueta fabricadas se realizan ensayos de densidad y vacíos, siguiendo el procedimiento geométrico.
- Se pesan las briquetas y luego se las someten a la máquina de desgaste de los ángeles sin carga abrasiva a 300 vueltas. La temperatura debe estar entre 18 a 25°C.
- Después de ser sometida las probetas a la máquina de desgaste de los ángeles, se vuelven a pesar y se calcula la pérdida de peso en porcentaje respecto del inicial que ha sufrido cada una de las briquetas.

Se calcula el resultado del ensayo de pérdida por desgaste para cada briqueta ensayada, mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100$$

Donde:

P = Valor de la pérdida por desgaste, en %

p_1 = Masa inicia de la briqueta, en gramos

p_2 = Masa final de la briqueta, en gramos

3.6 ANÁLISIS Y RESULTADOS DEL MÉTODO CÁNTABRO – MEZCLA ASFÁLTICA DRENANTE CON CEMENTO ASFÁLTICO CON POLÍMEROS

3.6.1 EVALUACIÓN DE LA COHESIÓN

Como principio partimos de elaborar tres tipos de diferentes mezclas asfálticas en las cuales se hizo variar el cemento asfaltico.

Se construyen tres series de tres briquetas cada una, con 4.0, 4.5 y 5.0 de cemento asfáltico respectivamente y dando una compacidad de 50 golpes por cara para cada serie. Las briquetas fabricadas con estas mezclas deberán tener una relación de vacíos que se mantengan dentro de un rango de 15 y 25 % para poderlas considerar como mezclas drenantes. Con los valores obtenidos al ensayar estas briquetas se pretende

encontrar un contenido de cemento asfáltico óptimo correspondiente a la granulométrica que estamos proponiendo.

Las briquetas fabricadas se dejaron en reposo durante dos días para lograr su curado total, para que el asfalto desarrolle la cohesión y la adhesividad y luego ser ensayadas a una temperatura de 25°C aproximadamente, en condiciones en seco y húmedo.

Realizando los diferentes ensayos se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N° 3.7
Resultados Obtenidos con el Método Cántabro en Seco
Con Diferentes Porcentajes de Asfalto

N° DE BRIQUETAS	%DE ASFALTO	MASA INICIAL P1 (gr.)	MASA FINAL P2 (gr.)	% DE PERDIDA POR DESGASTE (P)	PROMEDIO DE PERDIDA POR DESGASTE
1	4	998	854,7	14,36	14,52
2	4	995	850,5	14,53	
3	4	986,8	841,7	14,7	
4	4,5	988,5	875,6	11,42	11
5	4,5	978	871,5	10,89	
6	4,5	991,5	885,4	10,7	
7	5	977,8	898,2	8,14	8,36
8	5	956,2	878,6	8,12	
9	5	991	903,5	8,83	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.8
Resultados Obtenidos con el Método Cántabro en Seco
Con Diferentes Porcentajes de Asfalto

DESCRIPCIÓN	1	2	3
Asfalto (%)	4	4,5	5
Densidad Máxima Teórica (gr./cc)	2,567	2,546	2,526
Densidad Real de la Mezcla (gr./cc)	2,091	2,91	2,11,
Vacíos de la Mezcla (%)	18,53	17,87	16,45
Vacíos del agregado mineral (%)	26,89	26,9	26,23
Relación Betunen vacíos	31,1	31,88	33,92

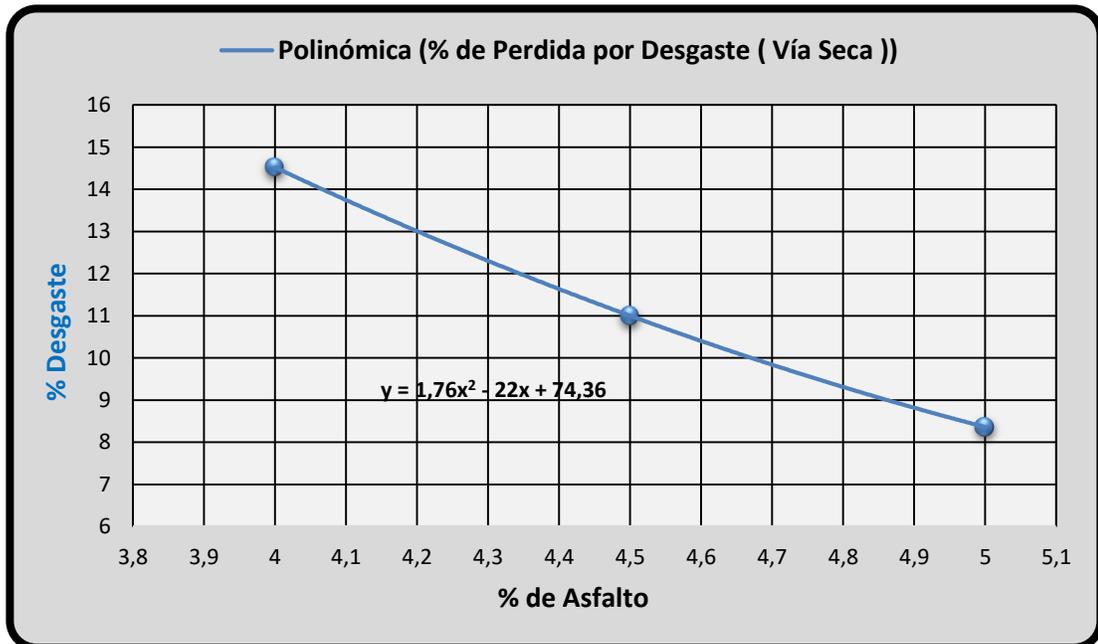
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a especificaciones las mezclas abiertas no deben de tener un desgaste superior al 25%. Se puede observar que para 4% de cemento asfáltico el desgaste es elevado debido a que no existe bastante cohesión en mezcla, sin embargo para un 4.5 y 5% ya son inferiores a este parámetro.

