

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El drenaje en las mezclas asfálticas es muy importante en la conformación de la capa asfáltica, debido a que gracias a la buena drenabilidad del agua a través de éstas se podría evitar varios accidentes y deterioros futuros en las carreteras debido a la mala evacuación del agua que tienen varias de éstas en la época de lluvia. Permitiendo a través de mezclas porosas drenantes obtener una mejor eficiencia de evacuación del agua que se acumula en la carpeta asfáltica.

El mejoramiento de la eficiencia del drenaje en las mezclas asfálticas es muy importante, a tal grado que es importante realizar un estudio y análisis del comportamiento y fenómenos que ocurren cuando una mezcla asfáltica no puede drenar el agua presente en ella. En muchas oportunidades el agua presente en las carreteras hace que se produzca la pérdida de adherencia entre el neumático del vehículo y pavimento, haciendo que en reiteradas ocasiones sea difícil el maniobrar de forma segura en los vehículos; así como a su vez eliminamos el hidroplaneo en las pistas, en el que el neumático y el pavimento rompen el contacto entre ambos, y el neumático flota en el agua de modo que el conductor pierde el control de su vehículo.

En esta oportunidad se denotará y analizará el mejoramiento de la eficiencia del drenaje en este tipo de mezclas asfálticas drenantes con el uso de un plastómero, policloruro de vinilo (PVC). Se realizarán los ensayos de Cántabro en seco y permeámetro de carga variable LCS, para ver el desgaste y permeabilidad de las mezclas drenantes modificadas con la adición del elastómero (PVC), en condiciones de desgaste y humedad que se presentaran en condiciones naturales de uso.

El presente estudio se encargará del mejoramiento de la eficiencia del drenaje en las mezclas asfálticas mediante la adición del elastómero (PVC). La dosificación óptima se deberá usar de cemento asfáltico modificado para que tenga una mejor eficiencia de drenaje una mezcla asfáltica porosa o drenante.

1.2 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 mezclas drenantes sería una solución adecuada para algunas carreteras que en la actualidad se encuentran en pésimo estado para su transitabilidad.

En nuestro país no se usan mucho este tipo de mezclas debido al poco conocimiento de sus ventajas y la falta de parámetros propios de diseño para poder aplicarlo.

Por esta razón se pretende efectuar esta investigación y realizar el diseño en laboratorio de una mezcla drenante utilizando el método Cántabro en seco y por medio del permeámetro LCS, mediante la adición de un polímero, en este caso (PVC) que ayude a mejorar su eficiencia de drenaje, para así de esta manera obtener parámetros y resultados que puedan ser aplicados a nuestro medio.

La aplicación de esta mezcla se la pretende usar en un futuro cercano en respuesta a la necesidad de tener un mejor mantenimiento y preservación de nuestras carreteras; ya que varios tramos de nuestro territorio se deterioran debido a la poca o falta de eficiencia de drenabilidad a través de una mezcla permeable.

Se pretende dar una solución mediante este estudio en laboratorio a las mezclas asfálticas drenantes obteniendo parámetros que nos sirvan a futuro y presente, así evitar fallas y deficiencias en las carreteras por estas causas que provoca la humedad y falta de buena drenabilidad.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1 Situación problemática

Conceptualización puntual del objeto de estudio

El mejoramiento de la eficiencia de drenaje en las mezclas asfálticas permitirá una mayor drenabilidad del agua, sea este producto de la lluvia o por medio del suelo cuando éste se acumula.

Si se tiene una mayor eficiencia, por ende se tendrá una mejor funcionalidad y trabajabilidad de la carpeta asfáltica. Y esto se va a lograr a través de un estudio y análisis para mejorar las cualidades de las mezclas asfálticas.

Descripción del fenómeno ocurrido

Muchas mezclas asfálticas carecen de una buena drenabilidad y provocan fallas a mediano, largo y corto plazo en parte de la estructura del pavimento.

Al realizar el mejoramiento de la eficiencia del drenaje en la mezcla asfáltica, mediante la adición del plastómero (PVC), se consigue una mayor permeabilidad de la mezcla y a su vez una mejor cohesión entre cemento asfáltico a agregado evitando mayor disgregación. Adquiriendo una resistencia al desgaste de las ruedas de los vehículos.

Breve explicación de la perspectiva de solución

El análisis de mejorar la eficiencia del drenaje en las mezclas asfálticas se ve reflejado en su aporte que dará a la trabajabilidad del pavimento y su mayor duración, ya que es de suma importancia que un pavimento flexible cuente con una buena durabilidad en su conformación para así evitar fallas futuras que conlleven mayores gastos en su inversión, su construcción y mantenimiento.

1.3.2 Determinación del problema

Problema de investigación

¿Cómo se puede mejorar la eficiencia de drenaje para tener una mayor permeabilidad en las mezclas asfálticas utilizando un plastómero tipo PVC?

Breve descripción sobre. Delimitación del tiempo, factibilidad y espacio

Los ensayos que se realizarán para este tipo de muestras, son algo morosos debido a su complejidad y tiempo para ejecutarlos, las briquetas que se necesitarán para hacer estos ensayos llevan su tiempo tanto por el ensayo de Cántabro como el de permeámetro. El tiempo que se usará será aproximadamente de 5 a 6 semanas para realizar todos los ensayos de laboratorio tanto del cemento asfalto modificado, agregados, las briquetas, permeabilidad y desgaste.

La factibilidad es otro aspecto que se considera, debido al costo de los ensayos, al usar mezclas asfálticas modificadas, en este caso el plastómero (PVC).

El espacio del estudio se centrará en trabajo netamente de laboratorio, no se abarcará a campo ni in situ. Determinando resultados óptimos confiables para su aplicación en campo.

1.4 OBJETIVOS

Como objetivos del siguiente trabajo se plantea:

1.4.1 Objetivo general

Mejorar la eficiencia del drenaje en una mezcla porosa modificada con PVC en caliente a partir del diseño óptimo normal, analizando la variación en sus propiedades de permeabilidad.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar los ensayos pertinentes de caracterización tanto de agregados pétreos y cemento asfáltico.
- Modificar la mezcla porosa drenante con PVC a partir del contenido óptimo del cemento asfáltico.
- Analizar la permeabilidad en la mezcla asfáltica drenante modificada con PVC.
- Comprobar el desgaste por el método Cántabro de las briquetas.
- Medir el porcentaje de vacíos presente en la mezcla modificada y sin modificar.
- Observar la trabajabilidad del plastómero (PVC) en la mezcla asfáltica modificada.

1.5 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

1.5.1 Hipótesis

Mediante la adición de plastómero (PVC) en el cemento asfáltico, se podrá obtener una mejor eficiencia en la mezcla drenante de una determinada granulometría, que cuente con una mayor permeabilidad.

1.5.2 Identificación de variables

- Cemento asfáltico
- Eficiencia
- Porosidad
- Permeabilidad
- Granulometría
- Plastómero (PVC)

Variables independientes

- Granulometría
- Cemento asfáltico
- Plastómero (PVC)

Variables dependientes

- Porosidad
- Permeabilidad
- Eficiencia

1.5.3 Conceptualización y operacionalización de las variables

Tabla 1.1 Operacionalidad de variables

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/acción
Cemento asfáltico	Es un material aglomerante solido o semisólido de color negro o pardo oscuro. Usado para realizar las mezclas asfálticas	porcentaje	%	Cantidad medible
Porosidad	Es la cantidad o porcentaje de vacíos que presenta la mezcla asfáltica	Porcentaje de vacíos	%	Valor definido
Plastómero PVC	Son componentes que regulan la velocidad de rotura de la emulsión al entrar en contacto con los áridos	cantidad	Kg o gr	Cantidad medible
Granulometría	Es el tamaño de un suelo que pasa por un tamiz	% que pasa	(mm)	Valor determinado
Eficiencia	Es la capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado	Tiempo de drenaje	seg	Valor calculado
Permeabilidad	Es la capacidad que tiene un material de permitir el flujo a través de él, sin alterar sus propiedades y resistencia	Circulación del agua	cm/s ó m/s	Valor calculado

Fuente: Elaboración propia

1.6 ALCANCE DEL TRABAJO

Se va a realizar primeramente una descripción general sobre asfaltos, mezclas asfálticas, su avance en la actualidad y los objetivos que se quiere alcanzar con el trabajo. Posteriormente se dará a conocer una fundamentación teórica de todo lo referente a los asfaltos y mezclas asfálticas, su clasificación, aplicación, ventajas y desventajas, después se detallara lo que concierne a las mezclas porosas y la drenabilidad, realizando un análisis del mejoramiento de la permeabilidad en las mismas con la adición de PVC. De cómo afecta este plastómero a la mezcla en sí.

Las mezclas asfálticas porosas surgen como una rama más en la clasificación de las mezclas asfálticas; por lo tanto, gran parte de los ensayos y metodologías corresponden a las mezclas asfálticas convencionales. De ahí que daremos mucha importancia al estudio de las mezclas asfálticas o bituminosas convencionales y así de esta forma nos adentraremos a habar sobre lo que es una mezcla drenante y sus propiedades.

Se estudiará y analizará los parámetros de diseño que intervienen en una mezcla, adoptando un método para desarrollarlo en el laboratorio, así mismo estudiaremos los materiales que deben utilizarse y que puedan cumplir con ciertas exigencias de resistencia y granulometría, los ligantes asfálticos también requieren su respectivo estudio y análisis para la dosificación y preparación de las mezclas en el laboratorio.

Se enfatizara sobre las mezclas porosas o drenantes, parámetros de diseño, métodos de diseño que se utilizará. Se dará una descripción de los materiales pétreos y ligante, como también del polímero plastómero que se usará y sus propiedades.

Se diseñará una mezcla porosa drenante sin modificar con los agregados pétreos de la zona que cumpla los rangos de granulometría para dicho fin, realizando seguidamente los respectivos ensayos que conllevan el análisis de las briquetas dosificadas y preparadas en laboratorio. Se determinara el contenido de cemento asfáltico óptimo luego de llevarlos a correr a la prensa Marshall.

Con esos parámetros se pretende diseñar una mezcla porosa drenante modificada con PVC y finalmente hacer un estudio de la drenabilidad del agua a través de la misma, ver si mejora la eficiencia de drenaje de la misma midiendo su permeabilidad.

También se podrá analizar si existe el cambio en sus otras propiedades como resistencia a la adherencia, fluencia, desgaste, densidad, etc.

1.7 DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1 Identificación del tipo del diseño de investigación

Se trata de un estudio experimental puro en donde se tiene que hacer manipulación de una variable independiente con cierto control y validez

1.7.2 Unidades de estudio y decisión muestral por variable

Unidad de estudio

Mezclas asfálticas drenantes

Población

Dosificación en las mezclas asfálticas drenantes con la adición de plastómero (PVC)

Selección del nivel de confianza

Tabla 1.2 Selección del nivel de confianza

N.C	z
50%	0,574
80%	1,28
85%	1,44
90%	1,64
95%	1,96
99%	2,58

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.3 Proporción y varianzas de ensayos

N	Por proporción	Varianzas
Infinito (Desconocido)	$N = \frac{z^2 * p * q}{e^2}$	$N = \frac{z^2 * \sigma^2}{e^2}$
Finito (Conocido)	$N = \frac{N * z^2 * p * q}{(n - 1)e^2 + z^2 * p * q}$	$N = \frac{N * z^2 * \sigma^2}{(N - 1)e^2 + z^2 * \sigma^2}$

Fuente: Elaboración propia

$$N = \frac{z^2 * P * q}{e^2}$$

$$N = \frac{1,96^2 * 0,5 * 0,5}{0,05^2} = 384$$

N=384 ensayos

Con el valor del número de ensayos que resultaba de utilizar un nivel de confianza del 95 % y un error del 5 %, se procedió a usar este dato para estratificar el muestreo, sabiendo el listado de ensayos a realizar en el laboratorio

La siguiente ecuación es para un muestreo estratificado de la población, para saber aproximadamente el número de ensayos a realizar.

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n N_i * P_i * q_i}{\frac{N * e^2}{z^2} + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n N_i * P_i * q_i}$$

$$n = \frac{96}{\frac{384 * 0,05^2}{1,96^2} + \frac{1}{384} * 96} = 192$$

Tamaño y muestreo

Se desea saber cuántos ensayos en laboratorio corresponde para determinar y comprobar el mejoramiento de la eficiencia de drenaje en las mezclas asfálticas

modificadas con polímeros (PVC). Para lo cual se procedió a averiguar los ensayos necesarios que se requiere para cumplir dicha finalidad.

