

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

I.1.- INTRODUCCIÓN

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.

Para evitar estos problemas se necesita que el agua que cae en la superficie, sea evacuada rápidamente y esto se alcanzará con el uso de las mezclas dren antes.

Las mezclas dren antes son mezclas asfálticas utilizadas como carpeta de rodado que se caracterizan por tener un elevado porcentaje de huecos interconectados entre sí. Este elevado porcentaje de huecos permite el paso del agua a través de la mezcla lo que impide que se forme una capa de agua en la superficie del camino cuando llueve.

Al no existir un método de diseño de mezclas dren antes en nuestro medio es que se pretende realizar este estudio, utilizando métodos estudiados en otros países y su experiencia, para ser aplicados en nuestras carreteras, específicamente al tramo Santa

Bárbara-San Lorenzo, el cual en la actualidad está en condiciones de transitabilidad pésimas, ya que la carpeta existente se encuentra con diferentes fallas ocasionadas por las lluvias, el tráfico, falta de drenaje y mantenimiento.

I.2.- JUSTIFICACIÓN

En el país existen zonas 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 sería una solución adecuada para ciertas carreteras que actualmente se encuentran en pésimo estado de transitabilidad.

En la actualidad en nuestro medio 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 pretende efectuar esta investigación y realizar el diseño en laboratorio de una mezcla asfáltica drenante utilizando los métodos, Cántabro y Australiano, para de esta manera obtener parámetros y resultados que puedan ser aplicados en nuestro medio.

La aplicación de esta mezcla se la pretende realizar en un futuro cercano en el recapamiento del tramo Santa Bárbara-San Lorenzo tramo que según el documento original del proyecto de mejoramiento de la carretera Tomatitas – San Lorenzo de Abril de 1990 del Servicio Nacional de Caminos, recomienda que después de 10 años de explotación se deba realizar un recapamiento con carpeta asfáltica el cual aun no fue realizado en el tramo Santa Bárbara – San Lorenzo después de 20 años de servicio.

En respuesta a la necesidad del mantenimiento y preservación de esta ruta departamental es que se considera necesario realizar el diseño de una mezcla asfáltica que pueda ser usada en el recapamiento de este tramo carretero, porque el mismo permitirá la durabilidad y conservación de este importante tramo.

I.3.- OBJETIVOS

I.3.1.- OBJETIVO GENERAL

El objetivo del presente trabajo es el de diseñar una mezcla asfáltica drenante en caliente, obteniendo datos y parámetros que puedan ser aplicados en nuestro medio y aplicarla como capa de rodadura al tramo Santa Bárbara-San Lorenzo.

I.3.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar una carpeta de rodadura que pueda ser utilizada en el recapado del tramo Santa Bárbara-San Lorenzo donde se presentan problemas de drenaje, esta carpeta debe cumplir especificaciones técnicas y de seguridad.
- Obtener datos y parámetros propios para este tipo de mezclas.
- Analizar los resultados obtenidos de nuestro diseño.
- Evaluar en laboratorio el comportamiento de la mezcla drenante diseñada.
- Comparar los resultados obtenidos con los diferentes métodos de diseño.
- Una vez aplicada la mezcla mejorar las condiciones de transitabilidad y seguridad en el tramo durante todo el año disminuyendo la formación de espejos de agua sobre la superficie de rodadura.
- Mejorar el escurrimiento superficial del tramo carretero en épocas de lluvias.
- Aumentar la vida útil de la carretera mediante el uso de esta mezcla para el recapado.

I.4.- ALCANCE DEL TRABAJO

Con este trabajo se pretende diseñar una mezcla asfáltica drenante en laboratorio que pueda ser utilizada como capa de rodadura en la ruta Santa Bárbara-San Lorenzo y de esta manera mejorar las condiciones de transitabilidad que presenta este tramo carretero, para esto se realizarán las siguientes actividades:

- El trabajo será desarrollado en los laboratorios del SEDECA, en donde ya se realizaron los ensayos de los diferentes bancos de agregados con los que esta Institución trabaja, razón por la cual ya se cuenta con resultados de los ensayos de

laboratorio de los agregados (granulometría, durabilidad, peso específico, peso unitario, etc).

- Como ya se cuenta con los agregados se trabajará con aquellos que cumplan con las especificaciones técnicas requeridas.
- De igual manera esta Institución ya cuenta con datos y ensayos de los diferentes cementos asfálticos.
- Con los datos que ya se tiene de los ligantes se realizara una comparación, observando cual tiene mejores características y pueda ser usado en la mezcla que pretendemos diseñar.
- Se diseñará la mezcla asfáltica drenante caliente en laboratorio utilizando el método Cántabro y la metodología Australiana.
- La mezcla se diseñará observando que cumpla con las características y especificaciones de una mezcla asfáltica drenante.
- Se realizará la evaluación del tramo para determinar los problemas de drenaje, fallas y deterioros que existen.
- Se especificará la puesta en obra y control de calidad de la mezcla al tramo.
- Finalmente se hará un análisis de precios y costos.

CAPÍTULO II

MEZCLAS ASFÁLTICAS CONVENCIONALES

II.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. Sin olvidar que 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.

II.2.- 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 a la 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 subrasante 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.

Estas mezclas también denominadas gruesas, son menos impermeables y presentan algunas ventajas sobre las mezclas cerradas, ya que resultan más económicas y son menos críticas frente a las deformaciones plásticas.

-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, mejorar la transitabilidad al mejorar el contacto de rueda-pavimento, destacar el bajo nivel de ruido de la superficie mojada de rodadura y mejorar 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 microaglomerados, 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 eventuales problemas 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 sollicitación 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. 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 aun 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 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.

Tabla N° 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
	Frío
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
GRANULOMETRÍA	Continuas
	Discontinuas

II.3.- MATERIALES GRANULARES PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS

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 importancia y es importante conocer su identificación o procedencia, ya que estos agregados están en forma natural o artificial en nuestro medio.

II.3.1.- 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.

II.3.2.- 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.

II.3.3.- CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS GRUESOS

Llamamos agregados gruesos a los retenidos en el tamiz N° 4, consiste 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 debe ser mayor del 40%.

- 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%.

II.3.4.- 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 angulosa 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.

II.3.5.- 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 se compondrá 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 pasara 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

II.4.- 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 enclavamiento o 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 bajas, 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 fisuración 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 la 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.

II.4.1.- 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 reológicas, 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.

Las principales propiedades físicas y reológicas 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.

Al mejorar todas estas propiedades se puede concluir diciendo que con el uso de los asfaltos modificados con polímeros es posible reducir el espesor de la carpeta asfáltica hasta en un 20%.

II.5.- PROPIEDADES GENERALES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

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

1. 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.

2. 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, a parte de la acción de las cargas, como ser la radiación solar, heladas, derrame de aceites y combustible, 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.

3. Flexibilidad.- Capacidad de una mezcla asfáltica de adaptarse a asentamientos graduales y movimientos en la base y subrasante. Los asentamientos diferenciales en el relleno de un terraplén ocurren ocasionalmente y es casi imposible desarrollar una densidad uniforme en la subrasante 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.

4. Resistencia a la fatiga.- Es la capacidad del pavimento asfáltico de soportar repetidas flexiones debido al paso de las cargas de ruedas 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.

5. 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.

6. 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 si permiten el paso del agua por la capa de rodadura, siendo la capa base la que debe estar totalmente impermeabilizada.

II.6.-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, esa 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, 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 Fíller /Asfalto.

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

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

II.7.- FUNCIONALIDAD DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN LOS PAVIMENTOS

Las mezclas asfálticas como ya hemos visto anteriormente sirven para soportar

directamente las acciones de los neumáticos y transmitir las cargas a las capas inferiores, proporcionando unas condiciones adecuadas de rodadura, cuando se emplean en capas superficiales; y como material con resistencia simplemente estructural o mecánica en las demás capas de los firmes.

Como material simplemente estructural se pueden caracterizar de varias formas. La evaluación de parte de sus propiedades por la cohesión y el rozamiento interno es comúnmente utilizada; o por un módulo de rigidez longitudinal y un módulo transversal, o incluso por un valor de estabilidad y de deformación. Como en otros materiales hay que considerar también, la resistencia a la rotura, las leyes de fatiga y las deformaciones plásticas.

El comportamiento de la mezcla depende de circunstancias externas a ellas mismas, tales como son el tiempo de aplicación de la carga y de la temperatura. Por esta causa su caracterización y propiedades tienen que estar vinculadas a estos factores, temperatura y duración de la carga, lo que implica la necesidad del conocimiento de la reología del material.

Las cualidades funcionales del pavimento residen fundamentalmente en su superficie. De su acabado y de los materiales que se hayan empleado en su construcción dependen aspectos tan interesantes y preocupantes para los usuarios como:

- 1 La adherencia del neumático al pavimento.
- 2 Las proyecciones de agua en tiempo de lluvia.
- 3 El desgaste de los neumáticos.
- 4 El ruido en el exterior y en el interior del vehículo.
- 5 La comodidad y estabilidad en marcha.
- 6 Las cargas dinámicas del tráfico.
- 7 La resistencia a la rodadura (consumo de carburante).
- 8 El envejecimiento de los vehículos.
- 9 Las propiedades ópticas.

Estos aspectos funcionales del firme están principalmente asociados con la textura y la regularidad superficial del pavimento.

Actualmente la reología de las mezclas está bien estudiada tanto desde el punto de vista experimental como del teórico, con una consecuencia práctica inmediata: la mejor adaptación de las fórmulas de trabajo y de los materiales a las condiciones reales de cada pavimento. Por ejemplo, son fácilmente asequibles estos ajustes, según la región climática o las condiciones de velocidad de los vehículos, en los métodos de diseño de pavimentos.

Como resumen, se puede decir que en una mezcla asfáltica, en general, hay que optimizar las propiedades siguientes:

1. Estabilidad.
2. Durabilidad.
3. Resistencia a la fatiga.

Si la mezcla se usa como capa de rodadura hay que añadir las propiedades siguientes:

4. Resistencia al deslizamiento.
5. Regularidad.
6. Permeabilidad adecuada.
7. Sonoridad.
8. Color, entre otras.

II.8.- PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA CAPAS DE RODADURA

La capa superior de un pavimento es la que debe proporcionar una superficie de rodadura segura, confortable y estética. Como todas las exigencias deseables para una superficie de rodadura no pueden optimizarse simultáneamente hay que equilibrar las propiedades contrapuestas para llegar a las soluciones más satisfactorias.