Con los valores obtenidos en el laboratorio se puede construir una curva de desgaste, relacionando el contenido de cemento asfáltico con la resistencia al desgaste, en donde se representen los valores del desgaste en seco y poder encontrar un valor de cemento asfáltico que conjugue esta condición y garantice un porcentaje de desgaste mediante el ensayo Cántabro menor a un 25%.

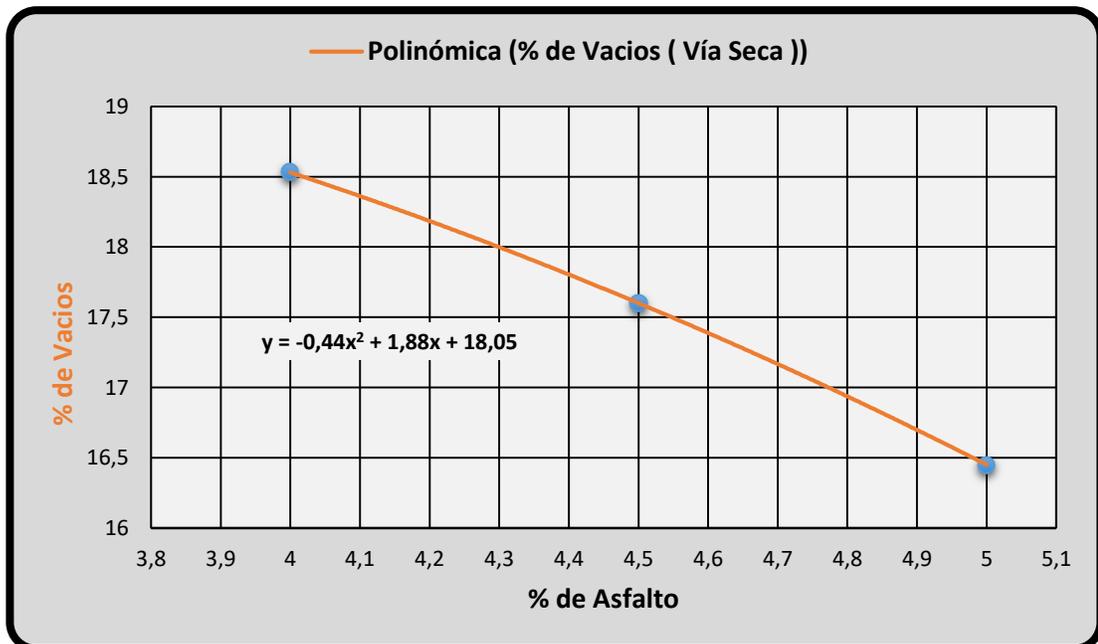
Con los datos obtenidos de haber ensayado al cántabro las briquetas que constituían las series anteriormente mencionadas es posible construir la siguiente gráfica:

Gráfica 3.1
% de Pérdida por Desgaste Vs. % de Asfalto (Vía Seca)



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.2
% Vacíos Vs. %de Asfalto (Vía Seca)



Fuente: Elaboración propia

3.7 INTERPRETACIÓN DE LAS GRÁFICAS

Al analizar las gráficas 3.1 y 3.2, las cuales son usadas en el método cántabro para el diseño de una mezcla asfáltica drenante con polímeros, se observa en los resultados del gráfico 3.1 que todos los porcentajes de ligante de prueba cumplen con la exigencia de la normativa, es decir $< 25\%$ de pérdida por desgaste.

Al observar la gráfica 3.2 se puede evidenciar que también existe un rango de ligante entre 4% y 5% que cumplen con la otra exigencia de la mezcla drenante de tener vacíos entre el 16% al 25%.