Tabla 1.4 Ensayos a realizar

N.C del 95 % y un error de 5%	Ensayos
C.A.M	Ductilidad
	Penetración
	Punto de ablandamiento
	Punto de flama Cleveland
	Peso específico
Agregados	Granulometría arena
	Granulometría grava
	Granulometría gravilla
	Peso específico grava
	Peso específico gravilla
	Peso específico arena
	Durabilidad a sulfatos
	Caras fracturadas
	Desgaste de los Ángeles
	Equivalente de arena
Índice de lajas	
M.A.D	Límites
	Ensayo de Cántabro
	Permeámetro L.C.S

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.5 Planilla de muestreo estratificado 1

Ensayos		Cantidad	P_i	q_i	P_i *q_i	N_i*P_i*q_i	W_i	n_i
C.A.M	Ductilidad	35	0,50	0,50	0,25	8,75	0,091	18
	Penetración	35	0,50	0,50	0,25	8,75	0,091	18
	P. de ablandamiento	35	0,50	0,50	0,25	8,75	0,091	18
	P. de flama Cleveland	35	0,50	0,50	0,25	8,75	0,091	18
	Peso específico	35	0,50	0,50	0,25	8,75	0,091	18
Agreg.	Granulometría arena	3	0,50	0,50	0,25	0,75	0,008	1
	Granulometría grava	3	0,50	0,50	0,25	0,75	0,008	1

	Granulometría gravilla	3	0,50	0,50	0,25	0,75	0,008	1
	Peso específico grava	5	0,50	0,50	0,25	1,25	0,013	3
	Peso específico gravilla	5	0,50	0,50	0,25	1,25	0,013	3
	Peso específico arena	5	0,50	0,50	0,25	1,25	0,013	3
	Durabilidad a sulfatos	3	0,50	0,50	0,25	0,75	0,008	1
	Caras fracturadas	5	0,50	0,50	0,25	1,25	0,013	3
	Desgaste de los Ángeles	5	0,50	0,50	0,25	1,25	0,013	3
	Equivalente de arena	5	0,50	0,50	0,25	1,25	0,013	3
	Indice de lajas	5	0,50	0,50	0,25	1,25	0,013	3
	Limites	3	0,50	0,50	0,25	0,75	0,008	1
M.A.D	Ensayo de Cántabro	79,50	0,50	0,50	0,25	19,88	0,207	39
	Permeámetro L.C.S	79,50	0,50	0,50	0,25	19,88	0,207	39
Total		384				96,00	1	192

Fuente: Elaboración propia

Con la planilla de muestreo estratificado se obtuvo 192 ensayos para realizar en el laboratorio. Este valor es un aproximado del número de ensayos que se va a realizar durante el diseño y verificación del objetivo al cual se quiere llegar que es verificar la eficiencia del drenaje en una mezcla asfáltica porosa, en donde nuestra población de estudio son las mezclas drenantes y al ser un campo amplio se procedió a estratificar la población, que es lo recomendable en este tipo de casos en donde se tiene que realizar una buena cantidad de ensayos.

Selección de las técnicas de muestreo

Se selecciona la alternativa o tentativa que nos resulta del muestreo estratificado con un total de 192 ensayos de laboratorio a un 95 % del nivel de confianza.

Justificación de factibilidad: Recursos, insumos y medios utilizados

El trabajo para realizar el estudio es factible, debido a que la mayoría de los productos a usar se encuentran disponibles. Y no va conllevar un costo elevado.

Los insumos serán posibles comprarlos en Tarija para poder realizar la práctica de laboratorio.

Los medios utilizados serán prácticamente equipos de laboratorio de asfaltos, modificados para este tipo de ensayos.

1.7.3 Métodos y procedimientos lógicos

Listado de actividades a realizar

C.A.M	Ductilidad
	Penetración
	P. de ablandamiento
	P. de flama Cleveland
	Peso específico
Agregados	Granulometría arena
	Granulometría grava
	Granulometría gravilla
	Peso específico grava
	Peso específico gravilla
	Peso específico arena
	Durabilidad a sulfatos
	Caras fracturadas
	Desgaste de los Ángeles
	Equivalente de arena
	Índice de lajas
	límites
M.A.D	Ensayo de Cántabro
	Permeámetro L.C.S

Esquema de actividades en función a procedimiento definido por la perspectiva

Se procederá primero a:

- Realizar la clasificación granulométrica del agregado pétreo.
- Se realiza los ensayos del cemento asfáltico con la adición del PVC.
- Se tiene que preparar las mezclas asfálticas con diferentes dosificaciones porcentuales de cemento asfáltico.
- Realizar los ensayos de cántabro y permeámetro para las diferentes dosificaciones.
- Se tienen que hacer las briquetas para cada porcentaje de cemento asfáltico modificado.
- Finalmente determinar la mezcla asfáltica drenante optima que cuente con mejor eficiencia de drenaje.

Productos esperados en correspondencia con el procedimiento de la perspectiva

Mejorar la eficiencia del drenaje en las mezclas asfálticas con este plastómero (PVC) como material ligante y consolidador de la mezcla.

Resultados esperados

Se espera encontrar la dosificación optima de mezcla asfáltica drenante, que permita una buena adherencia poco desgaste y una buena permeabilidad de las aguas a través de ésta.

1.7.4 Tratamiento estadístico

Selección de programa a utilizar

Se encuentra dentro del método inductivo, debido a que puedo tratarlo como un estudio en general, partiendo desde lo más pequeño, una muestra estratificada de mi mezcla hasta generalizarlo hacia todas las mezclas drenantes.

Estadística Descriptiva

Es aplicable debido a que se manejará estos parámetros para determinar valores estadísticos como:

Coefficiente de variación (C.V.)

En estadística el coeficiente de variación (de Pearson) es una medida útil para comparar dispersiones a cambios de escala. Sirve para comparar variables que están a distintas escalas pero que están correlacionadas estadísticamente y sustantivamente con un factor en común. Es decir, ambas variables tienen una relación causal con ese factor. Su fórmula desviación estándar como porcentaje de la media aritmética, mostrando una mejor interpretación porcentual del grado de variabilidad que la desviación típica o estándar.

Por otro lado presenta problemas ya a diferencia de la coeficiente es variable ante cambios de origen. Por ello es importante que todos los valores sean positivos y su media de por tanto un valor positivo. A mayor heterogeneidad de los valores de la variable; y a menor C.V., mayor homogeneidad en los valores de la variable. Suele representarse por medio de las siglas C.V.

Se calcula:

$$C.V = \frac{\sigma}{X} * 100$$

Donde:

C.V. = Coeficiente de variación

σ = Desviación típica de muestra

X= Valor medio de muestra

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 DEFINICIÓN DE UNA 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 usan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales entre otros. Sin olvidar que se usa en la conformación de las capas inferiores de los firmes para tráficos 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 al 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 el costo.

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

2.1.2 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

Cabe distinguir las mezclas en frío y las mezclas en caliente. En las primeras el ligante suele ser una emulsión bituminosa (en algunos países en desarrollo se siguen empleando betunes fluidificados), por lo que, aunque en la fabricación pueda ser necesario un cierto calentamiento, la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente. Por su parte las mezclas en caliente se fabrican con betunes de penetración a temperaturas suficientemente elevadas (en general por encima de los 150°C) en función a la viscosidad del ligante. La puesta en obra se realiza también a temperaturas muy superiores a la temperatura ambiente, pues en caso contrario estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse.

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 bituminosas en caliente son las de uso más generalizado: se emplean en viales urbanos como en autopistas, carreteras de todo tipo y pistas de aeropuertos. Lógicamente, para tal variedad de aplicaciones existen mezclas en caliente con muy diferentes características.

Mezclas asfálticas en Frío: El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

Las mezclas en frío tienen su principal campo de aplicación en la construcción y conservación de carreteras secundarias, puesto que en estas obras no suelen justificar económicamente las instalaciones más complejas que se requieren para la fabricación de mezclas bituminosas en caliente. Por otro lado, en obras de carreteras importantes siempre suele ser preferible recurrir a las mezclas en caliente, puesto que con ellas es más fácil garantizar la alta calidad exigida.

Dentro de las mezclas en frío se pueden distinguir dos grandes grupos. En primer lugar están las mezclas abiertas, denominadas AF en la normativa española que son las más empleadas. Se caracteriza por su trabajabilidad tras su fabricación, incluso durante semanas. Dicha trabajabilidad se basa en que el ligante permanece con baja viscosidad, debido a que se emplean emulsiones de betún fluidificado. Después de la puesta en obra en capas de reducido espesor, el aumento de la viscosidad es rápido; sin embargo, es muy lento en acopios, en los que únicamente endurece la superficie, siendo así viable el almacenamiento. En las capas ya extendidas, la evaporación del fluidificante es posible debido a que la granulometría es abierta, con pequeñas proporciones de árido fino, lo que supone un elevado porcentaje de huecos en la mezcla.

El segundo grupo de mezclas en frío está formado por las mezclas densas, denominadas DF en la normativa española. Se fabrican con emulsiones de rotura lenta sin ningún tipo de fluidificante. Aunque pueden compactarse después de haber roto la emulsión (la presencia de agua supone una lubricación de las partículas de árido), no pueden abrirse al tráfico hasta que han alcanzado una resistencia suficiente. Este proceso se suele denominar *maduración*; consiste básicamente en la evaporación del agua procedente de la rotura de la emulsión y es relativamente lento, debido a que la granulometría cerrada del árido hace que la mezcla tenga una pequeña proporción de hueco. Se emplean mucho menos que las mezclas abiertas en frío.

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 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 denominados mezclas densas, cuyo porcentaje de vacíos no supera el 6 %, estas mezclas son las más empleadas para la construcción de capa de rodadura, sin embargo por su pequeño porcentaje de huecos hace que sea prácticamente impermeables, cumpliendo así la misión que tienen de proteger a las capas inferiores de pavimento y a la sub rasante de la acción destructora del agua.

Mezclas semi-cerradas o semi-densas: Estas mezclas tienen un porcentaje de huecos entre un 6% y 12% lo que hace que sean bastante parecidas a las anteriores. La diferencia estriba entre 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 ser más económicas y son menos críticas frente a deformaciones plásticas.

Mezclas abiertas: Son mezclas constituidas principalmente por agregado grueso y asfalto, de manera que exista entre ellos una estructura mineral que resiste el rozamiento interno.

Son mezclas que tienen un porcentaje de huecos mayor al 12%. Debido a su gran flexibilidad producto de la baja relación entre 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 elevado de vacíos que varía entre el 16% al 25%, lo que les proporciona una gran permeabilidad, son empleados en las capas de rodadura con este tipo de mezclas se consigue que el agua de lluvia que cae sobre la calzada evacúe rápidamente por infiltración, además de reducir las proyecciones de agua sobre los vehículos, mejorar la transitabilidad al mejorar el contacto 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 sobre la superficie mojada.

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 de agregado pétreo

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

Se recomienda que el espesor de la capa compactada sea tres veces mayor al tamaño máximo nominal del agregado empleado.

Mezclas finas: También llamadas micro aglomerado, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al tripe del tamaño máximo.

Estas mezclas son aplicadas a 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 estructura del agregado pétreo

Por la estructura interna del árido se distinguen las mezclas que tienen un esqueleto mineral resistente, en las que la componente de resistencia debido al rozamiento interno de los áridos es notable, y aquellas otras que carecen de dicho esqueleto mineral (la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión del mástico).

En el primer grupo se sitúan los macadam bituminosos y todas las mezclas que genéricamente, se denominan hormigones bituminosos, aunque en estos parte de la resistencia se debe a la cohesión que proporciona el mástico. En el segundo grupo se incluyen los diferentes tipos de másticos y los llamados asfaltos fundidos, en los que el eventual árido grueso es un simple relleno en toda la masa que prácticamente carece de huecos.

Mezclas con esqueleto mineral (hormigones y macadam bituminoso)

Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia es debido 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 en la masa que forma el mastico.

Al tener una elevada proporción de betún su precio es elevado, además su extensión es difícil, lo que encarece aún más el producto.