Los materiales asfálticos proporcionan superficies continuas y cómodas para la

rodadura de los vehículos. No obstante, hay que establecer un balance entre la durabilidad, rugosidad, impermeabilidad, y otras características útiles o imprescindibles para el usuario. Por ejemplo, en los países fríos, en particular en el centro de Europa, se han desarrollado mezclas muy impermeables y ricas en mortero. Si estas mezclas no proporcionan la textura adecuada, se recurre a procedimientos ajenos a la propia mezcla como son la incrustación en la superficie de gravillas o al abujardado en caliente.

En las capas de rodadura el uso de agregados de alta calidad y de aditivos se justifica por las solicitudes a que están sometidas. Actualmente la modificación de ligantes se ha generalizado para carreteras importantes persiguiéndose la optimización de la respuesta mecánica y de la durabilidad de la mezcla. Por la misma razón, la calidad de los agregados es absolutamente imprescindible, aunque todo ello suponga un costo mayor para el pavimento.

Tabla N° 2 Resumen Propiedades Funcionales de las Mezclas Asfálticas

PROPIEDADES FUNCIONALES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS
Seguridad. Resistencia al deslizamiento. Regularidad transversal. Visibilidad (marcas viales).
Comodidad. Regularidad longitudinal. Regularidad transversal. Visibilidad. Menor ruido.
Durabilidad. Capacidad soporte. Resistencia a la desintegración superficial.
Medio ambiente. Ruido. Capacidad de ser reciclado.
Trabajabilidad.

Tabla N° 3 Resumen Propiedades Técnicas de las Mezclas Asfálticas

PROPIEDADES TÉCNICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS
Textura superficial.
Conductividad hidráulica.
Absorción de ruido.
Propiedades mecánicas (en relación con el tráfico) Resistencia a la fisuración por fatiga. Resistencia a las deformaciones plásticas permanentes. Módulo de rigidez Resistencia a la pérdida de partículas.
Durabilidad (en relación con el clima). Resistencia al lavado por el agua. Resistencia a la fisuración térmica. Resistencia a la fisuración por reflexión. Resistencia al envejecimiento.
Trabajabilidad. Compactabilidad. Resistencia a la segregación agregado grueso/fino. Resistencia a la segregación agregado/ligante

CAPÍTULO III

MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES

III.1.- DEFINICIÓN

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.

III.2.-VENTAJAS DE LAS MEZCLAS DRENANTES

- Mayor resistencia al deslizamiento bajo lluvia y eliminación del hidropneumático.-

Al presentarse el fenómeno del hidropneumático 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 macrotextura 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 macrotextura obtenidos son siempre altos, por lo cual la pérdida de resistencia al deslizamiento con la velocidad depende fundamentalmente de la macrotextura 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 macrotextura 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.

III.3.- DESVENTAJAS DE LAS MEZCLAS DRENANTES

- **Mayor costo inicial.-** Estas mezclas deben construirse 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.

III.4.- 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 de los vehículos.

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.

III.4.1.- 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 compactación en obra es menor que en las mezclas convencionales, razón por la cual se evalúa para qué energía de compactación se alcanza 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)

III.4.1.1.- 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.

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 ó 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.

c) 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 „.

III.4.1.2.- Metodología 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 Esgurrimiento (Norma NLT-365/93, Esgurrimiento 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 esgurrimiento de ligante durante el transporte.

La metodología de diseño se basa en:

- a)** 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.
- b)** 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 esgurrimiento. 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.
- c)** La resistencia a la abrasión de las mezclas se evalúa mediante el ensayo cántabro Seco.
- d)** Se determina el esgurrimiento 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 dosajes de prueba.

e) 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 (CL_{max}). El contenido de ligante correspondiente a la máxima pérdida por abrasión (25 % Cántabro Seco), es el mínimo contenido de ligante (CL_{min}). El contenido provisional de ligante es el promedio entre CL_{max} y CL_{min}.

f) Se determinan las propiedades de la mezcla diseñada.

g) 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.

III.4.1.3.- Metodología RP.- Esta metodología fue desarrollada en Chile, en el Laboratorio Nacional de Vialidad, MOP, por los Ing. 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 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”.

III.4.1.4.- 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 compactidad.

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 compactidad, pues se ha demostrado que puede conseguirse la misma compactidad 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 más al conocimiento, el único control que se le realiza a una capa terminada es determinar la densidad y compararla con la obtenida en la compactación Marshall.

III.5.-FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA DE LA MEZCLA DRENANTE

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 huecos.

Un estudio minucioso del tema relativo a la fabricación y puesta en obra nos lleva a señalar un buen número de pequeñas diferencias en la ejecución de las mezclas drenantes. Sin llegar a ser exhaustivo, pretendemos ir señalando las principales diferencias, agrupándolas en los siguientes apartados:

1. Preparación de la superficie existente.
2. Fabricación.
3. Transporte de la mezcla.
4. Extensión y compactación.
5. Detalles constructivos relativos a la evacuación del agua.
6. Control.
7. Otros aspectos.

1. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE EXISTENTE

Como es obvio, y ya se ha señalado en numerosas ocasiones, las mezclas drenantes deben ser puestas en obra sobre una superficie que al menos cumpla dos requisitos fundamentales: impermeabilidad y planimetría adecuada.

De esta forma se evitara la entrada de agua a las capas inferiores del paquete, o que el agua se acumule sobre la capa inferior lo cual provocaría encharcamientos localizados. Cuando no se asegura estas dos condiciones mínimas, debe realizarse un tratamiento previo que debe consistir en un sellado de la superficie existente en el caso de falta de impermeabilidad y/o reperfilado en el caso de problemas de

planimetría. Si el soporte presenta problemas de fluencia y presencia de roderas habrá que realizar, imperiosamente, una operación de fresado y reposición de las zonas con problemas. En estos casos, las mezclas más adecuadas para servir de soporte a una mezcla drenante son las que garantizan la impermeabilidad, mezclas cerradas de granulometría continua.

Por otro lado, las mezclas drenantes ofrecen una superficie de contacto con la capa inferior mucho menor que una mezcla convencional. Por ello, para asegurar el funcionamiento conjunto con el resto del paquete y evitar problemas de deslizamiento de la capa, es preciso cuidar el riego de adherencia. Estos cuidados se refieren tanto a su ejecución como al empleo de emulsiones modificadas de tipo monofásico o bifásico.

La dotación de ligante residual a emplear en el riego depende de la superficie de soporte. De menor a mayor tendríamos:

- Mezcla bituminosa recientemente extendida: $0,3 - 0,4 \text{ kg/m}^2$.
- Mezcla bituminosa antigua en buenas condiciones: $0,35 - 0,5 \text{ Kg/m}^2$.
- Mezcla bituminosa envejecida, con presencia de microfisuración: $0,5 - 0,6 \text{ Kg/m}^2$.
- Mezcla bituminosa fisurada: $0,6 - 0,8 \text{ Kg/m}^2$ (previo sellado de fisuras).

La colocación de fuertes dosificaciones de ligante residual puede requerir del empleo de soluciones no convencionales para evitar problemas asociados con ellas, especialmente en relación con los camiones que transportan la mezcla. De esta forma en algunos casos se recurre al empleo de extendedoras con rampa de riego integrada, al empleo de emulsiones especiales cuyo ligante no se adhiere a los neumáticos de los camiones o bien sobre el riego de adherencia se aplica un engravillado.

En casos extremos, sobre superficies fisuradas, este riego se transforma en una auténtica membrana con funciones impermeabilizantes y antifisuras siendo habitual utilizar como ligante betunes modificados (polímero o cauchos) en lugar de emulsiones. Las dotaciones de ligante residual en este último caso se sitúan normalmente entre $1,5$ y $2,5 \text{ Kg/m}^2$ acompañadas por un engravillado. Tras la compactación debe eliminarse el exceso de árido. Otra alternativa sobre las

superficies fisuradas es el empleo de geotextil impregnado, técnica bien conocida y de excelentes características antifisuras que además asegura la impermeabilidad.

También se han empleado capas de lechadas bituminosas como solución impermeabilizante, en particular en los casos en que se coloca una capa drenante sobre otra drenante.

Otra interesante solución a emplear cuando es necesario un ligero reperfilado y el soporte está fisurado por reflexión de juntas y/o grietas de una base hidráulica, es la de las mezclas finas tipo arena-betún con altos contenidos en ligante (aproximadamente 10 %).

En el caso del tramo en el cual se aplicará nuestra mezcla y después de una evaluación realizada se vio por conveniente realizar un sellado de la superficie existente.

2. FABRICACIÓN

La fabricación de mezclas drenantes no tiene por qué plantear problemas particulares que no se resuelvan con un adecuado estudio previo de las condiciones de trabajo a las que estas mezclas obligan. El origen básico de las diferencias encontradas entre las mezclas drenantes y las convencionales reside en su particular granulometría. Aunque en menor medida algunas de estas diferencias se presentan también en las mezclas discontinuas para capas muy delgadas.

En las plantas discontinuas convencionales con cribado de árido en caliente, es preciso tener presente que la superficie de cribado como las tolvas de árido están diseñadas para mezclas con diferente composición granulométrica. Ello supone que nos podremos encontrar con que determinadas cribas, en particular las del árido grueso, pueden resultar subdimensionadas para las necesidades de una fabricación normal de mezcla drenante. Así, por ejemplo, podría ocurrir que la capacidad de cribado para la fracción 5/10 fuera insuficiente y que como consecuencia de ello parte de esta fracción apareciera en el silo inmediatamente superior. Para obtener una buena regulación en la alimentación, sin que se produzcan disminuciones apreciables de producción, es necesario tener en cuenta esta posibilidad, analizar la granulometría real presente en cada silo de áridos en caliente y proceder a la corrección de dosificación correspondiente. Por último, a la hora de dosificar las diferentes

fracciones del árido, habrá que tener en cuenta la menor densidad de las mezclas drenantes frente a las convencionales y por tanto el menor peso unitario por amasada admisible.

En lo que respecta a las plantas continuas, estos problemas no se presentan y la fabricación se realiza sin dificultades simplemente aumentando el número de tolvas en frío dedicadas a la fracción gruesa. De todas maneras, en estas plantas es muy conveniente disponer de una báscula individual para la alimentación de la fracción fina ya que pequeñas variaciones de esta fracción repercuten de forma significativa en el contenido final de huecos de la mezcla y en su estabilidad. Asimismo, es necesario comprobar la capacidad del sistema de dosificación del polvo mineral (filler), ya que en algunos tipos de plantas T/S/M puede llegar a ser insuficiente para las necesidades de mezcla drenante y como consecuencia, sería necesario disminuir el ritmo de producción para adecuarlo a la máxima capacidad de dicho dosificador.

3. TRANSPORTE

El riesgo de escurrimiento del ligante y la menor inercia térmica de las mezclas drenantes respecto de las convencionales obliga a ser más estricto en las condiciones y tiempos de transporte, siendo obligatorio llegar a un compromiso entre los distintos factores implicados.