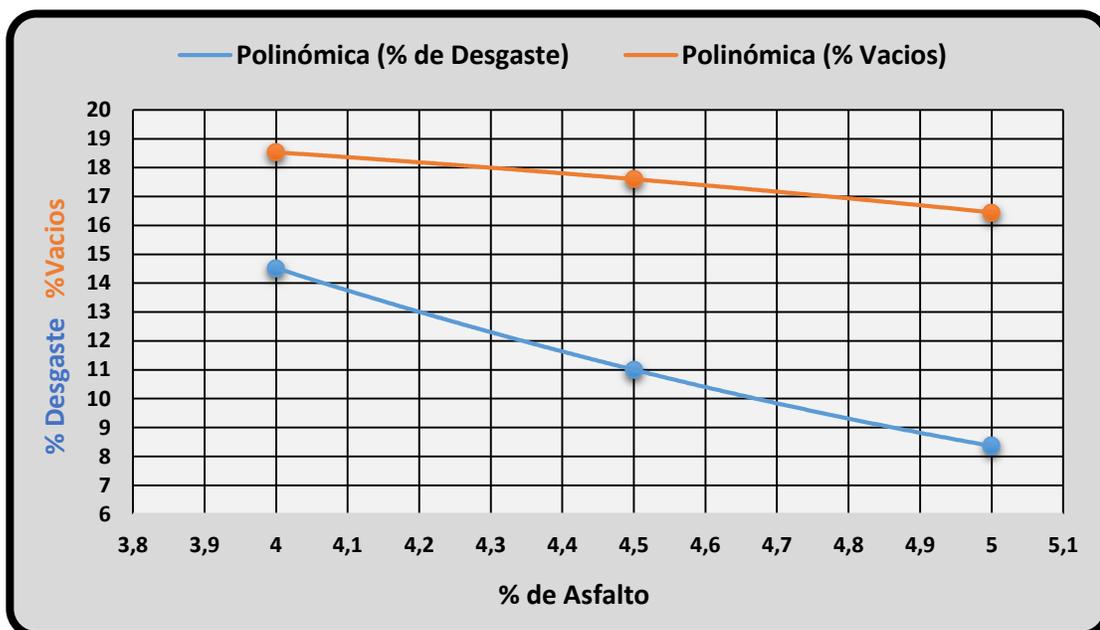
Como el porcentaje de vacíos de diseño asumido es del 17.87%, el porcentaje de ligante que cumpliría con esta condición es del 4.5%, con lo cual se puede tomar este como contenido de ligante de diseño.

Pero para asegurar los vacíos que se desean se adopta el 4% como ligante de diseño, ya que cumple con vacíos del alrededor del 18.53%, con una pérdida por desgaste del orden del 14.52%, valores estos más que aceptables. Además, si se toma en cuenta que se utiliza menos ligante, lo que implica un importante ahorro, aun se garantiza un buen recubrimiento de la película de ligante en el agregado.

Podríamos haber optado por un porcentaje de ligante más alto ya que el rango de estos está entre 4% y 5%, pero la ventaja al trabajar con un porcentaje menor de ligante se obtienen mayores porcentajes de vacíos, es por tal razón que se opta por trabajar con el mínimo porcentaje de ligante.

Finalmente se puede elaborar la Gráfica 3.3 que visualiza el comportamiento simultáneo del desgaste al cántabro y el porcentaje de vacíos ante una determinada cantidad de cemento asfáltico.

Gráfica 3.3
%Desgaste y %Vacíos Vs. % de Asfalto (Vía Seca)



Fuente: Elaboración propia

Se representa el comportamiento de las mezclas para los diferentes contenidos de cemento asfáltico en condiciones de desgaste al cántabro y contenido de vacíos. Con esta gráfica se establece como dato de entrada el porcentaje de vacíos que se proyectan con una línea horizontal hasta cortar con la gráfica de contenido de vacíos, posteriormente se proyecta hacia el eje de las abscisas y así podemos determinar la cantidad de cemento asfáltico para finalmente con este dato obtenido, prolongar una línea vertical y cortar con la gráfica de desgaste al cántabro y proyectar hacia el eje de las ordenadas y así podemos determinar un valor de porcentaje de desgaste al cántabro que se obtiene con esa cantidad de vacíos y contenido de ligante.

Para nuestro caso en particular de la mencionada gráfica podemos determinar que para un 17.5 de contenido de vacíos proyectado a la curva de contenido de vacíos se obtiene un 4.65% de cemento asfáltico y que proyectado en la gráfica de desgaste al cántabro se obtiene un desgaste de 10.

3.8 EVALUACIÓN DEL MASTICO FILLER-BETUM

Además cuando se incorpora filler a la mezcla el espesor de película adherida a los áridos por fuerzas de cohesión será mayor, que la que correspondería a sus características superficiales, ya que se suman los efectos producidas por las partículas embebidas en el ligante, formando una película más consistente y aumentando más aun la fuerza de cohesión entre los áridos.

Cuando el filler se dispersa en un betún se forma un mastico que tiene una mayor consistencia y unas propiedades diferentes a las del ligante original, aumentando notablemente su viscosidad y tenacidad.

Este cambio de las propiedades del betún tienen unos efectos muy favorables sobre las propiedades de la mezcla, mejora su estabilidad, resistencia a la tracción, su resistencia al desgaste, etc. pudiendo tener un efecto beneficioso sobre la adhesividad árido – ligante.

Por tanto una cierta proporción de filler, principalmente las partículas más pequeñas que el espesor de la película de ligante quedan embebidas en la masa de ligante, no pudiendo contribuir al relleno del esqueleto mineral más que de forma aislada, sino que forman un mortero de características diferentes a las del ligante sólo, en forma de película sobre la superficie mineral que modificará las características de la mezcla.

Interesa ahora comprobar la validez del ensayo para evaluar el efecto de la incorporación de filler sobre la cohesión. Para ello se ha seleccionado un filler tipo Cemento portland, que se incorporará al mezcla de trabajo, con un contenido constante, determinándose a continuación las pérdidas por desgaste debido a la cohesión.