Mezclas sin esqueleto mineral (másticos y asfaltos fundidos)

Se trata de mezclas con elevadas proporciones de filler y de betún, de manera que si existe árido grueso se halla disperso en la masa que forma el mastico. Como se ha señalado, este tipo de mezclas no trabajan por rozamiento interno y su resistencia se debe a la cohesión que proporciona la viscosidad de dicho mastico.

Las proporciones de betún son altas por la gran superficie específica de la materia mineral. Debido a la sensibilidad que puede tener a la temperatura de este tipo, es necesario rigidizar el mastico y disminuir la susceptibilidad térmica mediante el empleo de betunes muy duros (B 20/30), cuidando especialmente la calidad del filler y mejorando el ligante con adiciones tales como el asfalto de Trinidad. No existen prácticamente huecos en la mezcla, que no necesita compactación y es impermeable.

Al tener una elevada proporción de betún su precio es elevado. Además su extensión es fácilmente mecanizable, lo que encarece aún más el producto. Finalmente, para que la superficie no sea deslizante, es preciso recubrirla con gravillas muy duras y de tamaños muy cuidados, que se extienden e incrustan parcialmente en el material todavía caliente.

Son de este tipo los másticos y los asfaltos fundidos. Son mezclas de gran calidad, pero su empleo está justificado únicamente en casos especiales (viales urbanos, paseos y aceras, tableros de puentes) en zonas de clima frío y húmedo, en las que la impermeabilidad sea decisiva.

Por otro lado, en otros países, como Alemania, se ha desarrollado un tipo de asfalto fundido (guassasphalt), con elevado proporción de filler, pero con áridos fino y grueso suficiente para conseguir una granulometría continúa. Posee buenas características mecánicas, así como impermeabilidad y durabilidad excelentes, en las condiciones climáticas (humedad y bajas temperaturas) y de tráfico en ese país.

f) Por la Granulometría

Según la granulometría de los áridos, se pueden clasificar las mezclas en continuas y discontinuas. Incluso hay mezclas de granulometría uniforme, como los denominados macadam bituminoso. Éstos tienen un tamaño único de árido y se emplean fundamentalmente en tareas de conservación: su importancia técnica es relativamente marginal. En cambio, los otros dos tipos citados constituyen dos grandes familias de mezcla que a continuación se tratan separadamente.

Mezclas Continuas: En estas mezclas, los diferentes tamaños de agregados se combinan de manera que la curva granulométrica sea continua, es decir que no tenga quiebres repentinos, puesto que las partículas más finas irán a rellenar los huecos que dejan los agregados gruesos.

Este tipo de granulometría, tiende a formar estructuras cerradas, dicha granulometría es un factor muy importante que se debe tomar en cuenta en la dosificación, puesto que es preciso un espacio mínimo de huecos en la mezcla que garantice los cambios de volumen del asfalto con la temperatura y para su posterior compactación.

Mezclas discontinuas: Son mezclas relativamente impermeables, aunque tienen los huecos suficientes para permitir el aumento de volumen de asfalto, mientras que su granulometría es discontinua al faltar tamaños comprendidos entre 2 y 8 mm, teniendo características de agregado grueso y asfalto menos críticos que en las granulometrías continuas.

Tabla 2.1 Resumen clasificación de mezclas asfálticas

Parámetros de clasificación	Tipo de mezcla
Fracciones de agregado empleado	Masilla
	Mortero
	Concreto
	Macadam
Temperatura 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

Fuente: Elaboración propia

2.1.3 Especificaciones

Las especificaciones de las mezclas asfálticas están ligadas con las especificaciones y normas que se siguen anteriormente a los materiales que las componen y posteriormente están fijadas las normativas y especificaciones de la mezcla en sí.

Características de los materiales: Comenzando por el ligante hidrocarbonado, puede señalarse que, tratándose de mezclas en caliente, se hace referencia a betunes modificados en los hormigones bituminosos. En cuanto a su consistencia, caracterizada normalmente por el resultado del ensayo de penetración, la normativa da unas recomendaciones de uso en función de lo que se denominan zonas térmicas estivales, de la capa en la que va a ir colocada la mezcla y del tráfico que va a soportar el firme durante su vida de proyecto.

La posible incorporación de aditivos, de naturaleza muy diversa, pretende:

- Mejorar la adhesividad con un árido determinado: activantes.
- Modificar la reología del ligante: elastómeros, polímeros, etc.
- Aumentar la superficie específica, para que sea posible incorporar una mayor dotación de ligante y así contribuir a retrasar el envejecimiento: fibras.

La utilización de estos aditivos debe considerarse tras analizar las ventajas e inconvenientes de tipo técnico (relativos no solo al comportamiento reológico del ligante y, por lo tanto, de la mezcla, sino también de las condiciones de fabricación y puesta en obra), como también de los factores económicos que intervienen.

Sobre los áridos es preciso definir su naturaleza, su tamaño máximo y las propiedades fisicoquímicas y mecánicas que se les han de exigir.

En la mayoría de los casos no será posible fijar de manera abstracta la naturaleza de un árido para su utilización en mezclas bituminosas. Lo normal es ceñirse a los áridos locales y a aquéllos que se encuentren a distancias de transporte razonables. No resulta justificado transportar áridos a distancias superiores a 80 Km. para los tamaños máximos, se extiende por tamaño máximo nominal de un árido a la abertura en mm. del tamiz por el que pasa el 90% del material.

En las especificaciones vigentes de mezclas bituminosas en caliente (dejando de lado los microaglomerados de granulometría discontinua), se consideran cuatro tamaños máximos: 8, 12, 20 y 25 mm. La elección del tamaño máximo de la mezcla debe hacerse en función del espesor de la capa que se proyecta.

Hay que tener en cuenta que el éxito de las recomendaciones sobre este punto depende de gran medida de los equipos empleados en la puesta en obra. Es siempre conveniente la vigilancia de la extensión para evitar los arrastres y segregaciones que se puedan originar. Si son previsibles estos problemas y el tipo de obra no permite la utilización de la maquinaria adecuada, será aconsejable admitir husos granulométricos con tamaños máximos nominales inferiores a los normalizados. También puede ser conveniente esta disminución cuando se utilicen gravas machacadas y la dimensión de los bolos no permita alcanzar las caras de fractura mínima.

Tipos normalizados: Las denominadas mezclas densas constituyen prácticamente husos restringidos de las del tipo IV del Asphalt Institute. Las mezclas densas son similares, aunque con mayor esqueleto mineral, lo que las hace especialmente resistentes a las deformaciones plásticas, aun siendo relativamente cerradas. Finalmente, las mezclas gruesas son parecidas a las del tipo III y las abiertas a las del tipo II del Asphalt Institute. Mención aparte requieren las mezclas porosas.

Tabla 2.2 Descripción de tipo de mezclas asfálticas

Tipo de descripción de las mezclas	Hubbard -fiel original	Hubbard-fiel modificado	Marshall	Hveen	Triaxial de Smith
I. Macadam	X	X	X	X	X
II. Tipo abierto	X	X	X	D	D
III. Granulometría gruesa	X	D	D	A	A
IV. Granulometría densa	X	A	A	A	A
V. Granulometría fina	X	A	A	A	A
VI. Sheet asphalt con piedra	A	A*	A	A	A
VII. Sheet asphalt con arena	A	A*	A	A	A
VIII. Sheet asphalt fino	A	A*	A	A	A

Fuente: Manual del Asphalt Institute

Donde:

A = Adecuado

D = Dudoso

X = No utilizable

* = Este método es aceptable para estas mezclas. Sin embargo, el molde de 2" de diámetro empleado original Hubbard-Field resulta preferible.

El empleo en cada caso de uno de estos tipos de mezclas ha de fundamentarse en consideraciones tales como la función de la capa a la que vaya destinada, el espesor de la misma, el tráfico ha de soportar y el tipo de sección estructural del firme. Sobre la base de estos criterios la normativa recoge una serie de recomendaciones de empleo.

Además dependiendo del método de diseño que se adopte se tendrá las especificaciones del Asphalt Institute.

Tabla 2.3 Especificaciones Marshall

Método de proyecto	Tráfico pesado y muy pesado		Tráfico medio		Tráfico ligero	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
MARSHALL						
Numero de golpes de compactación en cada extremo de la probeta	75	75	50	50	35	35
Estabilidad, libras	750	-	500	-	500	-
Fluencia ² , expresada en 0,01 pulg.	8	16	8	18	8	20
Huecos en la mezcla total, %						
Capas de superficie o nivelación	3	5	3	5	3	5
Sheet asphalt con arena o piedra	3	8	3	8	3	8
Capa intermedia o de base	3	8	3	8	3	8
Huecos de los áridos rellenos de Asphalt %						
Capas de superficie o nivelación	75	82	75	82	75	82
Sheet asphalt con arena o piedra	65	72	65	75	65	75
Capas intermedia o de base	65	72	65	75	65	75
HUBBARD- FIELD						
Método original						
Estabilidad, libras	2000	-	1200	2000	1200	2000
Huecos en la mezcla total, %	2	5	2	5	2	5
Método modificado						
Estabilidad, libras	3500	6000	2500	6000	2500	6000
Huecos en la mezcla total, %	2	5	2	5	2	5
HVEEM						
Valor del estabilómetro	35	-	35	-	30	-
Valor de cohesiómetro	50	-	50	-	50	-
Entucamiento, pulg.	-	0,03	-	0,03	-	0,03
Huecos de la mezcla total, %	4	-	4	-	4	-

Fuente: Manual del Asphalt Institute

2.1.4 Componentes de la mezcla

Los componentes principales de una mezcla asfáltica son esencialmente los ligantes, áridos y el filler; dependiendo del origen de las rocas del árido y de las distancias que se encuentran los bancos es que se los selecciona, asimismo para los ligantes hidrocarbonados se debe definir previamente, inclusive antes de terminar el tipo de mezcla que se va a utilizar.

Ligantes

Anteriormente desarrollamos una amplia definición de ligantes en una mezcla asfáltica; entonces en el momento de realizar un proyecto se debe decidir por algún ligante específico, que debe satisfacer plenamente las necesidades para el cual se está diseñando.

Aparte de determinar en su momento la proporción en la que el ligante ha de entrar a formar parte de la mezcla, es preciso fijar los siguientes aspectos del mismo.

- Naturaleza, es decir, hay que decidir si se va a utilizar betún de penetración o emulsión asfáltica.
- Consistencia, caracterizada en los betunes de penetración por su penetración y su punto de reblandecimiento (temperatura de anillo y bola) y en las emulsiones asfálticas por su viscosidad y la penetración del ligante residual.
- Posible incorporación de aditivos, de naturaleza muy diversa, pero que, en general, pretenden modificar las características de adhesividad con un árido determinado (activantes) o la reología del ligante (polímeros). La utilización de estos aditivos debe considerarse tras analizarse las ventajas e inconvenientes de tipo técnico (relativos no solo al comportamiento reológico del ligante y, por tanto, de la mezcla, sino también de las condiciones de fabricación y puesta en obra) y, sobre todo, los factores económicos que intervienen.

Áridos

Las capas de un firme están constituidas por diferentes materiales, con una elevada proporción de los elementos de la naturaleza pétreo que se denominan **áridos**. Los porcentajes en los que intervienen son función de la aplicación a la que se definen, siendo en la mayoría superiores al 90 % en peso. Se suelen considerar a los áridos como un conjunto de partículas discretas y de naturaleza inerte; sin embargo, hay que tener en cuenta que pueden producir reacciones en contacto con el agua y con los ligantes y conglomerantes.

Los grandes volúmenes necesarios de áridos, así como su importancia técnica y económica en los firmes, hacen imprescindibles los estudios de los materiales en laboratorio.

Dichos estudios de laboratorio deben realizarse sobre muestras representativas; y de acuerdo a normas y especificaciones.

Las características físicas de los áridos que los hacen adecuados para su empleo en firmes están relacionados con la naturaleza mineralógica de la roca de procedencia. Aunque parece clara la idoneidad de los materiales pétreos con los basaltos, ofitas, pórfidos, cuarcitas, etc., los criterios económicos son los que más influyen en la elección final. El empleo de cada tipo de árido depende fundamentalmente de las disponibilidades de materiales en las zonas relativamente próximas a la obra.