En las mezclas fabricadas con betúmenes modificados la disminución de la temperatura de la mezcla provoca una considerable reducción de la trabajabilidad. Se ha detectado que con una temperatura ambiente relativamente fría (10 a 12°C), presencia de viento y tiempos de transporte superiores a los 120 minutos, pueden empezar a presentarse problemas, especialmente cuando la cubrición de los camiones no asegura un buen aislamiento. En estos casos aparecen en el fondo y en los rincones de la caja partes de la mezcla ya aglomerada y fría, que lógicamente no deben extenderse.

Por otro lado, cuando el tiempo de transporte es elevado, existe una tendencia al incremento de la temperatura de fabricación de la mezcla para asegurar unas temperaturas mínimas de puesta en obra. Esto supone un incremento del riesgo de escurrimiento durante el periodo de transporte, especialmente en las mezclas drenantes fabricadas con betúmenes convencionales sin adición de fibras o con

ligantes modificados poco viscosos. Adicionalmente el efecto de la vibración de los camiones puede llegar a provocar segregaciones en los transportes prolongados. Esta serie de fenómenos se han apreciado en algunas ocasiones dando lugar a la extensión de una mezcla heterogénea con partes subdosificadas en ligante, con los problemas que ello supone de cara a la durabilidad y otras partes sobredosificadas que darán problemas de falta de capacidad de drenaje e incluso la aparición de zonas grasas completamente cerradas.

Por todo ello parece necesario limitar el tiempo de transporte de las mezclas drenantes. Un tiempo máximo de 2 horas puede ser considerado como una norma general a respetar. Para tiempo de transporte superiores será preciso estudiar la mezcla cuidadosamente y recurrir al empleo de fibras y/o ligantes muy modificados.

4. EXTENSIÓN Y COMPACTACIÓN

El proceso de extensión es prácticamente idéntico al de una mezcla convencional, debiendo adoptarse las precauciones habituales en una capa de rodadura delgada. Una primera precaución adicional a tener en cuenta viene dada por la mayor velocidad de enfriamiento de las mezclas drenantes que asociada a su extensión en capas de espesor relativamente pequeños, hace necesario evitar la extensión con temperatura ambiente relativamente baja (un límite podría ser el de los 8°C). Este problema se agudiza en el caso de que, además de una temperatura baja, exista un viento fuerte. Naturalmente la puesta en obra en tiempo lluvioso resulta totalmente desaconsejable. Las juntas requieren un cierto cuidado. En lo que se refiere a las juntas longitudinales lo mejor es evitarlas extendiendo a todo el ancho de la vía. Cuando ello no es posible, hay que procurar, que las juntas longitudinales coincidan con las líneas de separación de carriles y que en ningún caso coincidan con bandas de rodada. Habrá que completar los tramos lo más rápidamente posible evitando la degradación de la junta por el paso de los propios equipos de obra o el tráfico general. En cualquier caso se debe evitar el cierre de la mezcla en la junta y crear una barrera a la evacuación del agua, lo que puede provocarse cuando se cortan las juntas con disco. Como alternativa en algunas ocasiones se ha empleado corta juntas adosados a los compactadores, revisando a continuación el corte y retocándolo con pico en aquellos puntos en que el corte aparezca cerrado.

Otra cuestión es la de las juntas transversales, especialmente las de transición a la mezcla cerrada. Se deben evitar estas juntas en zonas de pendiente y en caso de ser imprescindibles, deben hacerse sesgadas procurando seguir la línea máxima de pendiente. Asimismo, los acuerdos cóncavos del perfil longitudinal deben estudiarse para evitar afloramientos de agua en los puntos bajos. En caso de que eso fuera previsible, conviene aumentar el espesor de la mezcla en el valle y disponer sistemas para asegurar la evacuación del agua.

La compactación de la mezcla se realiza en casi todos los casos únicamente con rodillos metálicos de 8 a 12 toneladas de peso, con buenos resultados siempre que la temperatura de mezcla y el número de pasadas sean suficientes. Siempre es conveniente que los rodillos sigan muy de cerca a la extendedora. Los problemas pueden venir del hecho de que por su espesor y su constitución las capas de mezcla drenante se enfrían en una velocidad mucho mayor que las convencionales, por lo que los tiempos disponibles para la compactación son menores. La temperatura mínima de compactación de la mezcla depende del tipo del ligante empleado. Con los ligantes modificados debe estar en el entorno de los 125 °C. Si se presentan problemas de adherencia con la mezcla, se pueden emplear sobre los rodillos metálicos una solución jabonosa.

La vibración suele ser conveniente únicamente en las juntas y hay que emplearla cuidadosamente. En ocasiones se ha utilizado vibración sobre la mezcla cuando la temperatura de esta era demasiado baja para permitir un número de pasadas suficientes con el rodillo liso, pero ésta es una práctica poco aconsejable.

Para asegurar un número suficiente de pasadas (normalmente 4 suele ser el mínimo) cuando la producción esperada sea superior a las 100 ton/hora, es imprescindible contar con dos rodillos como mínimo. En cualquier caso, la previsión de un rodillo de reserva es una práctica muy recomendable.

El empleo de compactadores de neumáticos, además de que pueden adherirse con facilidad a la mezcla y provocar arrancamientos de gravillas, tienen un efecto de amasado superficial de la mezcla y una disminución de huecos en la parte superficial, por lo que en general no parecen recomendables.

La ejecución de pequeños trabajos como retoques, reparaciones localizadas o la puesta en obra en zonas de mal acceso a los equipos habituales es bastante delicada por la rapidez de enfriamiento de la mezcla y en general, el aspecto final no suele ser suficientemente bueno. Conviene, por tanto, evitar estas actuaciones y reducirlas al mínimo imprescindible.

La apertura al tráfico debe realizarse con la mezcla suficientemente fría para evitar la mencionada pegajosidad de la mezcla a los neumáticos. En condiciones extremas de calor puede haber dificultades para que dicho enfriamiento se produzca con rapidez, dándose incluso el caso de que la mezcla presenta poca estabilidad. En estas circunstancias se puede recurrir a aplicar un riego de agua. Algunas comunicaciones señalan también la posibilidad de extender pequeñas cantidades (30 a 50gr/m²) de filler, especialmente en las zonas en que se detengan los vehículos. Finalmente se debe ser cuidadoso con los propios equipos de obra evitando la realización de maniobras bruscas o estacionarlas sobre las mezclas.

5. DETALLES CONSTRUCTIVOS RELATIVOS A LA EVACUACIÓN DEL AGUA

La realización de capas de rodadura con mezcla drenante requiere de un análisis específico de las condiciones de evacuación del agua. Cuatro aspectos concretos, por lo mínimo, deben ser tenidos en cuenta: el tratamiento de bordes en carreteras en campo abierto, la conexión con el sistema de drenaje en carreteras en zona urbana y en zonas cerradas (túneles), las obras de fábrica y las zonas con condiciones hidráulicas extremas. En todos los casos se trata de evitar situaciones que provoquen la acumulación de agua y su afloramiento en la superficie de la carretera disponiendo de algún sistema, lo más sencillo posible, que conduzca adecuadamente el agua fuera de la calzada.

En el caso de las carreteras en campo abierto hay que evitar la terminación de la mezcla drenante contra elementos, en particular bordes no pavimentados, que dificulten o impidan la salida del agua. En caso de que la orilla se pavimente con mezcla drenante se debe dejar una franja sin mezcla drenante de unos 10 cm aproximadamente. En el caso de que se decida no poner mezcla drenante en el

margen se extenderá sobre un sobreancho de unos 30 a 50 cm en el margen dándole una forma biselada.

En el caso de la conexión al sistema de drenaje existen numerosos tipos constructivos para canalizar el agua hacia los sumideros y resto del sistema de drenaje. Sería bastante extenso hacer una descripción de todas las posibilidades, que van desde simplemente dejar una banda junto a los bordillos de unos pocos centímetros sin mezcla drenante hasta soluciones completas con materiales drenantes en profundidad y drenes conectados a la red de drenaje. En zona urbana se deberá tener muy en cuenta la incidencia sobre la seguridad de los peatones, ciclistas, motoristas, etc.

En las obras de arte debe plantearse la conveniencia de continuar o no con la pavimentación con mezcla drenante. En principio nada impide utilizar una mezcla drenante como rodadura en un puente si se toman las precauciones necesarias en relación con la impermeabilización del tablero, las pendientes necesarias para asegurar la no retención del agua y los dispositivos de canalización y evacuación. De todas formas en el caso de los puentes debe tenerse en cuenta la mayor incidencia de las bajas temperaturas y los posibles peligros de hielos. Si por las razones que fueren se decidiera no emplear la mezcla drenante, se deberá disponer la junta de transición de una solución a otra de forma que no se corte bruscamente la circulación del agua a través de la mezcla drenante evitando el riesgo de peligrosos afloramientos de agua en la superficie.

Finalmente y en cualquiera de los ámbitos de la carretera, hay que analizar la capacidad de drenaje de la capa de mezcla drenante teniendo en cuenta las condiciones geométricas de la carretera, la permeabilidad y el espesor de la capa y las precipitaciones previsibles en la zona. Si por falta de permeabilidad, longitud de recorrido del agua, etc; se produjera una falta de capacidad de drenaje, será preciso disponer de elementos que aumenten dicha capacidad.

6. CONTROL DE CALIDAD

El control de las mezclas drenantes sigue una pauta similar al de otros tipos de mezclas. Establecida la fórmula de trabajo de la mezcla y realizado el tramo de prueba correspondiente bastara, en general, con realizar los ensayos de comprobación normales. En la fabricación se analizaran y determinaran con la frecuencia mínima

establecida las características de los áridos y del ligante, la granulometría, el contenido de ligante y la temperatura de fabricación de la mezcla, con principal incidencia en ésta por los problemas que se pueden ocasionar en el transporte, extendido y compactación. Durante la puesta en obra se controlará la temperatura de compactación y el número de pasadas de los equipos, también se comprobarán los espesores de capa, densidad, contenido de huecos de la mezcla y regularidad.

Probablemente el aspecto más delicado del control sea el establecimiento de la densidad de referencia y su seguimiento a lo largo de la obra. Debe tenerse en cuenta que algunos de los métodos de diseño empleados, en particular el ensayo Cántabro, emplean como base de trabajo probetas con un espesor mayor (aprox. 6cm) que el realmente empleado en la mayor parte de los casos (aprox. 4 cm). Esto hace que, de entrada, la densidad obtenida en este método no deba ser tomada como referencia, al menos directa, para el control. Diferencias de hasta +2% en el contenido de huecos entre obra bien compactada y el de las probetas en ensayo Cántabro podrían considerarse normales.