El efecto del filler sobre las propiedades de la mezcla puede también ser evaluado mediante el ensayo cántabro determinando las pérdidas en seco y tras inmersión (adhesividad). Además este método permite valorar el comportamiento de falleres no convencionales.

3.9 EVALUACIÓN DE LA ADHESIVIDAD

Para conseguir una adecuada resistencia al desgaste es necesaria una buena adherencia entre el ligante y el árido. Pero la pérdida por desgaste no depende únicamente de la adherencia árido – ligante, sino que influyen otras propiedades del ligante consistencia, fragilidad, viscosidad, etc. Y del agregado: forma, textura, dureza, etc. Por ello resulta complicada la aplicación del ensayo cántabro de pérdida por desgaste a la valoración de adhesión mecánica del ligante al agregado. Pero donde se puede tener una aplicación adecuada es en la adhesión del ligante al árido en presencia del agua.

Si se realiza una comparación de los resultados obtenidos en la medida de la resistencia al desgaste de probetas mantenidas al aire frente a otro grupo de probetas, fabricadas de igual manera, pero sometidas a condiciones de inmersión durante un determinado tiempo y a cierta temperatura antes de ser ensayadas, la diferencia que se podrá observar será exclusivamente debido al efecto de desenvuelta producido por el agua. Es decir, el aumento de las pérdidas estará relacionado con la adhesividad del ligante al árido.

Este es el procedimiento general utilizado por los ensayos denominados mecánicos en la valoración de la adhesividad, pero en este caso el procedimiento aquí expuesto tiene la ventaja de eliminar del ensayo otros factores que pueden influir sobre la resistencia y en ningún caso eran eliminados de los anteriores, refiriéndose al efecto del filler y del árido fino. Al poder eliminar en su totalidad la presencia de finos y filler en la elaboración de la mezcla, las pérdidas están relacionadas únicamente con la adhesividad del ligante asfáltico a las partículas del agregado. Pero la adhesividad no es exclusiva del ligante, sino que a su vez depende del conjunto árido – ligante: un ligante presentará buena o mala adhesividad según el tipo y condiciones del agregado a utilizar. Por esto, para poder estudiar correctamente la adhesividad de un ligante hay que considerar el árido que se va a manipular.

Mayor importancia alcanza el establecer las condiciones de inmersión de las probetas en el agua, el procedimiento y condiciones para su ensayo. El proceso de desenvuelta del agregado por acción del agua se acentúa con mayor precisión la temperatura de esta y más prolongado sea el periodo de inmersión de las briquetas. Por otro lado la

temperatura del agua no puede alcanzar temperaturas muy elevadas ya que se produciría el desmoronamiento de las briquetas.

En este trabajo se evalúan la condición de inmersión, sumergido la briketa un día a 60°C, (inmersión), siendo esta la más considerada; acto seguido al periodo de inmersión, las briquetas permanecerán secándose al aire a 25°C de temperatura durante 24 horas tiempo después del cual se fallará a 300 revoluciones.

Realizando los diferentes ensayos se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N° 3.9
Resultados Obtenidos con el Método Cántabro en Húmedo
Con diferentes Porcentajes de asfalto

N° DE BRIQUETAS	% DE ASFALTO	MASA INICIAL P1 (gr.)	MASA FINAL P2 (gr.)	% DE PERDIDA POR DESGASTE (P)	PROMEDIO DE PERDIDA POR DESGASTE
1	4	989,2	743,5	24,84	24,5
2	4	990	738,8	25,37	
3	4	983,4	754,2	23,31	
4	4,5	983,5	784,6	20,22	19,7
5	4,5	972,5	778,5	19,95	
6	4,5	996,5	807,9	18,93	
7	5	967,2	796	17,7	16,72
8	5	945,5	790	16,45	
9	5	970,5	815	16,02	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.10
Resultados Obtenidos con el Método Cántabro en Húmedo
Con diferentes Porcentajes de asfalto

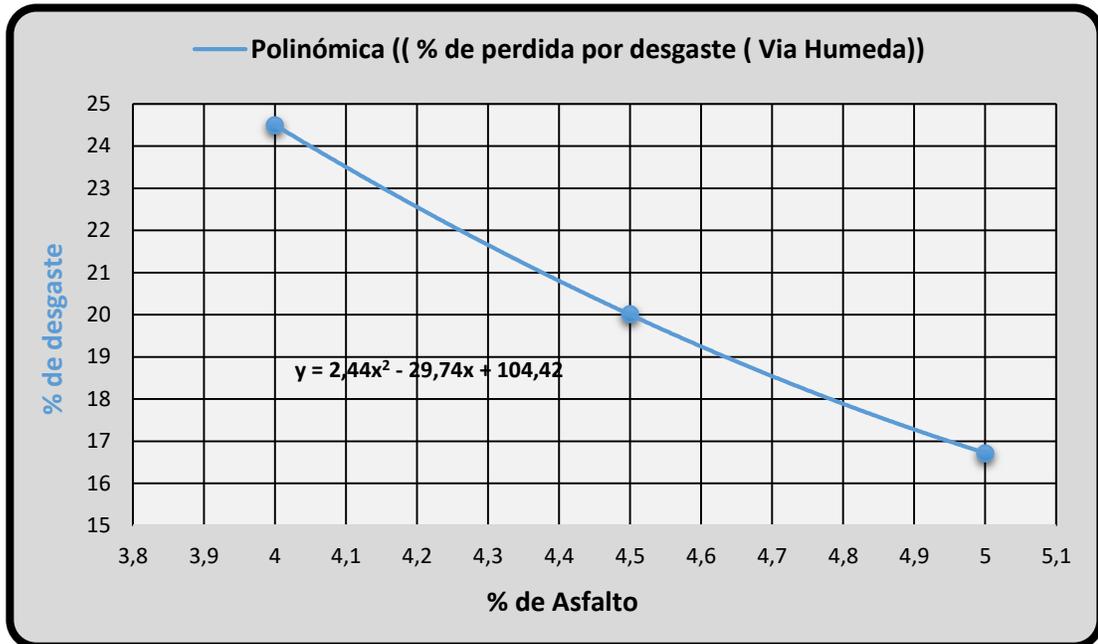
DESCRIPCIÓN	1	2	3
Asfalto (%)	4	4,5	5
Densidad Máxima Teórica (gr./cc)	2,567	2,546	2,526
Densidad Real de la Mezcla (gr./cc)	2,11	2,111	2,117
Vacíos de la Mezcla (%)	17,79	17,1	16,18
Vacíos del agregado mineral (%)	26,23	26,21	26
Relación Betunen vacíos	32,17	33,05	34,35