Hay que decidir su naturaleza, el tamaño máximo y granulometría a emplear y las propiedades fisicoquímicas y mecánicas que se les han de exigir.

En la mayoría de los casos no tienen sentido fijar de manera abstracta la naturaleza de un árido para su utilización en mezclas bituminosas. Lo normal es adecuarse a los áridos locales ya que los otros que se encuentren a distancias de transporte no muy grandes.

Para la elección del tamaño máximo del árido, hay que considerar fundamentalmente el espesor de la capa que se proyecta.

En cuanto a las granulometrías, se debe cumplir las normas del Asphalt Institute. En concreto, como criterios generales adoptados para la elección de dichos husos granulométricos se pueden citar los siguientes.

- Los husos granulométricos no tienen dos tamaños por los que pase el 100 % del material, con la finalidad de obligar en las dosificaciones a introducir una mayor proporción de la fracción más gruesa del árido.
- La amplitud de los husos es relativamente reducida, tanto en la zona de árido grueso como en la de árido fino (tanto en exceso como un defecto en las proporciones de polvo mineral pueden dar lugar a mezclas muy susceptibles a las deformaciones plásticas).
- Para cada tipo de mezcla, las variaciones entre los husos granulométricos se producen en la zona del árido grueso al variar el tamaño máximo en cada uno de ellos; sin embargo, la zona del árido fino es igual.

Finalmente, deben considerarse las propiedades fisicoquímicas y mecánicas que se les han de exigir a los áridos a utilizar en las mezclas bituminosas: resistencia al desgaste (coeficiente de los ángeles), angulosidad (caras fracturadas) limpieza del árido grueso, forma (índice de lajas), resistencia al pulimento (para los áridos a utilizar en capas de rodadura), adhesividad (tanto del árido grueso como del árido fino y evaluada también para la mezcla compactada), equivalente de arena y no plasticidad de los finos.

Agregados naturales

Los agregados naturales son los más empleados en la fabricación de las mezclas asfálticas y éstos se encuentran en canteras, en depósitos de origen fluvial y también proceden de la disgregación de rocas.

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 fragmentación o trituración 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.

Características de los agregados gruesos

Llamamos agregados gruesos a los retenidos en el tamiz N° 4, consiste en 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 utilizan 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%

Características de los agregados finos

Son considerados agregados finos, aquéllos 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 acopiaran los agregados de cada tamaño u origen junto a la planta mezcladora en montones independientes separados por muros u otros elementos equivalentes.

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 pastica.
- El material debe estar perfectamente seco y no con tener grumos.
- La parte del filler mineral que pasa por el tamiz N°200 se considera como polvo mineral.
- Más del 50 % de la parte del filler mineral que pasa por vía húmeda a través del tamiz N°200 pasará por este tamiz en tamizado seco.

En el diseño y construcción de mezclas asfálticas el control de las propiedades de los agregados es muy importante, los ensayos que normalmente se realizan son los siguientes:

- Peso Unitario
- Granulometría
- Peso específico
- Durabilidad
- Caras fracturadas
- Limite líquido y plástico
- Equivalente de arena

2.1.5 Determinación del tipo de mezcla

La elección del tipo de mezcla bituminosa debe basarse en consideraciones tales como la función de la capa a la que vaya destinada, el espesor de la misma, el tráfico que tendrá que soportar y el tipo de sección estructural del firme.

Conviene destacar que la normativa recomienda la determinación del tipo de mezcla según la necesidad del proyecto al cual está destinado. Por ejemplo a utilización de mezclas en frío para tráficos de categoría T3 y T4. Por otro lado, en determinados casos se puede plantear la utilización de mezclas diferentes a las normalizadas.

Se realiza ensayos preliminares con el propósito de determinar si las fuentes locales proveen agregados de calidad apropiada para elaborar una mezcla que satisfaga los requerimientos granulométricos y propios de la mezcla. El asfalto debe cumplir con las exigencias prescriptas. Se deben realizar muestras previas de tanteo con una granulometría del agregado que se aproxime a la media de los valores límites. Cuando se consideran varias fuentes de provisión de agregados, las mezclas experimentales pueden determinar la combinación más económica a usar. Los resultados del diseño preliminar de la mezcla sirven de base para una estimación de la mezcla definitiva.

Los ensayos de aceptación de las fuentes de provisión de materiales se hacen generalmente después de la adjudicación del proyecto. El objetivo principal de esta prueba es determinar la mezcla de agregados más económica que satisfaga, tanto la granulometría como los requerimientos de diseño. Esto asegura la selección de los materiales apropiados.

2.1.6 Preparación de la mezcla

Una vez que se tiene definido el tipo de mezcla que se va a utilizar para un proyecto, preparamos la mezcla, ya sea en plantas fijas o móviles con un procedimiento fijado en normas, posteriormente trasladarlos a la obra.

Los procedimientos para preparar una muestra en el laboratorio son los siguientes:

- Secado de los agregados hasta peso constante.
- Tamizado en seco de los agregados en las fracciones de los tamaños deseados.
- Pesado de los agregados que constituirán el pastón.
- Calentamiento de los agregados del pastón en estufa.
- Colocación de los agregados del pastón en el recipiente de mezclado.
- Adición de la cantidad prevista de asfalto caliente al recipiente de mezclado.
- Mezclado del agregado y asfalto juntos.

2.1.7 Métodos de dosificación

Hay que diferenciar entre lo que se entiende por métodos de dosificación de las mezclas bituminosas y otros métodos destinados a complementar la caracterización de las mismas. Con ello lo único que se pretende es llegar a determinar las proporciones más adecuadas en las que deben entrar a formar parte de las mezclas de los áridos, el polvo mineral y el ligante. Con el segundo grupo de métodos, el alcance que se pretende conseguir es mayor, evaluando de una forma u otra el comportamiento reológico de la mezcla (determinación por ejemplo de módulos y leyes de fatiga para diferentes estados tensionales y diferentes temperaturas).

Dentro de los métodos que estrictamente sirven para dosificar se pueden a su vez establecer dos familias. Por un lado, los métodos basados en la determinación directa o indirecta de la superficie específica y a veces también de la absorción de los áridos. Por otro lado, los basados en la realización de ensayos mecánicos, generalmente de base empírica.

Los métodos de superficie específica son sencillos y rápidos, pero tienen el inconveniente de su imprecisión. Esta imprecisión no tiene importancia en el caso de

mezclas abiertas, pero es la razón de que para mezclas cerradas sean poco aconsejables, pues estas mezclas son muy sensibles a las variaciones con el contenido del betún. Entre estos métodos, todos ellos similares, se pueden citar el Duriez francés, el del Asphalt Institute, el de Centre de Recherches Routieres de Bélgica y el CKE (equivalente centrífugo de queroseno).

En cuanto a los métodos de dosificación basados en ensayos mecánicos hay que enfatizar que no debe utilizarse más que dentro metodología operativa que abarque todos los aspectos involucrados en el problema y en relación con unas especificaciones sobre los valores de los parámetros de formulación obtenidos.

Independiente del tipo de ensayo empleado, la forma de trabajar con cualquiera de ellos es, en general, parecida. Una vez que se ha seleccionado la granulometría y el tipo de betún de acuerdo con criterios preestablecidos, se fabrican series de probetas en las que se varía el porcentaje de ligante. Después de realizado el ensayo siguiendo la normativa correspondiente, se determina las relaciones entre dicho porcentaje y la resistencia, deformación, contenido de huecos, etc. Evaluándose el porcentaje óptimo según criterios previamente adoptados.

2.1.8 Dosificación

Existen diversos métodos para dosificarlos mediante ensayos mecánicos. Quizás los más difundidos sean el Heveem, el Duriez y por encima de todos el más conocido el Marshall. La experiencia que se tiene con el método Marshall es muy amplia y positiva cuando se trata de dosificar hormigones asfálticos (mezclas gruesas, es decir, con tamaños máximos superiores a 5 mm, de granulometría continua y no abiertas) en caliente. Ya se han señalado que las mezclas abiertas son mecánicamente poco sensibles a las variaciones en el contenido del betún, por lo que son preferibles los métodos de superficie específica. En cuanto a los hormigones en frío, la utilización directa con ellos del método Marshall ha presentado muchos problemas que van desde el descuelgue de la emulsión en el proceso de la compactación por impactos utilizado en este método hasta la dificultad de determinar las condiciones de maduración de las probetas antes de la rotura.

Las mezclas bituminosas en caliente proyectadas mediante el método Marshall tienen un comportamiento adecuado, especialmente desde el punto de vista de la resistencia a las deformaciones plásticas, aspecto que más preocupó hasta los años 70.

Como se ha indicado para la dosificación de hormigones asfálticos en caliente se utiliza en varios países del mundo el método Marshall, basado en el ensayo mecánico del mismo nombre. Consiste en la rotura de probetas cilíndricas de 101.6 mm de diámetro y 63.5 mm de altura mediante la aplicación de una mordaza perimetral que impone una velocidad de deformación constante de 50.8 mm/min. El proceso es el siguiente:

Una vez fijada la granulometría de los áridos y el tipo de ligante dentro de unos intervalos sancionados por la experiencia (al menos cuatro probetas de cada contenido). A continuación se procede a su compactación en el molde correspondiente mediante la denominada maza Marshall, de características normalizadas, aplicando una serie de impactos en cada base de la probeta y cuyo número (generalmente, 50 ó 75) es función de las características de tráfico.

Desmoldadas las probetas, se determina su densidad aparente con una balanza hidrostática. Este dato, junto con los pesos específicos del conjunto de áridos y del ligante, permite el cálculo de los porcentajes de huecos en áridos y huecos en mezcla.

Después de mantener las probetas en un baño de agua o en estufa el tiempo necesario para que la mezcla alcance una temperatura de 60°C, se ensayan hasta una rotura según las condiciones ya descritas, obteniéndose para cada porcentaje de ligante la relación entre la carga aplicada y la deformación de la mezcla.

Se define como estabilidad Marshall la carga de rotura y como deformación Marshall el comportamiento diametral hasta el momento de rotura.

Concedido en los años cuarenta por el U.S. Army Corps of Engineers para el estudio de las mezclas bituminosas a emplear en aeródromos, su extraordinaria difusión se ha basado en una serie de características como: sencillez de ejecución y de interpretación de los resultados, relativa precisión, reproductibilidad (siempre que el tamaño máximo del árido no sea muy elevado), adaptación al material en estudio, aptitud para ser

empleado en el control, correspondencia entre los resultados y el comportamiento posterior de la obra, etc.

Los parámetros con los que se trabaja en el método Marshall son: densidad, estabilidad, deformación, porcentaje de huecos en mezcla (porosidad), porcentaje de huecos en áridos y porcentaje de huecos rellenos en el betún. La variación de los mismos con respecto al contenido de ligante de a mezcla (expresado normalmente en porcentaje en peso sobre el peso seco de los áridos).

Para la determinación a partir de esas curvas del contenido óptimo de betún, el Corps of Engineers propugnaba que se tomase como tal, la media aritmética de los contenidos de ligante correspondientes: al máximo de estabilidad, al máximo de densidad y al valor medio del intervalo especificado para el porcentaje de huecos rellenos de betún. Posteriormente, el Asphalt Institute modificó el anterior criterio, recomendado que se tomase como contenido óptimo de ligante correspondientes: al máximo de estabilidad, al máximo de densidad y al valor medio del intervalo especificado para el contenido de huecos en mezcla.

La desaparición de los criterios sobre el porcentaje de huecos rellenos de betún indicada por el Asphalt Institute se basaba en que la experiencia había demostrado ampliamente que tener en cuenta dicho parámetro suponía aumentar excesivamente el contenido de betún sobre el valor óptimo que proporcionaba mezclas suficientemente resistentes a las deformaciones plásticas.

Los resultados obtenidos en el ensayo Marshall con el contenido de ligante considerado como óptimo, en especial la densidad, se utilizan también como patrón de control en obra. De esta forma suelen exigirse in situ densidades del 95% de la densidad Marshall correspondiente a ese óptimo para tráfico ligero y del 97 o 98% para tráfico pesado. Se comprueba además que el resto de los parámetros Marshall se mantienen próximos a los obtenidos en el laboratorio. Hay que tener en cuenta que si en obra se alcanzan densidades menores a las indicadas, la acción del tráfico podría producir compactaciones diferenciales que se traducirán en irregularidades superficiales.