La determinación de la densidad y del contenido de huecos de referencia, para el control debe realizarse en el tramo de prueba. Para ello se realizarán medidas de la capacidad de evacuación del agua mediante permeámetro (medido en caudal evacuado o en tiempo de evacuación) y en los mismos puntos se extraerán testigos sobre los que se determinara el volumen mediante medida geométrica, la densidad y el contenido de huecos. Estas medidas deben realizarse sobre zonas con distintos niveles de compactación (por ejemplo 2,3,4 y 5 dobles pasadas de rodillo metálico) al objeto de establecer la relación entre el nivel de compactación y la densidad. Debido a las dispersiones que se presentan las medidas de permeabilidad y determinación del volumen por medida geométrica conviene tomar bastantes puntos de control para establecer correctamente los valores medios y la dispersión esperable.

De cara al control en obra se establecerá en el tramo de prueba una correlación entre las mediciones del permeámetro y el porcentaje de huecos en mezcla de forma que durante la ejecución se puedan emplear como método de control las mediciones con el permeámetro. Un detalle a tener en cuenta en relación con las medidas con permeámetro es que los resultados pueden verse falseados cuando la medición se la

realiza inmediatamente después de la compactación y enfriamiento de la mezcla por efecto de la tensión superficial. Para evitarlo conviene regar previamente la zona en la que se van a efectuar las mediciones.

Una observación final en relación con el control de la compactación. La obtención de tiempos o caudales de evacuación mayores de los previsibles a partir de las referencias adoptadas en el tramo de prueba es un indicador de un defecto de compactación y en modo alguno representa una mejora del comportamiento de la mezcla. Si se desea obtener un mayor contenido en huecos el procedimiento debe ser la modificación de la fórmula de trabajo, en especial de la granulometría, y en ningún caso, recurrir a una subcompactación que no traería más que problemas de comportamiento mecánico de la mezcla.

7. OTROS ASPECTOS

Sin entrar en las limitaciones de empleo de las mezclas drenantes, especialmente en lo que se refiere al mantenimiento invernal, si debemos señalar que desde el punto de vista mecánico son más críticas que las convencionales y se debe de tener más cuidado con ellas. Algunos aspectos adicionales a tener en cuenta son:

- La capa de mezcla drenante debe ejecutarse una vez se hayan terminado todas las operaciones complementarias, excepto la pintura, para evitar deterioros por la actuación de los propios equipos.
- En los entronques, cruces, semáforos, raquetas, giros bruscos, etc. Deben extremarse las precauciones respecto de la compactación de la mezcla, e incluso en ocasiones puede ser conveniente cerrar ligeramente la granulometría para evitar problemas de arrancamiento de áridos por esfuerzos tangenciales del tráfico. Por esta misma razón pueden presentarse problemas en zonas de aparcamiento de vehículos-
- Cuando existan caminos de acceso a la vía a tratar que no dispongan de pavimento, caminos de tierra, etc, debe procederse a un tratamiento de estos caminos en una distancia mínima de 50 metros. Con ello se evitará que se produzca una colmatación rápida de la mezcla drenante.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN LABORATORIO

IV.1.- INTRODUCCIÓN

Las mezclas en caliente para pavimentos, son consideradas hace mucho tiempo, como el primer producto disponible a bajo costo, que proporciona un adecuado diseño con excelente comportamiento como pavimento flexible, proporcionando durabilidad, resistencia y confort.

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 y la metodología Australiana.

IV.2.- TRABAJOS PREVIOS

Se realizaron ensayos de control de calidad de agregados triturados gravas y agregados finos procedentes de la chancadora ubicada en la localidad de San José de Charaja (Anexo 1).

La aprobación y recomendaciones del cemento asfáltico modificado con polímeros se adjuntan en (Anexo 2) incluidos los certificados y las características de calidad del material; todos estos componentes de la carpeta asfáltica se ejecutaron y aprobaron según Normas AASHTO , éstos asfaltos modificados con polímeros se caracterizan por obtener mezclas más rígidas a altas temperaturas de servicio, reduciendo así el ahuellamiento y mezclas flexibles a bajas temperaturas de servicio reduciendo así el fisuramiento, también poseen mayor elasticidad, adherencia, cohesión, durabilidad y principalmente mayor resistencia al envejecimiento.

IV.3.- RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y DE LA MEZCLA DRENANTE

En los cuadros de abajo se muestran las diferentes características y las especificaciones de los materiales que forman parte de nuestra mezcla. Para nuestro diseño se utilizaron especificaciones técnicas utilizadas por la normativa española.

CUADRO N° 1
CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO ASFÁLTICO

CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON POLIMEROSTIPO SBS					
Ensayo	Unidad	Resultados	Especificaciones		Designación AASHTO
			Mínimo	Máximo	
Peso específico	gr./cm ³	0.996			T-228
Punto de Inflamación	°C	> 232	232		T-48
Penetración a 25 °C; 100 gr., 5 seg.	mm.	80.43	60	80	T-49
Punto de ablandamiento	°C	61.8	75		T-53

CUADRO N° 2
CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

AGREGADOS					
Ensayo	Unidad	Resultados	Especificaciones		Designación AASHTO
			Mínimo	Máximo	
Peso específico agregado grueso	gr./cm ³	2.693			T-166
Peso específico agregado fino	gr./cm ³	2.715			T-100
Desgaste de los Ángeles 3/4"	%	20.04		25	T-96
Desgaste de los Ángeles 3/8"	%	20.04		25	T-96
Durabilidad agregado grueso	%	4.04		10	T-104
Durabilidad agregado fino	%	3.88			
Caras fracturadas	%	78.2	75		
Granulometrías	%	s/ gráficos			T-27
Límite líquido	%	N P			T-89
Límite plástico	%	N P			T-90
Equivalente de arena	°C	52.7	50		T-176

CUADRO N° 3
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MEZCLA DRENANTE

MEZCLA ASFÁLTICA DRENANTE		
CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES	
	MÍNIMO	MÁXIMO
Porcentaje de vacíos	16	25
Porcentaje de ligante	4	5
Perdida al cántabro seco		25
% de escurrimiento		0.3
Tiempo de evacuación (Seg)		30

IV.4.- SELECCIÓN DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA

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 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 vacíos se utilizó el huso granulométrico “PA-12” de las Especificaciones Españolas.

CUADRO N° 4
REQUISITOS DE GRADACIÓN PARA LA MEZCLA 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

IV.5.- COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA CURVA DE PROYECCIÓN DE LOS AGREGADOS.

Después de analizar el cuadro de la composición granulométrica de los agregados y cumpliendo las exigencias de las especificaciones técnicas, la composición porcentual en peso de los agregados, resultando de varias tentativas alcanza los siguientes valores, en base a los agregados:

CUADRO N° 5
APORTE PORCENTUAL DE AGREGADOS EN PESO

Material	Cantidad (%)
Grava 3/4"	38
Grava 3/8"	39
Material Fino	23

CUADRO N° 6
CURVA PROYECTADA (Anexo 3)

Tamices	Gradación "PA-12"		% Pasa por Tamiz
	Mínimo	Máximo	
3/4"	100	100	100.00
1/2"	70	100	70.30
3/8"	50	80	65.20
N° 4	15	30	29.40
N° 8	10	22	17.70
N° 30	6	13	10.60
N° 200	3	6	3.20

IV.6.- ESQUEMA DE LOS ENSAYOS

- Con la composición granulométrica definida, se prepararon para cada contenido de ligante un mínimo de tres probetas.
- Las distintas fracciones de agregados se secan en estufa hasta peso constante a una temperatura de 105°C a 110°C.
- 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).
- Se realizan las probetas de 1000 a 1200 grs. según el procedimiento Marshall.
- La compactación de la mezcla se realiza empleando los moldes y el martillo Marshall, pero dando a cada probeta un total de 50 golpes por cara.

- Sobre las probetas fabricadas se realizan ensayos de densidad y vacíos, siguiendo el procedimiento geométrico.
- Se pesan las probetas 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 sometidas 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 probetas.

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

$$P = \frac{p1 - p2}{p1} * 100$$

Donde:

P = Valor de la pérdida por desgaste, en %

p1 = masa inicia de la probeta, en gramos

p2 = masa final de la probeta, en gramos

- Con los resultados obtenidos del ensayo del método Cántabro se realiza una grafica del porcentaje de pérdida por desgaste versus los porcentajes de asfalto y de esta grafica obtenemos el porcentaje de asfalto óptimo para nuestro diseño.
- Para la metodología Australiana se siguen los mismos pasos y para obtener el contenido de ligante que satisfaga las condiciones de vacío y requerimientos de abrasión, se emplea una carta de diseño. Donde el límite mínimo de contenido de vacíos de aire, es el máximo contenido de ligante (CLmax). El contenido de ligante correspondiente a la máxima perdida por abrasión, es el mínimo contenido de ligante (CLmin). El contenido provisional de ligante es el promedio entre el CLmax y el CLmin. Finalmente el contenido de diseño es igual al CLprov + % de escurrimiento.

- Hacer notar que el ensayo de escurrimiento no se realizó por no contar con el equipo requerido en el laboratorio, es por esta razón que se asumió que no existe escurrimiento.