Fuente: Elaboración propia

Con los valores obtenidos en el laboratorio se puede construir una curva de desgaste, en donde se represente los valores del desgaste en húmedo y poder encontrar un valor de cemento asfáltico que conjugue esta condición y garantice un porcentaje de desgaste mediante el ensayo Cántabro menor a un 25%.

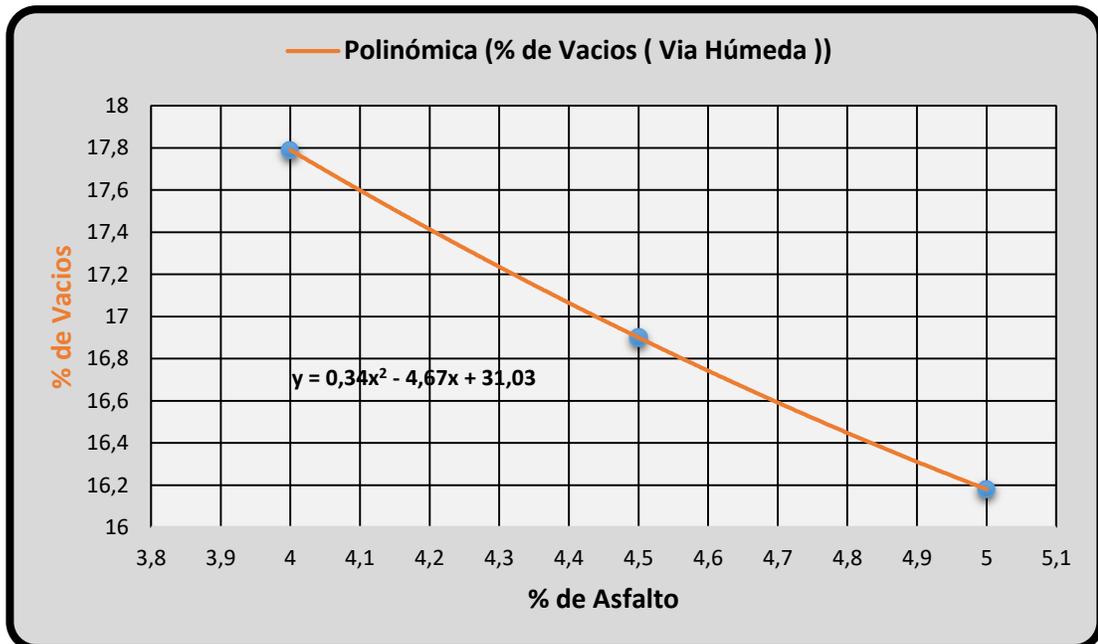
Con los datos obtenidos de haber ensayado al cántabro las briquetas que constituían las series anteriormente mencionadas, es posible construir las siguientes Gráficas:

Gráfica 3.4
% de Pérdida por Desgaste Vs. % de Asfalto (Vía Húmeda)



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.5
% de Vacíos Vs. % de Asfalto (Vía Húmeda)



Fuente: Elaboración propia

3.10 INTERPRETACIÓN DE LAS GRÁFICAS

Al analizar las gráficas 3.4 y 3.5, las cuales son usadas en el método cántabro para el diseño de una mezcla asfáltica drenante con polímeros, se observa en los resultados del gráfico 3.4 que todos los porcentajes de ligante de prueba cumplen con la exigencia de la normativa, es decir $< 25\%$ de pérdida por desgaste.