Por un lado, se emplean ensayos que permitan evaluar el efecto de la acción del agua sobre la cohesión de la mezcla; se suele utilizar para este fin el ensayo de inmersión-compresión. Por otro, ensayos con los que pueda evaluar de forma más precisa y específica que con el Marshall la resistencia a las deformaciones plásticas. Estos ensayos son el de pista de laboratorio y el de máquina giratoria.

Tabla 2.4.a Dosificación de mezclas en caliente empleando el método Marshall

Características	Categoría de tráfico pesado	
	T0, T1 y T2	T3 y T4
N° de golpes por cara	75	
Estabilidad (kN)	>10	7,5 – 12,5
Deformación (mm)	2 – 3.5	
Huecos en mezcla (%)		
Capa de rodadura	4,0 – 6,0	3,0 – 5,0
Capa intermedia	4,0 – 8,0	3,0 – 8,0
Capa de base	4,0 – 9,0	3,0 – 9,0
Huecos en áridos (%)		
Mezclas D8	≥16	
Mezclas D12 y S12	≥15	
Mezclas D20, S20 y G20	≥14	
Mezclas S25 y G25	≥13	

Fuente: Manual del Asphalt Institute

Tabla 2.4.b Relaciones ponderales filler/betún recomendadas para mezclas D, S y G

Capa	Zona térmica estival	
	Cálida y media	Templado
Rodadura	1,30	1,20
Intermedia	1,20	1,10
Base	1,00	0,90

Fuente: Asphalt Institute

2.1.9 Transporte y puesta en obra

La puesta en obra de las mezclas asfálticas es un conjunto de operaciones previas al colocado de la mezcla hasta la terminación final del asfaltado; que es tan importante como la preparación misma de la mezcla, y va a depender mucho el posterior comportamiento bajo el cual va a circular el tráfico. El conjunto de operaciones que se sigue es el siguiente:

- Preparación de la superficie existente.
- Transporte del material desde la central de fabricación al lugar de extensión.
- Extensión de la mezcla.
- Compactación.

Preparación de la superficie existente

Hay que estudiar previamente el estado geométrico de la superficie sobre la que se extenderá la mezcla bituminosa. Las mayores dificultades se presentan en el refuerzo de carreteras antiguas donde el perfil geométrico puede tener defectos de todo tipo y cuya corrección completa no puede realizarse, la mayoría de las veces, son la extensión de una sola capa.

Decidida la forma en la que se va a mejorar el perfil, es necesaria la preparación física de la superficie de apoyo. El problema es diferente según se trate de capas granulares y estabilizadas o de una superficie bituminosa.

En el primer caso, el barrido y la imprimación o el tratamiento de adherencia con un ligante hidrocarbonado deben ejecutarse con cuidado, con objeto que la unión entre capas sea la mejor posible. Esta unión es fundamental para que el comportamiento estructural del firme sea el adecuado; en caso contrario, la disminución de la vida prevista puede ser muy notable. La eliminación del material suelto mediante un barrido energético y una buena penetración de la imprimación o una dotación adecuada del riego de adherencia son la base del éxito.

Cuando la superficie de apoyo es bituminosa y de reciente extensión, el barrido y eventualmente un ligero riego de adherencia son suficientes. Cuando es antigua, deformada y con una distribución irregular en cuanto a riqueza de ligante, hay que entender a la eliminación previa de zonas exudadas en las que el ligante ha aflorado a la superficie. Un riego manual de emulsión permite aplicar el tratamiento de adherencia con una dotación diferente según las necesidades. En caso de una superficie con un exceso generalizado de ligante puede suprimirse el riego de adherencia.

Un problema un poco diferente se plantea cuando se va a extender una mezcla bituminosa como capa de refuerzo sobre un pavimento agrietado. En este caso resulta conveniente fresar la superficie para eliminar el material envejecido y así conseguir que el refuerzo se a efectivo. En la actualidad, las apelaciones de fresado tienen un costo aceptable, pues con las fresadoras existentes se puede lograr elevados rendimientos.

Transporte

La mezcla fabricada, salvo que se trate de másticos o asfaltos fundidos, se descarga en camiones volquetas para su transporte al lugar de extensión, directamente desde el mezclador o desde un silo de almacenamiento. Los camiones empleados requieren una caja metálica basculante bien limpia y humedecida ligeramente con agua jabonosa para

que la mezcla no se adhiera. Deben además estar provistos de lonas o cobertores para tapar la carga en cuanto al peligro de agua, polvo o pérdida de calor por el viento si es necesario.

El número de camiones ha de disponerse en función a la capacidad de puesta en obra de la extendedora, a la cual se adaptará la producción de la central de fabricación. En estas condiciones, dicho número ha de ser calculado con cierto margen en exceso para prever posibles averías o retrasos, teniendo en cuenta la distancia habiendo elegido el itinerario con tráfico más fluido.

Las distancias máximas de transporte de las mezclas en caliente dependen de varios factores. En lo que respecta al enfriamiento de la mezcla el factor dominante es la temperatura ambiente y, sobre todo, el viento. En condiciones metereológicas normales, la mezcla protegida con lona pierde muy pocos grados en el interior de la masa y el enfriamiento afecta tan solo a una pequeña costra superficial, lo que posibilita apreciables distancias de transporte en camiones de gran tonelaje: normalmente, hasta de 25 km; a veces, a más de 100 km.

Desde el punto de vista de la calidad de las mezclas, conviene vigilar las segregaciones durante la carga y descarga de los camiones. Para ello as alturas de descarga debe ser las mínima y se ha de procurar la formación de montones cónicos, haciendo que durante la carga el camión se mueva lentamente, ayudando si es preciso a mano a la distribución lateral.

Extensión

Llegada la mezcla a obra comienza la fase de extensión. Esta puede realizarse en casos especiales a mano o con motoniveladora, pero normalmente se lleva a cabo por medio de maquinaria específica, empleando as denominadas extendedoras cuando el camión que ha transportado la mezcla, desde la central, llega al lugar de trabajo, se aproxima marcha atrás a la extendedora hasta tocar su parte delantera, hace bascular la caja para descargar y mientras dura este proceso se deja empuja en punto muerto por la extendedora.

Las extendedoras constan de una unidad tractora y su unidad de extendida propiamente dicha arrastrada por aquella. En la unidad tractora va montada la tolva de recepción delantera, así como los dispositivos mecánicos necesarios para trasladar la mezcla hacia la parte posterior de la extendedora. Estos dispositivos son fundamentalmente, cintas de alimentación y compuertas para regular el paso de la cantidad necesaria de la cantidad de material.

La mezcla transportadora por las cintas es distribuida transversalmente por husillos helicoidales que, además, realizan un remezclado que corrige eventuales segregaciones. A continuación, se hace pasar la mezcla bajo un pisón vertical (tamper) que en todo el ancho de extensión pre compacta la mezcla para su colocación sobre la superficie de apoyo. Dicha colocación es efectuada por la maestra, que se apoya sobre la mezcla recién extendida.

La maestra va dotada generalmente de uno movimientos de vaivén o de vibración (o de ambos a la vez), mediante los cuales se realiza el acabado superficial y se aumenta algo a la pre compactación dada por el pisón. Va provista además de un sistema de calefacción para evitar que la mezcla se pegue a la superficie, sobre todo al comienzo del trabajo. Existen extendedoras que circulan sobre neumáticos y otras que van montadas sobre orugas. La principal ventaja de las extendedoras de neumáticos reside en la movilidad, importantísimas sobre todo en obras de carreteras antiguas en las que es necesario el rápido traslado en los distintos lugares de trabajo.

La velocidad de extensión ha de ajustarse al ritmo de alimentación. Las extendedoras disponen de una amplia gama de velocidades que, teniendo en cuenta la producción media de la central de fabricación, la dotación por metro cuadrado de mezcla y el ancho de trabajo, permite escoger aquella con la que se consiga mejor un trabajo continuo de la máquina. Es fundamental un ritmo constante en la extensión para poder alcanzar una buena regularidad superficial.

Es importante controlar la temperatura con la que las mezclas en caliente llegan al lugar de extensión. Si es muy elevada (superior, por ejemplo, a 180°C) puede indicar que en la fabricación el ligante ha alcanzado una temperatura excesiva, con un peligro cierto

de oxidación o envejecimiento prematuro. Si es baja (inferior, por ejemplo, a 135°C) la compactación no va a poder realizarse sin dificultades; el mínimo admisible depende de factores tales como la temperatura ambiente, viento, espesor de la capa, equipo de compactación y trabajabilidad de la mezcla.

Compactación

Las operaciones de compactación tienen por objeto que la mezcla alcance la densidad necesaria; se suele prescribir que sea del 95 al 98% de densidad Marshall de referencia como mínimo. Esto debe lograrse de manera uniforme en toda la superficie extendida, donde el perfil definitivo coincida con el previsto en los planos.

La necesidad de alcanzar una alta densidad y, por tanto, de compactar suficientemente la mezcla bituminosa se funda en que solo así se puede garantizar la estabilidad prevista. En cualquier caso, los defectos de compactación pueden dar lugar a que el tráfico compacte diferencialmente la mezcla, produciéndose irregularidades superficiales.

Con mezclas en caliente la compactación se realiza, según se ha indicado, mientras la temperatura sea suficientemente elevada (por ejemplo, no inferior a 120°C), para que se a posible la pretendida disminución de huecos. A veces, tras la extensión hay que permitir un cierto enfriamiento de la mezcla, pues si la temperatura es muy elevada se puede producir arrollamientos al pasar los compactadores. El las mezclas en frio el proceso de compactación se desarrolla mientras la trabajabilidad de la mezcla es suficiente, por la presencia de fluidificantes en las mezclas abiertas o de la propia agua de emulsión en las mezclas densas.

Según el tipo de mezcla y su espesor, pueden utilizarse compactadores de neumáticos con alta o media presión y rodillos lisos con o sin vibración. En cada caso debe determinarse el tren de compactación más adecuada y el número de pasadas de cada máquina de acuerdo con los resultados obtenidos en los correspondientes tramos de prueba.

Los rodillos lisos sin vibración solo se deben utilizar para compactar mezcla en muy pequeño espesor y para dar un buen acabado cuando se han utilizado compactadores de neumáticos. Deben ser siempre ligeros, con baja presión lineal.

La vibración, salvo para capas muy delgadas, tienen un gran espectro de utilización combinando adecuadamente amplitudes y frecuencias. Es habitual comenzar la compactación con rodillos vibratorios, terminándola con el paso de compactadores de neumáticos con presión elevada (0,8 – 1,0 MPa). A veces sin embargo el orden es el contrario y en ese caso, cuando la capa tiene un cierto espesor, la presión inicial de los neumáticos debe ser relativamente baja (0,3 – 0,4 MPa), aumentándose, según progresa, la compactación.

La compactación debe siempre empezar por los puntos más bajos y progresar mediante solapes de las sucesivas pasadas. En zonas de difícil acceso, es preciso la utilización de pequeños compactadores mecánicos o incluso el uso de pisones manuales.

Finalmente, el margen de los procedimientos anteriores para la puesta en obra, se debe realizar un control de calidad en cuatro fases que son: control de los componentes de la mezcla, control del proceso de fabricación, control de la puesta en obra y control de la unidad de obra terminada.

2.1.10 Asfalto modificado con polímeros

Los asfaltos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto, de un polímero o plástico, que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de 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 en 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 de inflamación.
- Disminuye las susceptibilidades a las variaciones de 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 del asfalto.

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%.

2.1.11 Propiedades generales de las mezclas asfálticas

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

Durabilidad: Propiedad de una mezcla asfáltica que indica su capacidad de resistir la disgregación 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 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 son irreversibles, mientras que 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.

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 del 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 con las partículas.

La estabilidad se suele evaluar empíricamente, por lo tanto es una presentación 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.

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 por que las secciones porciones de pavimento tienden a comprimirse y asentarse bajo tránsito. Por esta razón un pavimento asfáltico debe tener la capacidad de adaptarse a asentamientos localizados o diferenciales, sin quebrarse. Generalmente la flexibilidad se incrementa con altos contenidos de asfalto y agregados de granulometría abierta.

Resistencia a la fatiga: Es la capacidad del pavimento asfáltico de soportar repetidas flexiones debido al paso de las cargas de 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 producen 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 a resistencia a la fatiga.