IV.7.- ANÁLISIS Y RESULTADOS

Realizado los diferentes ensayos se obtuvo los siguientes resultados:

CUADRO N° 7
RESUMEN DE VALORES MÉTODO CANTABRO CON DIFERENTES
CONTENIDOS DE ASFALTO

N° DE PROBETA	% ASFALTO	MASA INICIAL P1 (Grs)	MASA FINAL P2 (Grs)	% DE PÉRDIDA POR DESGASTE (P)	PROMEDIO DE PÉRDIDA POR DESGASTE
1	3.0	1186.3	684.5	42.30	
2	3.0	1186.5	731.6	38.34	39.62
3	3.0	1186.1	732.8	38.22	
4	3.5	1189	823.7	30.72	
5	3.5	1188.8	860	27.66	28.57
6	3.5	1190.6	865.3	27.32	
7	4.0	1164.5	953.2	18.15	
8	4.0	1192.3	1025.2	14.01	15.66
9	4.0	1178.4	1003.8	14.82	
10	4.5	1180	1077.5	8.69	
11	4.5	1187.3	1046.1	11.89	11.11
12	4.5	1183.5	1032.5	12.76	
13	5.0	1173	1079.5	7.97	
14	5.0	1176.3	1046.1	11.07	8.75
15	5.0	1162.9	1079	7.21	
16	5.5	1163	1066.8	8.27	
17	5.5	1166.3	1095.6	6.06	6.85
18	5.5	1152.9	1081.2	6.22	

CUADRO N° 8
RESUMEN DE VALORES DEL ENSAYO MARSHALL CON DIFERENTES
CONTENIDOS DE ASFALTO

DESCRIPCIÓN	1	2	3	4	5	6
Asfalto (%)	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
Densidad Máxima Teórica (gr/cc)	2.549	2.528	2.509	2.489	2.47	2.451
Densidad Real de la Mezcla (gr/cc)	2.074	2.097	2.1	2.152	2.17	2.182
Vacíos de la Mezcla (%)	18.80	17.37	17.08	13.99	11.83	11.20
Vacíos del agregado mineral (%)	24.86	24.4	24.68	23.21	22.98	22.97
Relación betumen vacíos	25.02	30.07	34.04	41.73	47.23	52.25

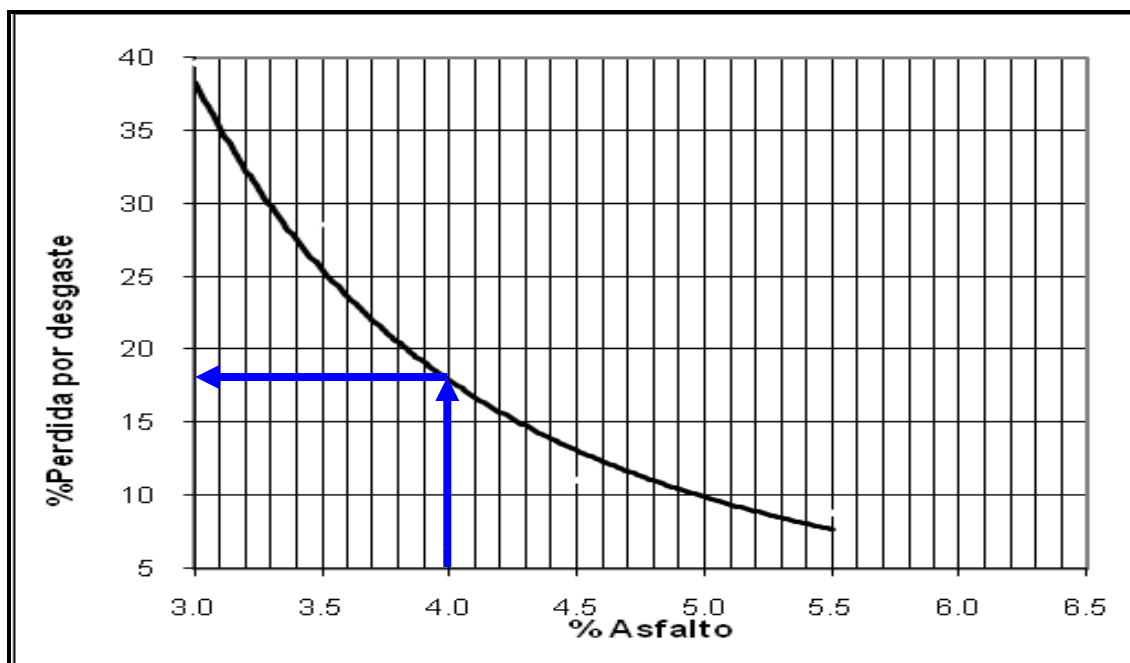
CUADRO N° 9
RESUMEN DE VALORES MÉTODO AUSTRALIANO CON DIFERENTES
CONTENIDOS DE ASFALTO

ABRASION - %LIGANTE - % VACIOS		
LIGANTE	CANTABRO	% VACIOS
3.0	39.62	18.80
3.5	28.57	17.37
4.0	15.66	17.08
4.5	11.11	13.99
5.0	8.75	11.83
5.5	6.85	11.20

Con los resultados obtenidos se procedió a realizar la gráficas del método cántabro y la carta de diseño de la metodología Australiana, de las cuales obtendremos nuestro porcentaje óptimo de ligante.

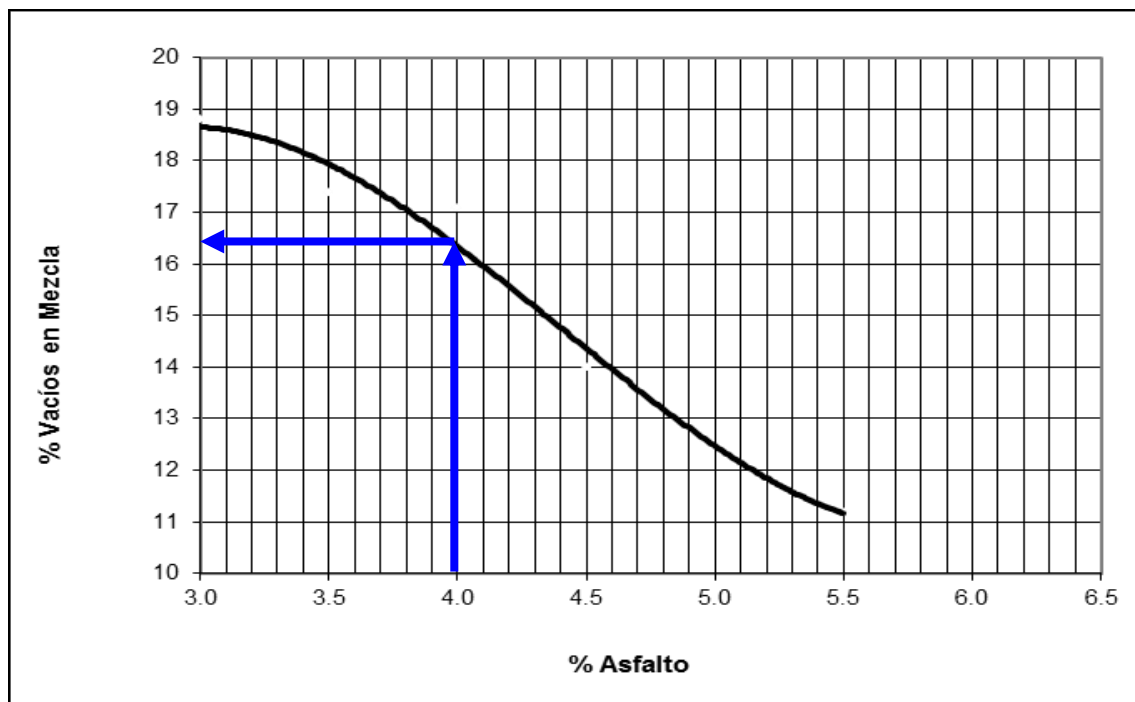
GRÁFICA N° 1

% PÉRDIDA POR DESGASTE VERSUS PORCENTAJE DE ASFALTO

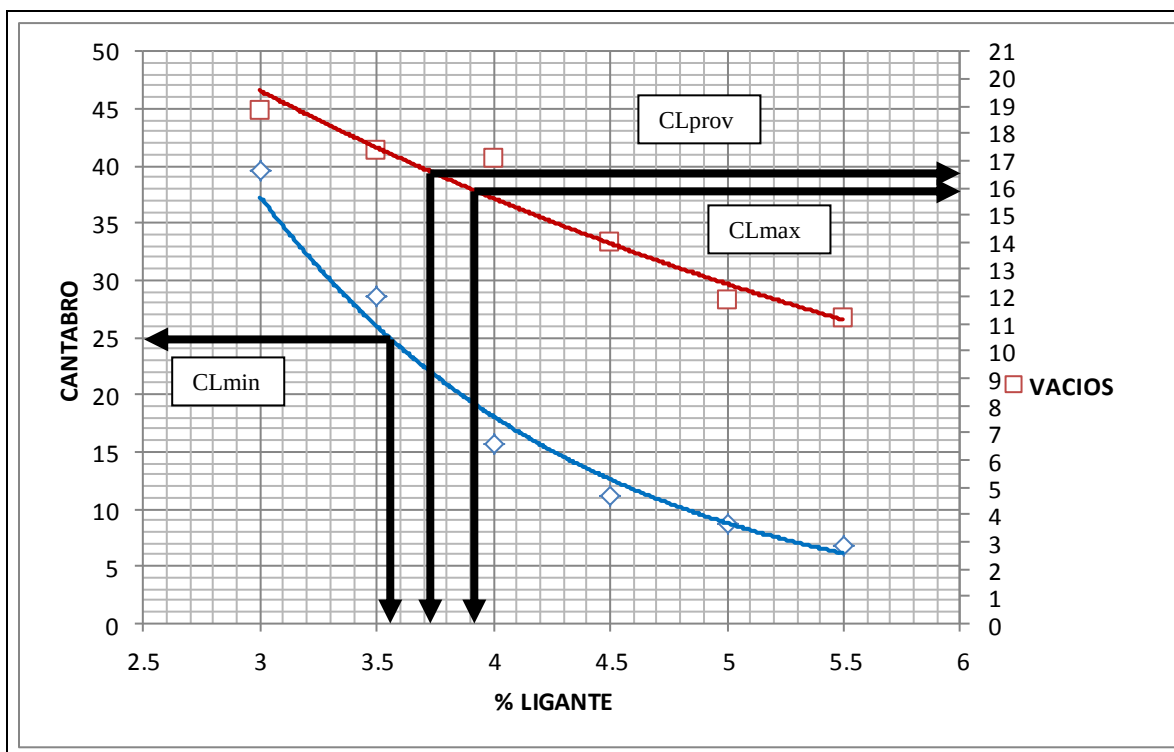


GRÁFICA 2

PORCENTAJE DE VACÍOS VERSUS PORCENTAJE DE ASFALTO



GRÁFICA 3
CARTA DE DISEÑO MÉTODO AUSTRALIANO



Al analizar las gráficas 1 y 2 las cuales son usadas en el método cántabro, se puede observar que en la gráfica 1 existe un rango del ligante entre el 3.5% y 5.5% que cumple con la exigencia de pérdida por desgaste menor al 25 %.

Al observar la gráfica 2 se evidencia que también existe un rango de ligante entre 3% y 4% que cumple con la otra exigencia de la mezcla drenante de tener vacíos entre el 16% al 25%.

De este análisis **asumimos el 4% como ligante de diseño**, ya que con este valor se tiene un porcentaje de vacíos mayor al 16% y una pérdida por desgaste alrededor del 18% valores más que aceptables y que cumplen con los requisitos de la mezcla drenante, ya que con este valor se garantiza un buen recubrimiento de los agregados con el ligante.

Con la carta de diseño utilizada por el método Australiano se encontró el CLmin igual 3.55%, el CLmax igual al 3.9%, de estos dos resultados se encontró el CLprov que como se indicó es el promedio de los anteriores, por lo tanto CLprov es igual 3.725%. El contenido de ligante óptimo en la metodología Australiana es igual al CLprov más el % de escurrimiento en este caso el % de escurrimiento fue igual a cero, por lo que se tomó el CLprov igual al CLdiseño. Entonces podemos indicar que según el método australiano el contenido de **ligante óptimo sería de 3.725%**, valor que cumple con las especificaciones, ya que con este valor obtenemos un % de vacíos superior al 16% y una pérdida por desgaste de 22%.