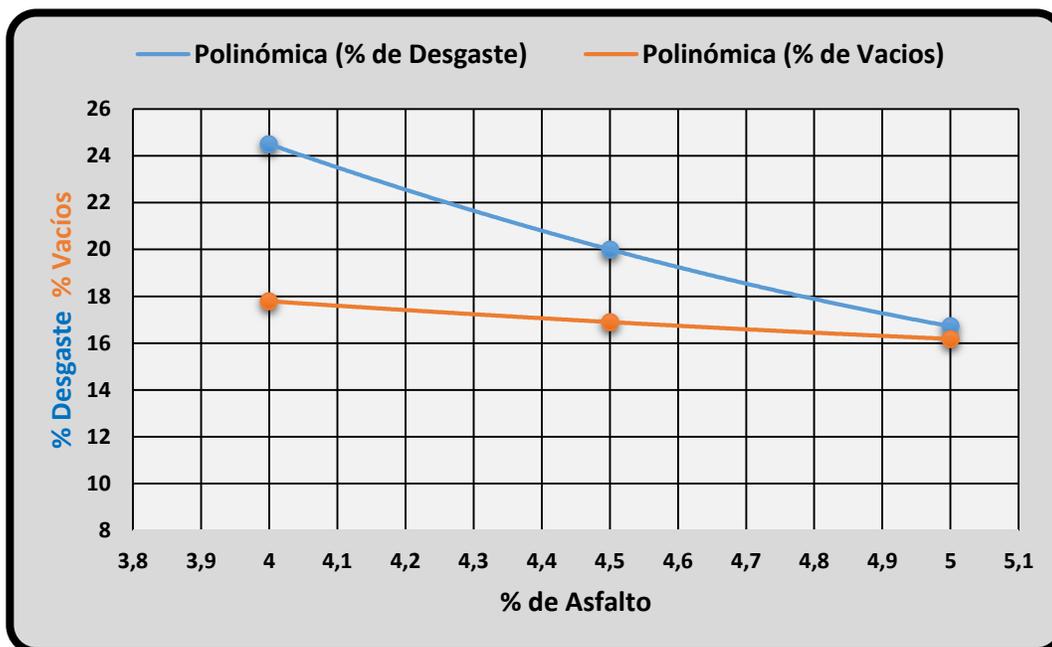
Al observar la gráfica 3.5 se puede evidenciar que también existe un rango de ligante entre 4% y 5% que cumplen con la otra exigencia de la mezcla drenante de tener vacíos entre el 16% al 25%.

Como el porcentaje de vacíos de diseño asumido es del 17.5%, el porcentaje de ligante que cumpliría con esta condición es del 4.5%, con lo cual se puede tomar este como contenido de ligante de diseño.

Pero para asegurar los vacíos que se desean se adopta el 4.5% como ligante de diseño, ya que cumple con vacíos del alrededor del 17.1%, con una pérdida por desgaste del orden del 19.70%, valores estos más que aceptables.

Finalmente se puede elaborar la Gráfica 3.6 que visualiza el comportamiento simultáneo del desgaste al cántabro y el porcentaje de vacíos ante una determinada cantidad de cemento asfáltico.

Gráfica 3.6
Desgaste y Vacíos Vs. % de Asfalto (Vía Húmeda)



Fuente: Elaboración propia

Se representa el comportamiento de las mezclas para los diferentes contenidos de cemento asfáltico en condiciones de desgaste al cántabro y contenido de vacíos. Con esta gráfica se establece como dato de entrada el porcentaje de vacíos que se proyecta con una línea horizontal hasta cortar con la figura de contenido de vacíos, posteriormente se proyecta hacia el eje de las abscisas y así podemos determinar la cantidad de cemento asfáltico, para finalmente con este dato obtenido prolongar una línea vertical y cortar la Gráfica de desgaste al cántabro y proyectar hacia el eje de las ordenadas y así podemos determinar un valor de porcentaje de desgaste al cántabro que se obtiene con esa cantidad de vacíos y contenido de ligante.

Para nuestro caso en particular de la mencionada gráfica podemos determinar que para un 17.5% de contenido de vacíos proyectado a la curva de contenido de vacíos se obtiene un 4.25% de cemento asfáltico y que proyectado en la gráfica de desgaste al cántabro se obtiene un desgaste de 21.8.

Por lo tanto se fabricaron tres briquetas por cada porcentaje de cemento asfáltico, nueve se sometieron en condiciones normales (25°C durante 12 horas), otras nueve en

condiciones de inmersión (A), dejando estas últimas nueve durante un día en proceso de secado al aire a 25°C, los resultados obtenidos en el ensayo aparecen resumidos en la Tabla N° 3.11