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

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

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

Las mezclas asfálticas tienen como misión proteger la infraestructura, frente a la acción del agua que cae sobre la misma, por ello se debe 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.

2.1.12 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 considerado ahorro económico en la solución.

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

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. Así mismo, hay que distinguir si se trata de un pavimento nuevo o de una rehabilitación.

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.

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 de considerar.

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, por lo tanto a un costo razonable. Así mismo hay que elegir el polvo mineral de aportación.

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

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 uso previamente seleccionado.

Otros factores: A tener en cuenta en el diseño y selección de un mezcla asfáltica son los siguientes: exigencias de seguridad vial, estructura del firme, técnicas del 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 empleara de 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.

2.1.13 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 las propiedades por la cohesión y el rozamiento interno; o por un módulo de rigidez longitudinal y un transversal, o incluso por 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 algunas circunstancias externas a ellas, como el tiempo en la que estará aplicada la carga o la temperatura a la que estará sometida. Por esta razón su caracterización y demás propiedades tienen que estar relacionado estos factores, lo que significa que se debe tener un conocimiento de la reología de los agregados.

Las cualidades funcionales del pavimento residen en su superficie en su acabado.

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

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

Como resumen, se puede llegar a la finalidad de que en una mezcla asfáltica, en general, se tiene que mejorar las siguientes propiedades:

- Estabilidad.
- Durabilidad.
- Resistencia a la fatiga.

Si la mezcla se usa como capa de rodadura se tiene que añadir las siguientes propiedades a mejorar.

- Resistencia al deslizamiento.
- Regularidad.
- Permeabilidad adecuada.
- Sonoridad.
- Color, entre otras.

2.1.14 Propiedades de las mezclas asfálticas para capas de rodadura

La capa superior de un pavimento debe proporcionar la mayor seguridad de acuerdo con las exigencias deseables para una superficie de rodadura y así llegar a las soluciones más satisfactorias. Los materiales asfálticos proporcionan superficies continuas y cómodas para la capa de rodadura. Pero hay que establecer el balance entre una buena durabilidad, rugosidad, impermeabilidad, y otras características útiles o imprescindibles para las moviidades que la transitaran.

En las capas de rodadura el uso de agregados de buena calidad y aditivos correctos llegan a justificar sin problema las solicitudes sometidas, a continuación se puede observar las propiedades funcionales que tiene que tener una carretera.

Tabla 2.5 Resumen de las propiedades funcionales en 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 de soporte; Resistencia a la desintegración superficial.
Medio ambiente, Ruido, Capacidad de ser reciclado.
Trabajabilidad.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.6 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, Modulo de rigidez, Resistencia a la perdida de partículas.
Durabilidad (en relación con el clima). Resistencia al lavado por el agua. Resistencia a la fisuración por reflexión. Resistencia al envejecimiento.
Trabajabilidad. Compactibilidad. Resistencia a la segregación de agregado grueso/fino. Resistencia a la segregación agregado/ligante.

Fuente: Elaboración propia

2.2 MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES

Definición

Las mezclas asfálticas drenantes son aquellas mezclas asfálticas cuyo porcentaje de vacíos es lo suficiente alto para permitir que a través de ellos filtre 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 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 en función de proteger de los efectos negativos del agua a la capa adyacente. 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.

Fig. 2.1 Esquema del funcionamiento de una capa drenante



Fuente: Presentación por Arkansas Asphalt Pavement Association, 2006

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

Tabla 2.7 Contenido de vacíos aceptado por algunos países

País	Porcentaje de vacíos (%)	
	Mayor del	Menor del
España	16	25
Chile	18	25
Colombia	20	25

Fuente “Ingeniería de pavimentos para carreteras” Alfonso Mostejo Fonseca (2002)

2.2.1 Ventajas de las mezclas drenantes

Mayor resistencia al deslizamiento bajo lluvia y eliminación del hidropneumático: Al presentarse el fenómeno de 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 con los que aumentan los riesgos de accidentes.

Fig. 2.2 Hidropneumático de las ruedas con el pavimento



Fuente: Internet: www.circulaseguro.com

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

Elevada resistencia al deslizamiento a altas velocidades: En las mezclas asfálticas drenantes los parámetros de macro textura obtenidos son siempre altos, por lo cual la pérdida de resistencia al deslizamiento con la velocidad depende fundamentalmente de la macro textura de la superficie de rodadura.

Fig. 2.3 Macro textura del pavimento



Fuente: Revista rutas N° 60. Asociación técnica de carreteras

Reducción del agua dispersada por el paso de vehículos: La seguridad y 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 y afectando la visibilidad y las maniobras de adelantamiento. Las mezclas drenantes por su gran porosidad disminuyen de forma radical estas dispersiones, hasta prácticamente eliminarlas.

Fig. 2.4 Fenómeno “Splash” producido en superficies no drenantes



Fuente: Presentación por Arkansas Asphalt Pavement Association, 2006

Mejora la visibilidad con la capa de rodadura mojada: En pavimentos convencionales mojados y sobre superficies de macro textura lisa se produce la reflexión de la luz de los vehículos que circulan en sentido contrario durante la noche, presentándose el deslumbramiento de los conductores. Al eliminarse la película de agua con las mezclas drenantes y dotar a 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 sí permiten el paso del aire, atenuando los efectos sonoros. Tanto el conductor como el entorno se ven favorecidos por esta reducción.

2.2.2 Desventajas de las mezclas drenantes

Mayor costo inicial: Estas mezclas deben constituirse con asfaltos modificados y áridos que encarecen los costos de construcción.

Perdida 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.

Posibilidad de escurrimiento del ligante durante el transporte:

Aunque utilizando asfaltos modificados, este problema se reduce de manera significativa.

Necesidad de un soporte adecuado, con geometría bien acabada e impermeable:

Menor resistencia a aceites y combustibles:

Drenaje lateral: El agua que ha escurrido por la mezcla drenante debe de ser evacuada a través de drenes laterales, esto implica la construcción de canales y otras obras de arte.

2.2.3 Consideraciones generales para el diseño de mezclas drenantes

El diseño de las mezclas drenantes o porosas se establece un compromiso entre su porosidad y su resistencia al desgaste. El equilibrio de estas propiedades, trae como consecuencia una mezcla óptima, ya que al estar 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 sollicitaciones 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 humedad. Resulta crítico que la película de ligante tenga suficiente espesor para resistir estos efectos. Cuando se busca extender el periodo de vida, se lo hace con 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.

2.2.4 Métodos de diseño

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

Las metodologías normalmente utilizadas son:

Método Cántabro: En el año 1979, Felix Pérez Jiménez y Carlos Kreamer, comenzaron a realizar trabajos para establecer una metodología de dosificación de asfaltos 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 de 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 de la mezcla, menores son las pérdidas. Como resultado del ensayo, se obtiene una pérdida de 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 bituminosas fabricadas en caliente y de granulometría abierta, cuyo tamaño es inferior a 25 mm. El ensayo es realizado a 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 se refiere a esta metodología como 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 > 20 %
- Pérdida al Cántabro seco (25 °C) < 25 %
- Pérdida al Cántabro tras Inmersión (24 Hrs, 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.

RP (Origen Chile): 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 asfalto, considerando que la mezcla óptima es aquella que presenta el valor máximo de esfuerzo a la penetración.

Tracción indirecta (Origen Brasil): Esta es una metodología sencilla que se basa en obtener un esfuerzo de tracción por compresión diametral. El conocimiento de los valores de tracción indirecta en laboratorio representa una herramienta más al conocimiento, puesto que el único control que se le realiza a una capa terminada es la determinación de su densidad y se compara con la obtenida en la compactación Marshall.

En esta investigación, la metodología Cántabro en seco será la que se utilizará para su desarrollo.

La metodología Cántabro, contempla los siguientes pasos:

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

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

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

2.2.5 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.

2.2.6 Evaluación y ajustes de una mezcla de diseño

El diseño de la mezcla drenante según la normativa española establece que, el contenido óptimo de asfalto en la mezcla deberá ser elegido de forma tal que sean cumplidos los siguientes criterios:

- % vacíos (Norma NLV - 46) $20\% < \% \text{ vacíos} < 25\%$
- Permeabilidad (Norma NLT- 327) Tiempo máximo no mayor a 30 segundos, 100 ml atraviesan una probeta en un tiempo no mayor a 30 segundos. Considerando una altura de carga constante para todas las medidas realizadas.
- Pérdida al Cántabro seco (25 °C) (Norma NLT - 352/86) $< 25\%$. La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se podrá ajustar con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación. Igualmente, si durante la ejecución de las obras varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla o se rebasan de manera frecuente las tolerancias granulométricas establecidas en la normativa de referencia utilizada, se requerirá el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

2.3 ASFALTOS MODIFICADOS

Generalidades

Generalmente, las características de los ligantes asfálticos son suficientes para fabricar mezclas asfálticas resistentes a la acción conjunta del tráfico y de los agentes ambientales; sin embargo, en algunas ocasiones, las mezclas asfálticas están sometidas a tan fuertes solicitaciones, que requieren el uso de asfaltos con propiedades mecánicas y reológicas mejores que la de los asfaltos convencionales.

La modificación del asfalto con la incorporación de polímeros da por resultado una mejoría considerable en las características de elasticidad, adherencia y cohesión de estos a un costo competitivo.

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 del ligante en exceso va a detrimento del objeto de una mezcla drenante al restringir los vacíos, y tiende a provocar un escurrimiento del ligante durante el transporte.

Los ramos 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 para tener una adecuada compactación en obra el espesor de 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 de la granulometría debe encuadrarse dentro del huso granulométrico seleccionado. La máxima porosidad la provee un agregado de un solo 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.

Objetivos de la modificación

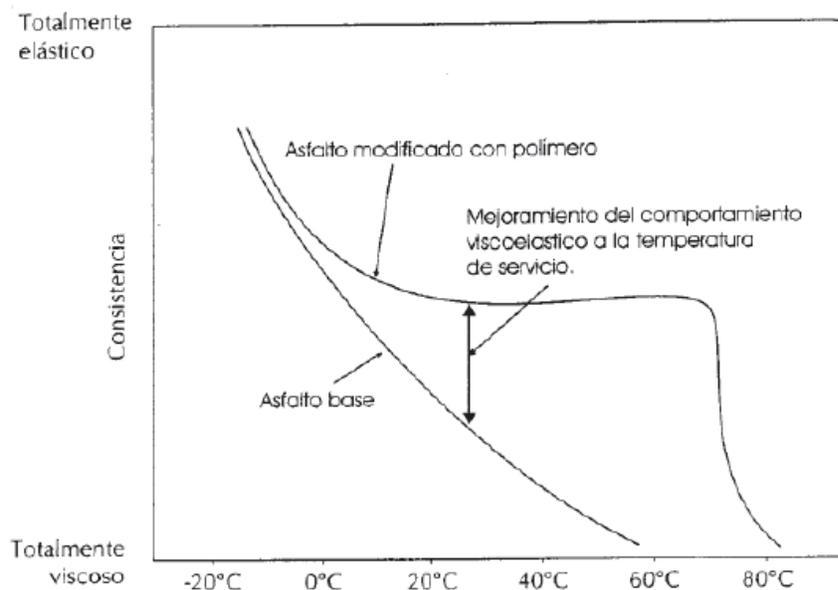
Los modificadores le permiten al diseñador intervenir sobre las características mecánicas del asfalto. Entre otras se puede mencionar la reducción de la susceptibilidad térmica, en la búsqueda de características reológicas constantes, especialmente a

elevadas temperaturas de servicio. En consecuencia ello implica modificar las propiedades de las mezclas, en el sentido de disminuir tanto la deformación plástica a alta temperatura, como la rigidez a baja temperatura, ofreciendo un mejor comportamiento en servicio ante la acción de las cargas circulantes pesadas del tránsito, independientemente de las condiciones climáticas imperantes.

Un asfalto real, común, presenta un cambio continuo de sus características en todo el rango de temperaturas de operación. El asfalto ideal es aquel que muestra una característica más o menos constante en un amplio rango de temperaturas de servicio, convirtiéndose en un fluido viscoso a las temperaturas de la mezcla y compactación.

La adición de un polímero adecuado modifica la susceptibilidad térmica del asfalto, tal como se observa en la figura 2.6, obteniéndose debido a una mejora en el comportamiento visco-elástico a las temperaturas de servicio a las deseadas en un asfalto ideal.