Podemos observar que se obtuvieron diferentes resultados con los métodos estudiados, con el método cántabro se obtuvo un 4% de ligante de diseño y con la metodología australiana un 3.725%, existiendo una variación entre ambos resultados de 0.275%. Con ambos resultados se cumplió con las especificaciones requeridas para las mezclas drenantes.

Finalmente a objeto de diseñar nuestra mezcla drenante asumiremos **el 4% como ligante de diseño**, pues con este resultado se obtiene una pérdida de desgaste menor, lo cual indica que existe una mejor cohesión y un recubrimiento óptimo de los agregados por parte del ligante, además de cumplir con las especificaciones de nuestra mezcla.

CUADRO N° 10
RELACIÓN AGREGADOS / ASFALTO

MATERIAL	%	Unidad
Grava 3/4"	36,48	En peso
Gravilla 3/8"	37,44	En peso
Arena Natural Chocloca	22,08	En peso
C.A. Modificado con Polímeros	4,00	En peso
TOTAL	100,00	

CUADRO N° 11
RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA CON EL
PORCENTAJE CALCULADO

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA			ESPECIFICACIONES	
DESCRIPCIÓN	Unidad	Valor	Mínimo	Máximo
Peso específico de C.A.	gr./cm ³	0.996	0.95	1.050
Densidad Teórica	gr./cm ³	2.51		
Densidad Real de la Mezcla	%	2.10		
Vacíos Totales	%	16.4	16	22
Vacíos del Agregado Mineral	%	24.80	> 15	
Cemento Asfáltico	%	4.0	4	5
Adherencia	%	100		
Equivalente de Arena	%	52.7	≥ 45	
Caras Fracturadas	%	78.2	75	

CAPÍTULO V

APLICACIÓN DEL DISEÑO DE LA MEZCLA EN EL TRAMO SANTA BÁRBARA-SAN LORENZO

V.1.- ANTECEDENTES

El Tramo Santa Bárbara – San Lorenzo es parte de la Ruta Departamental 602 “Cruce Ruta Fundamental F1 (Rotonda Santa Bárbara) – Río Pilaya”, se desarrolla en el municipio de San Lorenzo Provincia Méndez, teniendo la progresiva 0+000 en la intersección con la Ruta Fundamental F1 que comunica con la ciudad de Tarija, posteriormente ésta se enlaza con ruta 603, en el cruce a Canasmoro, siguiendo hacia el norte donde finaliza en el límite departamental con Chuquisaca en la comunidad Pilaya progresiva 82+819.

La Ruta Departamental 602 comunica a la Zona Baja de la primera sección de la provincia Méndez con la Zona Alta, sirve de acceso a varias rutas municipales entre las principales comunidades servidas son San Lorenzo, Lajas, Carachimayo, Rosal, León Cancha, Criva, Pantipampa, Quirusillas, Camarón, Melón Pujio, Pilaya.

Este Tramo en la actualidad se encuentra constituido de un Tratamiento Triple que fue construido y supervisado por el Servicio Nacional de Caminos en el periodo comprendido entre 1990 y 1992.

En atención al rápido deterioro, desgaste y fatiga de la capa de rodadura, las fallas puntuales en el paquete estructural del tratamiento triple, es que se ve la necesidad de realizar un mantenimiento periódico mediante el recapamiento del tratamiento existente, este recapamiento se lo realizará con la mezcla asfáltica drenante que fue diseñada en laboratorio para poder ser aplicada para este tramo en el sentido de dotar y brindar al usuario mejores condiciones de circulación vehicular, comodidad, confort y seguridad.

V.2.- CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DEL TRAMO

En lo que respecta a la topografía de la zona donde se encuentra el Tramo se la puede considerar como Ligeramente Ondulado con pendientes que fluctúan entre 3% al 9%.

La cota absoluta dentro de la zona del proyecto oscila entre 1900 a 1950 m.s.n.m., prevaleciendo el clima templado, con una temperatura media anual de 16.7 °C, la máxima media anual de 25.8 °C y la mínima media de 8.85 °C.

El 86% de las precipitaciones pluviales se concentran entre los meses de noviembre a marzo, entre las estaciones de primavera y verano, se tiene que éstas llegan a alcanzar 466.1 mm.

La humedad relativa es del 65%, la cobertura vegetal es de bosque seco templado, que rodea al monte espinoso templado, donde la vegetación arbórea es: jarca, churqui, tusca, ceibos y sauce.

Dos ríos atraviesan al tramo el Río Seco y el Río Calama éstos son afluentes de la Subcuenca del Alto Guadalquivir, estos ríos son de poco a ningún caudal entre las estaciones de otoño e invierno, en tanto que en las estaciones de primavera y verano presentan un caudal de poco a normal.

V.3.- DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DEL TRAMO

Ubicación.-

El tramo se encuentra ubicado en la región Sur de Bolivia, más específicamente en la Primera Sección de la Provincia Méndez del Departamento de Tarija, Latitud 64° 45'00" y Longitud 21° 29'00", éste forma parte de la Ruta Departamental 602, ruta sirve de nexo entre la ciudad de Tarija con el Departamento de Chuquisaca (Por la zona del Pilaya).

Longitud del Tramo.-

Este Tramo tiene una longitud de 2458 m., desde el sector llamado Santa Bárbara con una progresiva 0+000 (Que da inicio a la ruta departamental 602) hasta la entrada al pueblo de San Lorenzo con una progresiva de 2+458.

Características de la Vía.-

El tramo Santa Bárbara – San Lorenzo se desarrolla en forma, prácticamente, paralela a la serranía de Sama, en consecuencia lo cruzan dos ríos: río Seco y el río Calama,

está constituido por 75 % de terraplenes y un 25 % de corte en terreno blando (Con sectores del Cuaternario), este tramo posee las siguientes características:

- Ancho de calzada 7 metros.
- Ancho de Berma 2.5 metros a cada lado, tratamiento simple
- Ancho de Plataforma 12.0 metros
- Capa de Rodadura Tratamiento Triple con un espesor de 3 cm.
- Capa Base 0.22 metros de espesor
- Capa Subbase 0.25 metros de espesor
- Capa Subrasante 0.30 metros de espesor

Datos obtenidos de la Administradora Boliviana de Caminos.

Ya en directa referencia al tramo existen sectores con pendientes longitudinales hasta del 7%.

Los taludes de corte no presentan fuertes pendientes ni presentan inestabilidad debido a que son de poca altura.

Condiciones Actuales de la Vía.-

Actualmente la vía presenta las siguientes características superficiales:

- Existen fisuras longitudinales con aberturas que oscilan entre 1 a 8 mm.
- Inicio de la formación de baches, todos prácticamente superficiales, la mayoría en la zona de las bermas.
- La capa de rodadura presenta Pulimento Superficial.
- Desprendimiento moderado de agregados, localizado.
- Existen deformaciones longitudinales y transversales permanentes o ahuellamiento los cuales fluctúan entre los 5mm y 8mm.
- La superficie o capa de rodadura posee signos de envejecimiento, por el tiempo que se encuentra en servicio.

En lo que corresponde a las características estructurales podemos mencionar que el paquete estructural o capas no presentan signos de fatiga o colapso debido a las repeticiones del tráfico vehicular o por la acción de un mal drenaje, lo cual indica que las capas se encuentran trabajando correctamente.

DATOS HISTÓRICOS DEL TRÁFICO PROMEDIO ANUAL Y SU COMPOSICIÓN.-

De acuerdo a datos de la oficina de Plan Vial (SEDECA), se tienen los datos históricos del tráfico promedio anual del año 2007 y los proyectados para el 2008, así mismo la composición del tráfico vehicular:

TABLA N° 4
DATOS DE TRÁFICO VEHICULAR AÑO 2007

<i>Descripción</i>	<i>N° de Veh./ Día</i>	<i>Porcentaje %</i>
Vehículos Livianos	691	87,4
Buses	10	1,3
Camiones	76	9,6
Otros	14	1,8
TOTAL	791	100

TABLA N° 5
DATOS DE TRÁFICO VEHICULAR AÑO 2008

<i>Descripción</i>	<i>N° de Veh/ Día</i>	<i>Porcentaje %</i>
Vehículos Livianos	742	87,6
Buses	11	1,3
Camiones	79	9,3
Otros	15	1,8
TOTAL	847	100

V.4.- DETERMINACIÓN DEL PAQUETE ESTRUCTURAL, MÉTODO DE DISEÑO

La ecuación para la determinación de un refuerzo de pavimento flexible sobre una capa de rodadura de material asfáltico, en este caso tratamiento triple, viene expresada mediante la siguiente fórmula propuesta por la AASTHO:

$$SN_{01} = a_{01} D_{01} = SN_f - SN_{ef}$$

Donde:

SN_{01} =	Es el número estructural requerido para el refuerzo.
a_{01} =	Es el coeficiente estructural para el refuerzo.
D_{01} =	Espesor del refuerzo.
SN_f =	Número estructural requerido para el tránsito futuro.
SN_{ef} =	Número estructural efectivo para el pavimento existente.

El espesor necesario del refuerzo será obtenido según se indica a continuación:

- **Datos de diseño y construcción del pavimento actual..-**

* Capa de Rodadura	Tratamiento Triple con un espesor de 3cm.
* Capa Base	0.22 metros de espesor; CBR >= 80%
* Capa Subbase	0.25 metros de espesor; CBR >= 40 %
* Capa Subrasante	0.30 metros de espesor; CBR >= 25%

- **Medición de fallas.-**

Es imprescindible localizar, clasificar y cuantificar los tipos de fallas presentes, en base a los mismos se adoptan los coeficientes estructurales para capas asfálticas deterioradas.

- **Porcentaje de superficie con piel de cocodrilo (baja severidad)**

Área con piel de cocodrilo = 10 m^2

Área total de la carretera = $2698 * 7 = 18886 \text{ m}^2$

% de piel de cocodrilo = $20 * 100 / 18886 = 0.1 \%$

- **Fisuras por Km. (Baja Severidad)**

Total de fisuras en 2698 m1475mts.

% de fisuras transversales = $1475 * 0.10 * 100 / 2698 = 5.47 \%$

- **Profundidad media de ahuellamiento**

Se pudo observar que la profundidad media de ahuellamiento está en el orden de 5mm.