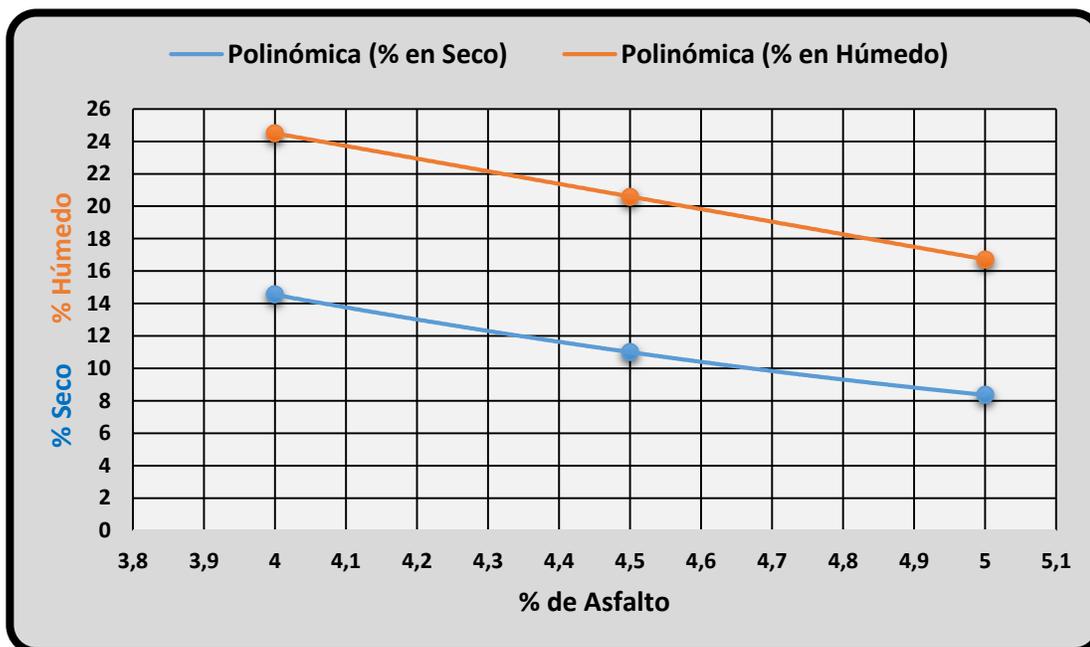
Tabla N° 3.11
% De Desgaste Al Cántabro

REVOLUCIONES (N°)	CONDICIONES DE ENSAYO	% DE DESGASTE AL CÁNTABRO		
		4.0%	4.5%	5.0%
300	En Seco	14.54	11.00	8.36
	Tras Inmersión (A)	24.50	20.60	16.72

Fuente: Elaboración propia

En la Gráfica 3.7 se representan las pérdidas en seco y tras inmersión tipo (A) para cada uno de los porcentajes de ligantes asfálticos ensayados. En primer lugar se observa un mediano incremento de las pérdidas tras inmersión en un valor promedio de 9.3%, el cual es debido al alto grado de severidad al cual fue sometida la briqueta bajo la condición de inmersión. De allí podemos deducir que al irse incrementando la severidad del ensayo las pérdidas también van aumentando.

Gráfica 3.7
% de Pérdida por Desgaste Vs. % de Asfalto (Vía Seca y Húmeda)



Fuente: Elaboración propia

Con los valores obtenidos en el laboratorio se puede construir una curva de desgaste relacionando el contenido de cemento asfáltico con la resistencia al desgaste en donde se representen los valores del desgaste en seco y húmedo y poder encontrar un valor de cemento asfáltico que conjugue estas dos condiciones y garantice un porcentaje de desgaste menor a un 25%.

Como se mencionó anteriormente el valor de desgaste máximo que deben tener las mezclas asfálticas abiertas ensayadas al cántabro no deben ser mayor de un 25%, en base a esto, para esta parte de la investigación establecemos un parámetro de desgaste que va de a un 18% y entre ellos un valor medio que es de 16%

Se representa el comportamiento de las mezclas para los diferentes contenidos de cemento asfáltico en condiciones Seca y Húmeda. Con esta gráfica se establece el área que se conjuga entre las dos curvas para los valores de desgaste 14% y 18% de desgaste y se saca el centroide del área, donde este corta con el valor de 16% de desgaste se proyecta hacia el eje de las abscisas y así podemos determinar un valor óptimo de cemento asfáltico que para este caso en partículas es igual a 4.5.

4.1 CONCLUSIONES

Las conclusiones extraídas en el desarrollo del presente trabajo son las siguientes:

- ❖ Con materiales disponibles en la región es factible formular mezclas porosas con elevado porcentaje de vacíos y adecuada resistencia a la pérdida de la adherencia.
- ❖ Si trabajamos con cemento asfáltico convencional para el diseño de una mezcla drenante, este tiene una menor cohesión, resistencia y adherencia y al utilizar un ligante con polímeros esta tendrá una mayor adherencia, sus propiedades físicas y reológicas son mayores, podremos trabajar con un menor porcentaje de asfalto.
- ❖ Para el diseño de una mezcla asfáltica drenante, se debe tener bastante cuidado en la elección de los agregados a utilizar, pues estos deben cumplir con los requisitos técnicos y ser de buena calidad.
- ❖ En el diseño de mezclas drenantes en laboratorio se obtuvieron resultados satisfactorios, partiendo desde el % de vacíos obtenidos por cada briqueta hasta observar los resultados de desgaste de briquetas bajo el método, en ambos casos los resultados estuvieron dentro de los rangos de especificaciones.
- ❖ El método de caracterización y dosificación Cántabro es un procedimiento adecuado para evaluar la adherencia del asfalto respecto al pétreo al ser determinada la pérdida de la cohesión. Por ser un procedimiento cuantitativo es de mayor precisión con respecto al resto de ensayos que son subjetivos.
- ❖ Con el Método Cántabro Vía Seca se determinó un porcentaje de ligante de 4%, ya que cumple con vacíos alrededor del 18.53 %, con una pérdida por desgaste del orden del 14.52 %, estos valores cumplen con las exigencias de la mezcla drenante, además de asegurarnos un recubrimiento óptimo de los agregados, mejorando de esta manera la cohesión y lo más importante el rozamiento interno de la mezcla ya que con este valor existe menor desgaste por abrasión.
- ❖ Con el Cántabro Vía Húmeda fue determinado de una forma conservadora ya que se busca que el desgaste sea menor al máximo considerado, se adopta el

4.5 % como ligante de diseño, ya que cumple con vacíos alrededor del 17.10 %, con una pérdida por desgaste del orden del 19.70 %, valores más que aceptables.