Fig. 2.5 Efecto de la incorporación de un polímero sobre la susceptibilidad térmica del asfalto



Fuente. "Ingeniería de pavimentos para carreteras" Alfonso Mostejo Fonseca (2002)

2.3.1 Beneficios que se buscan con la modificación del asfalto

Los principales beneficios que se persiguen con la modificación del asfalto:

- Aumentar la rigidez a altas temperaturas de servicio mejorando la resistencia de las mezclas a la deformación permanente.
- Reducir la rigidez a bajas temperaturas, previniendo la fisuración térmica.
- Aumenta la resistencia a fatiga de las mezclas.
- Mejorar la adhesión con los agregados pétreos.
- Mejorar la cohesión, brindando mejor retención de los agregados en la vida inicial de los tratamientos superficiales.
- Reducir el endurecimiento en servicio, brindando una vida superior a la mezcla, debido a la retención de sus ventajas iniciales.
- Disminuir la susceptibilidad térmica en el rango de temperatura de servicio.
- Aumentar la viscosidad de bajas velocidades de corte, permitiendo mejores espesores de película en el agregado de las mezclas abiertas y reduciendo la exudación en tratamientos superficiales.

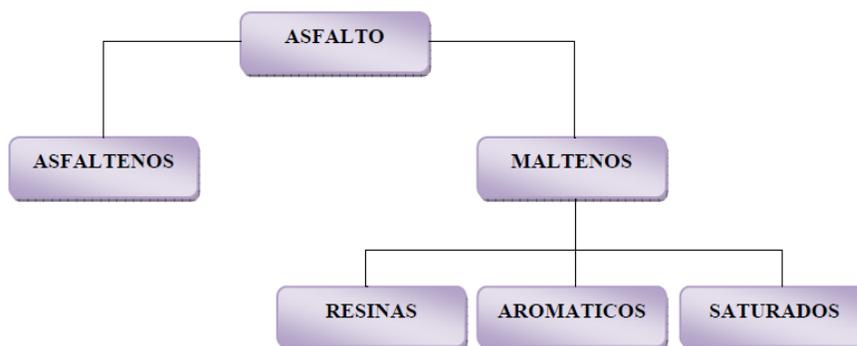
Aunque existe una variedad de aditivos que pueden ser exitosos en la mejora de cuando menos una de las propiedades del asfalto, pero, es necesario tener en cuenta que no existe un aditivo que mejore todas las propiedades antes descritas.

2.3.2 Las asociaciones asfalto-polímero asfalto

Asfalto

No se ahondará, en el tema ya que ha sido bastante estudiado en otros trabajos, sin embargo observando la composición del mismo (figura 2.2.8.) cabe destacar, que es el contenido de aromáticos el que influye en la facilidad que tiene un asfalto para “admitir” polímeros modificadores en tal caso es el porcentaje de aromáticos en esta, la que define la capacidad de solubilidad del asfalto.

Fig. 2.6 Composición del asfalto

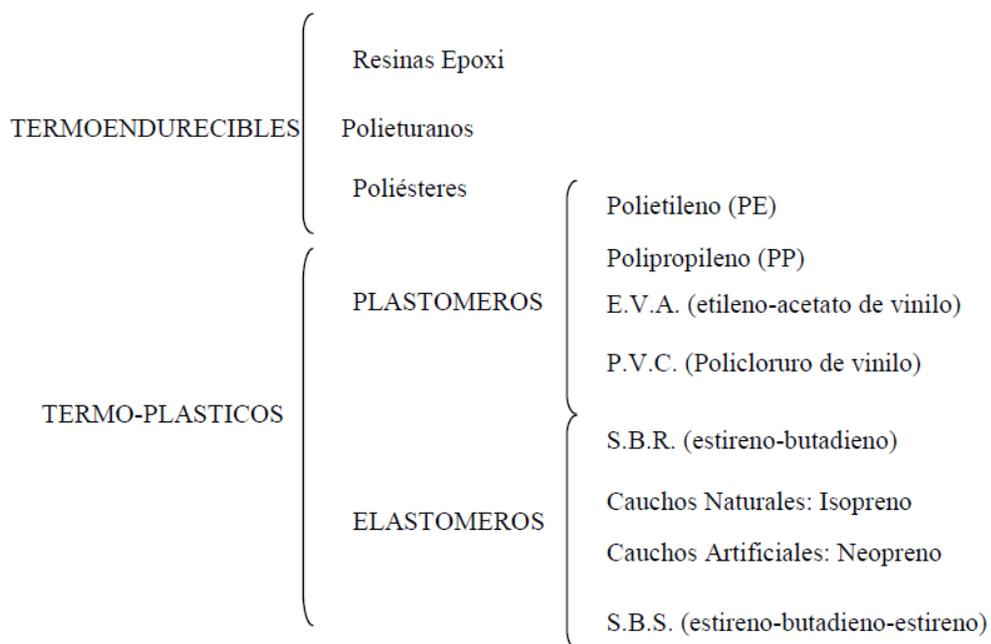


Fuente. "Ingeniería de pavimentos para carreteras" Alfonso Mostejo Fonseca (2002)

Los polímeros

Son sustancias formadas por la unión, de cientos o miles de moléculas pequeñas, llamadas monómeros. La gran diversidad de materiales poliméricos hace que su clasificación y sistematización sea difícil; sin embargo a continuación se presenta la siguiente:

Fig. 2.7 Clasificación de polímeros



Fuente: "Ingeniería de pavimentos para carreteras" Alfonso Mostejo Fonseca (2002)

Los termoendurecibles: Son polímeros formados por reacción química de dos componentes (base y endurecedor), dando lugar a una estructura entrecruzada, por lo que no pueden ser recuperados para volver a transformarse. Los termoendurecibles más comunes son:

Resinas Epoxi: Tienen agentes endurecedores de los enlaces transversales. Se usan en grandes porcentajes, mayores de 20%. Muy costosas, se usan en zonas especiales.

Poliuretano: Similares a las Resinas Epoxi, muy caros, se usan a bajas temperaturas y en capas delgadas.

Poliésteres: Son menos usados.

Los termoplásticos: Son polímeros solubles que se reblandecen por acción del calor y pueden llegar a fluir. Son, generalmente, polímeros lineales o ligeramente ramificados.

Los termoplásticos se dividen en dos grupos:

a) Plastómeros: al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia, no volviendo a su longitud original al cesar la sollicitación. Tienen deformaciones pseudoplásticas con poca elasticidad, los plastómeros más comunes son:

Polietileno: tienen buena resistencia a la tracción y buena resistencia térmica, como también buen comportamiento a bajas temperaturas.

Polipropileno atáctico (EPDM): Se lo mezcla con elastómeros para hacerlo más flexible; muy flexible y resistente al calor y a los agentes químicos.

E.V.A (Etileno-Acetato de Vinilo): Los copolímeros de etileno copolímerizan al etileno con otros monómeros (Acetato de Vinilo) para destruir la regularidad estructural y reducir su grado de cristalinidad.

Sus propiedades dependen del:

- Peso molecular: si aumenta menor flexibilidad y mayor dificultad para mezclarlo.
- % Acetato de Vinilo (33 al 40%) si aumenta es más flexible. Hay que recircularlo en almacenamiento para evitar la separación, se mezcla a 160 °C sin aditivos, tiene buena compatibilidad con el asfalto.

P.V.C. (Policloruro de Vinilo): Tiene muy baja actividad química, pero al mezclarlo con el asfalto a 130 °C se gelifica, obteniéndose un ligante más viscoso que el original, muy resistente a los solventes; es usado en estaciones de servicio y aeropuertos; Se usa de un 2 al 6%; tiene bajo precio comparativamente.

b) Elastómeros o cauchos: Son polímeros lineales amorfos, generalmente insaturados, que son sometidos al proceso de vulcanización adquieren una estructura parcialmente reticulada, que le confiere sus propiedades elásticas, los cauchos de uso más generalizado son:

S.B.R.: Cauchos sintéticos del 25% de Estireno y 75% de Butadieno., para mejorar su adhesividad se le incorpora ácido acrílico.

Isopreno: Caucho natural, se le usa para hacer caucho sintético.

Neopreno: caucho sintético con gran resistividad a los agentes atmosféricos, se usa en carreteras para apoyo de vigas y estructuras.

S.B.S (Estireno – Butadieno - Estireno) o Caucho Termoplástico: Desarrollado en Estados Unidos en la década de los 60's en adhesivos y suelos, llega luego al asfalto; los dos homopolímeros que lo forman son incompatibles entre sí.

Estireno (fase dura): Con temperatura de cristalización 100 °C.

Butadieno (fase elástica): Con temperatura de cristalización menor que la ambiente.

La incorporación de un polímero (sustancia macromolecular con propiedades visco elástica) a un asfalto dará lugar a interacciones entre moléculas del primero y los componentes del segundo y producirá alteraciones en el sistema coloidal del asfalto, con el consiguiente cambio de propiedades.

Las interacciones y cambio de propiedades producidas, dependerán de los siguientes factores:

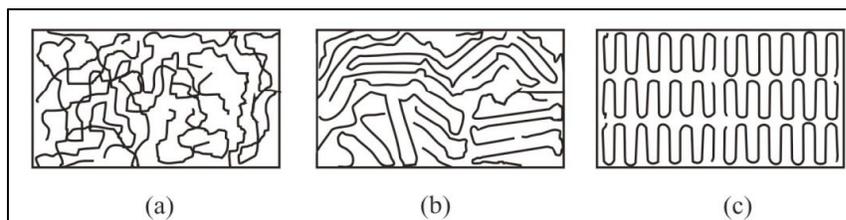
- Composición y estructura molecular del polímero incorporado (peso molecular, composición química, temperatura de transición vítrea, polaridad, etc.).
- Composición química y estructura coloidal del asfalto.
- Proporción relativa de asfalto polímero.
- Proceso de incorporación (modo de fabricación, temperatura, tiempo de mezclado, etc.).

2.3.3 Estructura física

Estado amorfo y estado cristalino

Los términos cristalino y amorfo se usan normalmente para indicar las regiones ordenadas y desordenadas de los polímeros, respectivamente. La figura 2.2.9. Muestra un esquema de un sistema amorfo, uno semi cristalino y otro cristalino. En estado sólido algunos polímeros son completamente amorfos, otros son semi cristalinos, y dependiendo de las condiciones de cristalización, un polímero con capacidad de cristalizar puede ser semi cristalino o amorfo. Con frecuencia se utiliza el término cristalino en lugar de semi cristalino, aunque ningún polímero es completamente cristalino.

Fig. 2.8 Sistema amorfo (a), semi cristalino (b) y cristalino(c)



Fuente: Estructura de los Polímeros M. Beltrán y A. Marcilla

Los polímeros con capacidad de cristalizar son aquellos cuyas moléculas son química y geoméricamente regulares en su estructura. Las irregularidades ocasionales, tales como las ramificaciones de la cadena, o la copolimerización de una pequeña cantidad de otro monómero limitan el alcance de cristalización, pero no evitan que ocurra. Por lo contrario los polímeros no cristalizados típicos son aquellos en los que existe una clara irregularidad química en la estructura.

Temperatura de transición vítrea y temperatura de fusión

En el estado líquido o fundido las moléculas de los polímeros se encuentran por lo general ovilladas y enmarañadas si no hay una fuerza externa que las obligue a orientarse en una dirección. Si la energía disponible es suficiente, las moléculas podrán moverse y los átomos de las cadenas podrán rotar alrededor de los ángulos de enlace, produciendo cambios de conformación.

El término de temperatura de fusión solo se utiliza para los polímeros cristalinos y semi cristalinos.

Tabla 2.8 Temperatura de transición vítrea y de fusión de los polímeros de uso frecuente

Polímeros	T _g (°C)	T _m (°C)
Polietileno	-125	140
Poliestireno (isotáctico)	100	240
Polipropileno (isotáctico)	25	150
Polipropileno (sindiotáctico)	--	138
Poli (acrilonitrilo)(atáctico)	85	317
Poli (cloruro de vinilo)	81	--
Poli (óxido de etileno)	-56	66
Poli (etilen tereftalato)	29	270
Poli (metacrilato de metilo)	102	--
Policarbonato	150	267
Nailón 6,6	50	265
Politetrafluoroetileno	-113	327
Polibutadieno (cis)	-108	148
Polisopropeno (trans)	-67	74
Polisopropeno (cis)	-75	28

Fuente: Estructura de los Polímeros M. Beltrán y A. Marcilla

2.3.4 Compatibilidad asfalto-polímero

Según Thompson: “cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptica para mejorar las propiedades reológicas”.