- **Determinación del número estructural requerido para el tránsito futuro.-**

- **Estimación del módulo resistente (Mr) a partir de los valores de CBR de diseño del paquete estructural actual.**

De las correlaciones empíricas entre el Mr y los ensayos de CBR, se adoptan los siguientes valores:

Capa Base:	CBR = 80 %	Mr = 5000 Psi.
Capa SubBase:	CBR = 40 %	Mr = 10000 Psi.
Capa Subrasante:	CBR = 25 %	Mr = 45000 Psi.

- **Confiabilidad R del refuerzo.**

El método AASTHO recomienda utilizar valor de confiabilidad para rutas internacionales y autopistas en zona rural del 80 al 99%, para nuestro caso se adoptará un valor de 95%, el mismo que corresponde ZR igual -1.065.

- **Desviación estándar So para pavimentos flexibles**

Se asumirá un valor de 0.35 en función al comportamiento de las variables.

- **Determinación de la pérdida de serviciabilidad ΔPSI**

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

El método AASTHO recomienda usar valores en el orden de 4.2 de serviciabilidad inicial (P_o) y de 2.5 de serviciabilidad final (P_f) para caminos de importancia.

- **Determinación de W18**

Estimación de los ejes equivalente acumulados para los 10 años de vida útil, y una tasa de crecimiento anual del 5% de la tabla 3.19 del Método AASTHO (Anexo 4) se adopta un factor de crecimiento de tránsito de 12.58%.

- DD = 0.5 Distribución direccional.
- DT = 0.5846 Distribución de caminos.
- ESALs = 360000 (Según datos de Tráfico)
- W18 = $F_{ct} * ESALs * DD * TD$
- W18 = 1323768.24 Ejes equivalentes de 8.2 Tn.
- Se adopta W18 = 1.400.000,00

- **Cálculo del número estructural requerido para el tránsito futuro.**

Con todos estos datos y el ábaco de la ecuación de diseño del método AASTHO (Anexo 5) se puede determinar SNf:

- W18 = 1323768.24
- R = 95%
- Pi = 4.2
- Pf = 2.5

$$\log W_1 = Z_R * S_O + 9.36 * \log (SN - 1) - 0.2 + \frac{\log(\Delta PSI)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

$$SN = 4'' = 10.16 \text{ cm.}$$

- **Determinación del número estructural efectivo.**

Esta determinación se la efectuará mediante el método de observación visual y de ensayo de materiales.

El análisis será mediante la ecuación del número estructural:

$$SN_{ef} = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 m_2 + a_3 * D_3 m_3$$

Donde:

- a1, a2, a3 son los coeficientes estructurales para pavimentos flexibles deteriorados.

- D1, D2, D3 espesores de las diferentes capas que componen el paquete estructural.

- m2, m3 se adoptan de acuerdo a las condiciones de drenaje.

De acuerdo a las mediciones y observaciones realizadas a las fallas del pavimento existente descritas en los párrafos precedentes, se adoptará los diferentes coeficientes (Anexo 6):

- $a_1 = 0.35$ $a_2 = 0.28$ y $a_3 = 0.12$

- D1 = 3 cm. D2 = 22 cm. D3 = 25 cm.

- $m_2 = 0.8$ y $m_3 = 0.7$

$SN_{ef} = 0.35*3 + 0.28*22*0.8 + 0.12*25*0.7 = 8.08 \text{ cm.}$

$SN_{ef} = 8.08 \text{ cm.}$

- **Determinación del espesor del refuerzo**

$$D_{oi} = \frac{SN_f - SN_{ef}}{a_{oi}}$$

$$a_{oi} = 0.42$$

$$D_{oi} = (10.16 - 8.08) / 0.42$$

$D_{oi} = 4.95 \text{ cm.}$

En consecuencia con los resultados obtenidos se adoptará un espesor de refuerzo de 5 cm.

Se debe mencionar que este espesor calculado o determinado se encuentra en correspondencia y similitud al ejecutado por el Servicio Nacional de Caminos en el tramo contiguo o de continuación, es decir Santa Bárbara – Tomatitas que es parte de la Ruta Fundamental F1 en lo que respecta al Departamento de Tarija, en la cual el espesor ejecutado de recapamiento fue de 5 cm.

V.5.- CÓMPUTOS MÉTRICOS, ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS Y PRESUPUESTO GENERAL

ITEM 1: Trabajos topográficos**UNIDAD: Km****CÓMPUTOS MÉTRICOS**

Progresiva		Longitud (Km)	Numero de veces	Cantidad total (Km)	Observaciones
Inicio	Final				
0+000	0+240	0.240	2	0.480	Parte de la rotonda lado derecho
0+000	0+240	0.240	2	0.480	Parte de la rotonda lado izquierdo
0+240	2+458	2.218	2	0.480	Salida de la rotonda hasta San Lorenzo
TOTAL				5396	

ITEM 2: Excavación y limpieza**UNIDAD: m3****CÓMPUTOS MÉTRICOS**

Progresiva		Sector	Volumen (m3)	Observaciones
Inicio	Final			
0+000	0+240	Bermas	1.56	Lado derecho de la rotonda
0+000	0+240	Calzada	2.58	Lado izquierdo de la rotonda
0+240	2+458	Bermas	55.25	Salida de la rotonda hasta San Lorenzo
0+240	2+458	Calzada	40.85	Salida de la rotonda hacia San Lorenzo
TOTAL			100.24	

ITEM 3: Imprimación**UNIDAD: m2****CÓMPUTOS MÉTRICOS**

Progresiva		Sector	Volumen (m3)	Observaciones
Inicio	Final			
0+000	0+240	Bermas	31.2	Lado derecho de la rotonda
0+000	0+240	Calzada	51.6	Lado izquierdo de la rotonda
0+240	2+458	Bermas	1105	Salida de la rotonda hasta San Lorenzo
0+240	2+458	Calzada	817	Salida de la rotonda hacia San Lorenzo
TOTAL			2004.8	

ITEM 4: Bacheo Superficial**UNIDAD: m3****CÓMPUTOS MÉTRICOS**

Progresiva		Sector	Volumen (m3)	Observaciones
Inicio	Final			
0+000	0+240	Bermas	1.56	Lado derecho de la rotonda
0+000	0+240	Calzada	2.58	Lado izquierdo de la rotonda
0+240	2+458	Bermas	55.25	Salida de la rotonda hasta San Lorenzo
0+240	2+458	Calzada	40.85	Salida de la rotonda hacia San Lorenzo
TOTAL			100.24	

ITEM 5: Sellado de grietas (Tratamiento de fisuras)**UNIDAD: m3****CÓMPUTOS MÉTRICOS**

Progresiva		Área de fisuras de 5 mm	Área de fisuras de 10 mm	Área de fisuras de 15 mm	Área total (m2)
Inicio	Final				
0+000	0+200	3.56			3.56
0+200	0+400	2.96	1.5		4.46
0+400	0+600	2.58			2.58
0+600	0+800	6.36			6.36
0+800	1+000	2.48	2.6		5.08
1+000	1+200	0.46			0.46
1+200	1+400	1.22			1.22
1+400	1+600	1.9			1.9
1+600	1+800	2.16	3.2		5.36
1+800	2+000	2.2			2.2
2+000	2+200	2.5			2.5
2+200	2+400	2.7	2.2		4.9
2+400	2+458				0
TOTAL					40.58

ITEM 6: Riego de liga**UNIDAD: m2****CÓMPUTOS MÉTRICOS**

Progresiva		Longitud (m)	Ancho (m)	Área total (m2)	Observaciones
Inicio	Final				
0+000	0+240	240	8.8	2112	Parte de la rotonda lado derecho
0+000	0+240	240	8.8	2112	Parte de la rotonda lado izquierdo
0+240	2+458	2218	10.3	22845.4	Salida de la rotonda hasta San Lorenzo
TOTAL				27069.4	

ITEM 7: Carpeta Asfáltica (e = 0.05 m)**UNIDAD: m3****CÓMPUTOS MÉTRICOS**

Progresiva		Longitud (m)	Ancho (m)	Área total (m2)	Observaciones
Inicio	Final				
0+000	0+240	240	8.8	105.6	Parte de la rotonda lado derecho
0+000	0+240	240	8.8	105.6	Parte de la rotonda lado izquierdo
0+240	2+458	2218	10.3	1142.27	Salida de la rotonda hasta San Lorenzo
TOTAL				1353.47	

ITEM 8: Señalización Horizontal Fajas Amarillas**UNIDAD: ml****CÓMPUTOS MÉTRICOS**

Progresiva		Longitud (ml)	Observaciones
Inicio	Final		
0+000	0+240	108	Parte de la rotonda lado derecho
0+000	0+240	108	Parte de la rotonda lado izquierdo
0+240	2+458	1331	Salida de la rotonda hasta San Lorenzo
TOTAL		1547	

ITEM 9: Señalización Horizontal Fajas Blancas**UNIDAD: ml****CÓMPUTOS MÉTRICOS**

Progresiva		Longitud (m)	Número de veces	Longitud total (ml)	Observaciones
Inicio	Final				
0+000	0+240	240	2	480	Parte de la rotonda lado derecho
0+000	0+240	240	2	480	Parte de la rotonda lado izquierdo
0+240	2+458	2218	2	4436	Salida de la rotonda hasta San Lorenzo
TOTAL				5396	

ITEM 10: Señalización Vertical Informativa**UNIDAD: Pza****CÓMPUTOS MÉTRICOS**

Progresiva		Número de veces	Cantidad total (Pza)	Observaciones
Inicio	Final			
0+000	2+458	2	2	
TOTAL			2	

ITEM 11: Señalización Vertical Restrictiva**UNIDAD: Pza****CÓMPUTOS MÉTRICOS**

Progresiva		Número de veces	Cantidad total (Pza)	Observaciones
Inicio	Final			
0+000	2+458	4	4	
TOTAL			4	

ITEM 12: Señalización Vertical Preventiva**UNIDAD: Pza****CÓMPUTOS MÉTRICOS**

Progresiva		Número de veces	Cantidad total (Pza)	Observaciones
Inicio	Final			
0+000	2+458	4	4	
TOTAL			4	

ITEM 13: Señalización reflectante bidireccional
UNIDAD: Pza

CÓMPUTOS MÉTRICOS

Progresiva		Longitud del tramo (m)	Intervalo (m)	Tramo	Cantidad (Pza)	Observaciones
Inicio	Final					
0+000	0+240	240	12	Central	20	Ojos de gato color amarillo
0+000	0+240	240	18	Bordes	24	Ojos de gato color blanco
0+000	0+240	240	12	Central	20	Ojos de gato color amarillo
0+000	0+240	240	18	Bordes	24	Ojos de gato color blanco
0+240	2+308	2068	24	Central	87	Ojos de gato color amarillo
0+240	2+308	2068	24	Bordes	87	Ojos de gato color blanco
2+308	2+458	150	12	Central	13	Ojos de gato color amarillo
2+308	2+458	150	18	Bordes	18	Ojos de gato color blanco
TOTAL					293	