- ❖ Se representaron las pérdidas en seco y tras inmersión tipo para cada uno de los porcentajes de ligantes asfáltico ensayados. En primer lugar se observa un mediano incremento de las pérdidas tras inmersión en un valor promedio de 9,3%; el cual es debido al alto grado de severidad al cual fue sometida la probeta bajo la condición de inmersión. De allí podemos deducir que al irse incrementando la severidad del ensayo, las pérdidas también van aumentando.
- ❖ Se representó el comportamiento de las mezclas para los diferentes contenidos de cemento asfáltico en condiciones seco y húmedo .Se establece el área que se conjuga entre las dos curvas para los valores de desgaste de 14 y 18% y se saca el centroide del área y en donde éste corta con el valor de 16% de desgaste se proyecta hacia el eje de las abscisas y así podemos determinar un valor óptimo de cemento asfáltico que para este caso en particular es igual a 4.50 %
- ❖ La falta de cohesión en la mezcla drenante hace que ésta sea bastante crítica ante ciertos esfuerzos del tráfico, especialmente los del tipo tangencial que provocan la disgregación de la mezcla. Para poder conjugar una buena porosidad con una buena resistencia a la disgregación, es necesario realizar un diseño cuidadoso de la mezcla, eligiendo con detalle los distintos componentes, sus proporciones y utilizando los ensayos puestos a punto.
- ❖ Para el diseño de la mezcla drenante se utilizó asfalto modificado con polímeros tipo SBS, el cual aumenta las propiedades físicas y reológicas de las mezclas asfálticas.
- ❖ Para conseguir una buena mezcla, entre el agregado y el ligante, se debe trabajar con una temperatura entre 140 °C a 155°C, temperatura con la cual es posible realizar la mezcla de manera que todo el agregado esté cubierto con ligante.
- ❖ Para la aplicación de este tipo de mezclas, la capa inferior debe estar totalmente impermeabilizada, tener buenas especificaciones planimetrías, geométricas y de drenaje, para evitar la infiltración del agua hacia las capas inferiores o la

acumulación de la misma dentro de la carpeta.

- ❖ Se debe aumentar el porcentaje de riego de liga para conseguir una mejor unión con la capa inferior, ya que al ser una mezcla drenante y presentar un porcentaje alto de vacíos el contacto entre la carpeta asfáltica y la capa inferior es menor.
- ❖ Las mezclas asfálticas drenantes pueden ser consideradas como capas de superficie más seguras y confortables en los pavimentos dado su capacidad de minimizar el fenómeno de hidropelena, reducir el nivel de ruido y proveer de una excelente rodadura

4.2 RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se pueden dar una vez realizado el presente trabajo son:

- ❖ Se debe implementar un Laboratorio de Asfaltos en nuestra Universidad, ya que no existe en nuestro medio un laboratorio que cuente con los equipos óptimos para realizar ensayos de las diferentes mezclas que se utilizan en las carpetas asfálticas. Además de que con el avance técnico y económico en el futuro, todas las carreteras serán asfaltadas y se tendrá la necesidad de realizar los diseños de las diferentes mezclas a ser usadas.
- ❖ Dado que en nuestro medio no son muy aplicados estos tipos de mezclas y al no existir trabajos similares, se recomienda realizar más estudios y pruebas con este tipo de mezclas, para de esta manera poder implementar la utilización de las mezclas drenantes en las carreteras de nuestro departamento, pues como se vio, estas mezclas tienen grandes ventajas en comparación a las mezclas asfálticas convencionales.
- ❖ Para el diseño de las mezclas drenantes se recomienda tener bastante cuidado en la elección de los agregados que forman parte de la mezcla, buscar bancos de materiales que cumplan con todas las especificaciones técnicas, ya que de los agregados dependerá que exista un buen rozamiento interno, que es la base para la buena resistencia a la disgregación en este tipo de mezclas.
- ❖ De igual manera se recomienda el uso de cemento asfáltico con polímeros, ya que este cemento mejora en gran manera las propiedades físicas y reológicas de

la mezcla y al tener este tipo de mezclas un porcentaje menor de ligante, con los cementos asfaltos convencionales no se lograría tener una buena resistencia a los diferentes esfuerzos que sufre la carpeta asfáltica.

- ❖ También se recomienda tener bastante cuidado con la temperatura de la puesta en obra, la cual se debe controlar de manera eficiente, controlando la distancia en la que se encuentra la planta asfáltica, de manera que los tiempos de recorrido sean adecuados a la temperatura de salida de la planta y a la temperatura de puesta en obra.
- ❖ Debemos ser cuidadosos en el análisis de las características y propiedades de los agregados que utilizaremos en la mezcla porosa ya que por el estudio realizado evidenciamos que existe influencia del tipo de agregado en las propiedades de la mezcla asfáltica porosa y por ello es recomendable establecer y analizar claramente las propiedades de los agregados antes de utilizarla.