PRESUPUESTO GENERAL

N°	Descripción del ítem	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Costo parcial (Bs)
1	Trabajos topográficos	Km	5.40	3990.15	21530.85
2	Excavación y limpieza para bacheo superficial	m3	100.24	7.70	771.85
3	Imprimación asfáltica	m2	2004.80	13.40	26864.32
4	Bacheo superficial	m3	100.24	165.82	16621.80
5	Sellado de grietas	m2	40.58	11.40	462.61
6	Riego de liga	m2	27069.40	15.23	412266.96
7	Carpeta asfáltica (Provisión, extensión y compactación)	m3	1353.47	2363.96	3199548.94
8	Señalización horizontal fajas amarillas	ml	1547.00	7.25	11215.75
9	Señalización horizontal fajas blancas	ml	5396.00	7.25	39121.00
10	Señalización vertical informativa	Pza	2.00	1524.53	3049.06
11	Señalización vertical restrictiva	Pza	4.00	779.91	3119.65
12	Señalización vertical preventiva	Pza	4.00	743.88	2975.53
13	Señalización reflectante bidireccional	Pza	293.00	5.64	1652.52
COSTO TOTAL					3739200.80

V.6.- COMPARACION DE COSTOS ENTRE MEZCLA CONVENCIONAL Y MEZCLA DRENANTE

Se realizara una comparación de cantidades de material y costos de los mismos, para un kilometro de carpeta.

PROYECTO: SANTA BARBARA-SAN LORENZO

CALCULO DE CANTIDAD DE MATERIALES PARA CARPETA ASFALTICA CONVENCIONAL

PLATAFORMA (Carpeta Asfáltica)

Longitud(m)	1000	Vol Total(m3)	420
Ancho (m)	7	Masa Total(Kg)	1008000
Espesor (m)	0,06		
Densidad(Kg/m3)	2400		
Cant. Optima de asfalto	5,5		

Materiales	P. U. suelto (Kg/m ³)	Cantidades		
		(%)	(Tn)	(m ³)
Cemento Asfáltico		5,5	55,4	
Grava 3/4"	1383	23,65	238,4	172,4
Grava 3/8"	1443	23,65	238,4	165,2
Arena	1559	47,30	476,8	305,8

IMPRIMACIÓN

Area (m2)	Tasa (lt/m2)	MC-30(lt)	Asfalto (Tn)	KEROSENE (lt)
7000	1,2	8400	4,37	4032,00

RESUMEN

TOTALES	ASFALTO (Tn)	KEROSENE (lt)	3/4" (m3)	3/8" (m3)	Arena (m3)
	59,81	4032,00	172,37	165,21	305,83

PROYECTO: SANTA BARBARA-SAN LORENZO

**CALCULO DE CANTIDAD DE MATERIALES PARA CARPETA ASFALTICA
DRENANTE**

PLATAFORMA (Carpeta Asfáltica)

Longitud(m)	1000
Ancho (m)	7
Espesor (m)	0,05
Densidad(Kg/m3)	2100
Cant. Optima de asfalto	4

Vol Total(m3)	350
Masa Total(Kg)	735000

Materiales	P. U. suelto (Kg/m ³)	Cantidades		
		(%)	(Tn)	(m ³)
Cemento Asfáltico		4	29,4	
Grava 3/4"	1383	36,48	268,1	193,9
Grava 3/8"	1443	37,44	275,2	190,7
Arena	1559	22,08	162,3	104,1
		100,0		

IMPRIMACIÓN

Área (m2)	Tasa (lt/m2)	MC-30(lt)	Asfalto (Tn)	KEROSE NE (lt)
7000	1,5	10500	5,46	5040,00

RESUMEN

TOTALES	ASFALTO (Tn)	KEROSENE (lt)	3/4" (m3)	3/8" (m3)	Arena (m3)
	34,86	5040,00	193,87	190,70	104,10

OBS.

 Todos los cálculos son sin considerar pérdidas

ANALISIS DE COSTOS DE MATERIALES POR KILOMETRO

CARPETA ASFÁLTICA CONVENCIONAL

MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO (Bs)	COSTO TOTAL (Bs)
Asfalto convencional	tn	59,81	9827	587752,87
Kerosene	lt	4032	2,75	11088
Agregado triturado 3/4"	m3	172,37	110	18960,7
Agregado triturado 3/8"	m3	165,21	125	20651,25
Arena clasificada	m3	305,83	100	30583
COSTO TOTAL (Bs)				669035,82

CARPETA ASFÁLTICA DRENANTE

MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO (Bs)	COSTO TOTAL (Bs)
Asfalto con polímeros	tn	34,86	13044	454713,84
Kerosene	lt	5040	2,75	13860
Agregado triturado 3/4"	m3	193,87	110	21325,7
Agregado triturado 3/8"	m3	190,7	125	23837,5
Arena clasificada	m3	104,1	100	10410
COSTO TOTAL (Bs)				524147,04

DIFERENCIA (Bs)		144888,78
------------------------	--	------------------

* Costos con los que trabaja el servicio Departamental de Caminos.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.1.- CONCLUSIONES

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

- Para el diseño de la mezcla drenante se utilizó como base del diseño la metodología Española Cántabro y el método Australiano, estos métodos se los realiza utilizando diferentes ensayos de laboratorio, tanto de la norma AASTHO y NLT.
- Tanto para el método cántabro, como para la metodología australiana se sigue un proceso similar al Marshall, con la diferencia que en la compactación tan solo se utilizan 50 golpes por cara y no se toma en cuenta el parámetro de estabilidad y fluencia para el diseño de la mezcla.
- Se debe indicar que para el diseño de mezclas drenantes el método de mayor aplicación es el cántabro, en nuestro caso se aplicó esta metodología y también se utilizó el método australiano para poder realizar una comparación de resultados.
- Las especificaciones técnicas que se utilizaron para el diseño son las utilizadas por la normativa Española, especificaciones que también son utilizadas en los países latinoamericanos que trabajen con este tipo de mezclas asfálticas.
- En cuanto a los resultados, con el método cántabro se obtuvo un porcentaje de ligante de 4% y con la metodología australiana se obtuvo un 3.725% de ligante, para efectos de nuestro diseño se adoptó el 4% como ligante de diseño ya que con este valor se cumplían con las exigencias de la mezcla y además de asegurarnos que exista 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 existía menor desgaste por abrasión..

- Existen otros métodos de diseño que no se pudieron realizar por no existir en nuestro medio los equipos requeridos para la realización de los ensayos de laboratorio.
- Los resultados obtenidos en laboratorio nos muestran claramente que el contenido de ligante en las mezclas asfálticas drenantes es mucho menor que en las mezclas convencionales, esto debido a que esta mezcla al tener mayor vacíos necesita de menos ligante.
- En el diseño de las mezclas drenantes, la capacidad de resistencia de la mezcla no se basa en la cohesión, debido a que este tipo de mezclas tienen un porcentaje de asfalto inferior que las mezclas convencionales, sino más bien la capacidad de resistencia, se basa en el rozamiento interno, el cual se consigue aumentar, mejorando la calidad de los agregados.
- Se debe indicar que para realizar 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 caso de nuestra mezcla se usó agregados pétreos chancados provenientes de la chancadora del SEDECA ubicada en la comunidad de Charaja a los cuales de forma anterior ya se realizó los diferentes ensayos para confirmar que cumpla las especificaciones técnicas.
- La falta de cohesión en la mezcla hace que esta 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 proporcionares y utilizando los distintos ensayos puestos a punto.
- En cuanto al cemento asfáltico, en nuestra mezcla se utilizo asfalto modificado con

polímeros tipo SBS, el cual aumenta las propiedades físicas y reológicas de las mezclas asfálticas y al mejorar estas propiedades se puede disminuir el espesor de la carpeta, lo cual nos hace reducir costos.

- En lo referido a los costos se hizo una comparación de cantidades y precios de materiales por kilómetro entre una mezcla convencional con cemento asfáltico normal y una mezcla drenante con cemento asfáltico modificado con polímeros, observando que el costo de la segunda es menor, esto se debe, a que si bien el cemento asfáltico modificado con polímeros es más caro, en este tipo de mezcla la cantidad que se usa es menor, de igual manera al ser el espesor menor, las cantidades de agregados también reduce, rebajando el costo de este tipo de mezclas en comparación de una mezcla convencional.

- Un factor muy importante en el uso de cemento asfáltico modificado, es la temperatura con la que se debe trabajar, ya que se debe tener bastante cuidado en este aspecto para que se produzca una buena mezcla entre el agregado y el ligante, en el caso de nuestro diseño, se trabajó con una temperatura entre 150 a 155°C, temperatura con la cual se podía realizar la mezcla de manera que todo el agregado este cubierto con ligante.

- Para la aplicación de este tipo de mezclas lo más importante que se debe tener en cuenta, es que 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.

- En el caso de nuestro tramo de aplicación al ya existir una capa con tratamiento superficial triple y tener fallas de carácter superficial, esta deberá ser sellada en todas

sus fisuras, piel de cocodrilo, etc, para luego recién proceder a poner un buen riego de liga y finalmente realizar el recapamiento con la mezcla asfáltica drenante tomando en cuenta todos los aspectos y cuidados indicados en los párrafos de fabricación y puesta en obra de la mezclas drenantes.

VI.2.- RECOMENDACIONES

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

- La primera recomendación que se daría sería la implementación de un laboratorio de asfaltos en nuestra Universidad, ya que no existe en nuestro medio un laboratorio que cuente con los requisitos 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.

- Como vimos se utilizó dos métodos para el diseño de la mezcla, ambos métodos basados en diferentes ensayos, pero por la facilidad y la rapidez de ejecución se recomienda el uso de la metodología Cántabro, la cual es la de mayor uso tanto en los países europeos como en algunos latinoamericanos que ya utilizan este tipo de mezclas en sus carreteras.

-Para la aplicación de la mezcla en el tramo, se recomienda realizar el sellado de todas las fisuras existentes en el tramo, antes de echar el riego de liga, el cual por las características de la mezcla drenante deberá ser de porcentaje mayor que el que se aplica para las mezclas convencionales.

- 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 plante y a la temperatura de puesta en obra.

- Finalmente se recomienda seguir a detalle lo indicado en el acápite de fabricación y puesta en obra de la mezcla drenante, así de esta manera se logrará tener una óptima carpeta asfáltica que cumpla con todos los requisitos de transitabilidad y funcionalidad, además de garantizar la duración y el buen funcionamiento en el tiempo.