Toda acción cuyo efecto sea la modificación de la composición química del asfalto conduce, inevitablemente, a la modificación de su estructura y de sus propiedades.

Si se mezclan en caliente, sin precauciones especiales, un asfalto y un polímero, se obtiene alguno de los tres resultados siguientes:

Mezclas heterogénea: Es el caso más probable y ocurre cuando el asfalto y el polímero son incompatibles

Mezcla totalmente homogénea: Incluso a nivel molecular, es el caso, poco frecuente, de la compatibilidad perfecta; en este caso, el ligante es extremadamente estable, pero la modificación de sus propiedades de uso es muy débil respecto a las del asfalto original, solo se aumenta su viscosidad, no es, pues el resultado deseado.

Mezcla micro-heterogénea y constituida por dos fases finalmente imbricas: Es el caso de la compatibilidad deseada, que permite realmente modificar el ligante, es un sistema de características, el polímero compatible “se hincha” absorbiendo una parte de las fracciones aceitosas ligeras del asfalto, para formar una fase polimérica de la fase asfáltica residual constituida por las fracciones pesadas del ligante-aceites restantes y asfaltenos.

Polímeros compatibles

Los polímeros idóneos para mejorar la propiedad de los asfaltos para uso vial son aquellos que cumplen las siguientes características:

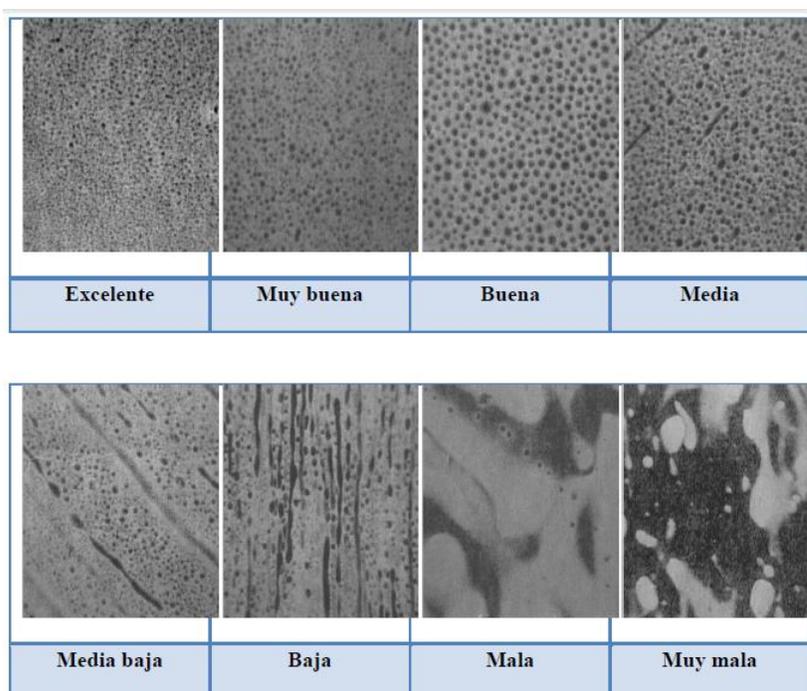
- Cadena general suficientemente larga.
- Baja polaridad, para facilitar su compatibilidad con el asfalto.
- Peso molecular elevado pero no excesivamente alto, para disminuir riesgos por excesiva viscosidad y problemas de dispersión.
- Baja temperatura vítrea, para permitir mejorar los problemas de deformación a bajas temperaturas.

En acuerdo con lo anterior, son dos familias de polímeros, las más utilizadas:

Plastómeros: Basados normalmente en copolímeros de etileno, generalmente EVA, cuyos grados difieren en función de la cuantía de acetato de vinilo y peso molecular.

Elastómeros: Generalmente consistentes en copolímeros del tipo SBS, que se distinguen por su contenido de estireno y su configuración, lineal o radial.

Fig.2.9 Resultados obtenidos por microscopia electrónica para determinación de compatibilidad de los polímeros en la mezcla (Aumento: 200x)



Fuente: Estructura de los Polímeros M. Beltrán y A. Marcilla

En las estructuras radiales, la presencia de bloque estirénico suplementario origina una red elástica que le confiere al ligante una baja susceptibilidad térmica y buenas características mecánicas, por su lado, el SBS lineal proporciona las mismas propiedades y mayor flexibilidad a temperaturas bajas, siendo los más utilizados.

La tabla 2.9 muestra un panorama general de las mejoras obtenidas al modificar los asfaltos con las diferentes clases de polímeros compatibles, así como la incorporación de llantas de caucho usadas, y brinda una indicación de sus costos relativos.

Tabla 2.9 Mejoras en asfaltos debido a la utilización de polímeros

Panorama del mejoramiento producido en las propiedades de los ligantes por diferentes clases de polímeros						
Polímeros	Resistencia			Adhesión de los agregados	Resistencia al envejecimiento	Incremento de costos
	A la deformación permanente	Al agitación				
Termoendurecibles	+++	++	++	+	+	Muy alto
Elastómeros	++	++	++	+	0/+	Medio alto
Plastómeros	1	+	0	0	0	Medio medio
Caucho de llanta usada	0/+	+ / ++	1	0	0	Medio
1 Excelente +++ Muy efectivo ++ Mejora sustancial + Mejora significativa 0 Poca o ninguna mejora						

Fuente: "Ingeniería de pavimentos para carreteras" Alfonso Mostejo Fonseca (2002)

Los polímeros termoendurecibles producen ligantes de propiedad muy superiores, pero resultan muy costosos y difíciles de elaborar y aplicar. Los ligantes con niveles significativos de elastómeros (tipo SBS) mejoran sustancialmente la resistencia a la deformación y al fisuramiento térmico y por fatiga, mejoran la adhesividad con los agregados y también favorecen la resistencia al envejecimiento. Los ligantes que contienen plastómeros como el EVA, mejoran la resistencia a la deformación permanente, pero tienen menor efecto sobre las demás características, por último el comportamiento con caucho de llantas es muy variable, dependiendo del tipo y porcentaje de caucho y de las condiciones de procesamiento. Para generar los beneficios indicados en la tabla 2.2, se requiere incorporar entre 8 y 20% de caucho, a temperaturas muy elevadas (200 a 230 °C).

2.3.5 Caracterización de los asfaltos modificados con polímeros

En la actualidad, los asfaltos modificados se caracterizan a través de ensayos de tipo convencional así como de otros que se han desarrollado específicamente adaptados a las particularidades de este nuevo ligante.

Algunos de ellos se describen a continuación:

Ensayos de identificación y composición

Estos ensayos tienen por objeto conocer el tipo y proporciones del polímero en el ligante.

En algunos polímeros de uso generalizado en la modificación del asfalto, como los copolímeros de butadieno-estireno (SBS), se determina su proporción mediante técnicas analíticas convencionales, como son la extracción selectiva con disolvente o precipitación del polímero; pero generalmente es necesario el empleo de técnicas como la espectroscopia infrarroja, cromatografía sobre geles porosos, etc., para su determinación.

Ensayos de compatibilidad

Se debe hacer una estimación “a priori” de la compatibilidad para el caso de polímeros termoplásticos y cauchos sin vulcanizar, comparando los parámetros de solubilidad del polímero y del ligante; o bien mediante la relación hidrofílica-lipofílica (HLB) si el polímero es un termoendurecible; pero el control de la dispersión del polímero en el ligante se realiza generalmente por microscopía óptica de fluorescencia por reflexión técnica que permita observar la micro morfología de estos ligantes.

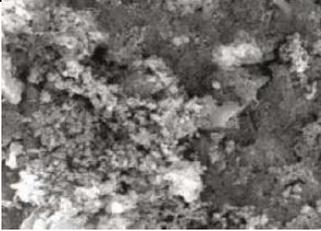
En la siguiente figura se puede apreciar de cómo queda la conformación de la mezcla asfáltica con algún cierto polímero.

Tabla 2.10 Cemento asfáltico modificado con plastómero

Ensayo	Exigencia
Penetración a 25 °C, 100 g, 5 seg, 0,1 cm	60-80
Punto de ablandamiento (°C)	Min. 75
Ductilidad a 5 °C 5 cm/min (cm)	Min. 60
ductilidad a 25 °C, 5 cm/min (cm)	Min. 100
Índice de penetración	Min. +4
Punto de quiebre Fraass (°C)	Max. -18
Intervalo de plasticidad (°C)	Min. 93
Recuperación elástica (°C)	Min. 60
Viscosidad a 135 °C (cst)	800 - 1400
Viscosidad a 150 °C (cst)	400 - 700
Viscosidad a 170 °C (cst)	150 - 300

Fuente: Estructura de los Polímeros M. Beltrán y A. Marcilla

Fig. 2.10 Análisis morfológico de un mismo tipo de asfalto con y sin modificación mediante Microscopia electrónica.

	Análisis correspondiente al asfalto original, se puede ver el aspecto arenoso de la muestra de estructura homogénea.
	Análisis correspondiente al asfalto modificado solamente con 1% de polímero "A", se distinguen fácilmente las partículas del polímero (granos brillantes) en el asfalto de aspecto menos arenoso y más plastificado que el original.

	<p>Se observa la morfología del asfalto modificado con 1% de polímero “A” y 14% de caucho; corresponde a una mezcla realizada sin controlar la granulometría de los polímeros, se ven zonas brillantes de polímero separado del ligante</p>
	<p>Esta es la misma mezcla que la anterior pero preparada con un polímero con tamaño de grano homogéneo, se observa un aspecto más uniforme. Será estable frente al almacenamiento y las temperaturas elevadas y conservará sus propiedades en el tiempo.</p>

Fuente: Caracterización fisicoquímica y morfológica de asfaltos modificados con material reciclado, Bogotá 2009

2.3.6 Aplicaciones de los asfaltos modificados

Los asfaltos modificados se deben emplear en construcción de carreteras, en aquellos casos específicos en que las propiedades de los asfaltos tradicionales son insuficientes para cumplir con éxito la función que tiene encomendada, es decir en la fabricación de mezclas asfálticas especiales para pavimentos que están sometida a solicitudes excesivas, bien por efecto del tráfico o por otras causas, como temperaturas extremas, agentes atmosféricos, o tipología del pavimento, etc.

Los campos de aplicación más frecuentes de estos materiales son:

- Mezclas drenantes
- Mezclas en calientes en capas delgadas
- Mezclas asfálticas altamente resistentes para capa de rodadura
- Tratamientos superficiales mediante riego con gravilla
- Lechadas asfálticas
- Membrana absorbente de tensiones
- Mezclas de alto módulo

Solo se abordará las mezclas drenantes, objeto de estudio de esta investigación.

2.3.6.1 Mezclas drenantes

En este tipo de mezclas, se considera que la vida del material está condicionada al grado en que el asfalto se endurece y alcanza el estado en que empieza a presentarse desprendimientos de agregados. Una de las razones de la utilización de polímeros en estas mezclas es la de poder permitir un espesor mayor de la película del asfalto (sin que se produzcan escurrimientos) alargando así la vida del material.

Las mezclas asfálticas drenantes tienen un porcentaje muy elevado de vacíos en la mezcla y una proporción de agregado fino muy baja (inferior al 20% más o menos), por lo que el asfalto debe tener una buena cohesión para evitar la disgregación de la mezcla, además necesita una elevada viscosidad para proporcionar una película de asfalto gruesa envolviendo a los agregados y evitar los efectos perjudiciales del envejecimiento y de la acción del agua en este tipo de mezclas tan abiertas.

2.4 PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL POLICLORURO DE VINILO (PVC)

2.4.1 Propiedades físico-químicas

El cloruro de polietileno (PVC) es un polímero del cloruro de vinilo. En la polimerización se forma un polvo blanco, fino, inodoro y químicamente inerte.

El PVC (Policloruro de vinilo) es un polímero termoplástico, obtenido de dos materias primas naturales:

Un 57 % del cloruro de sodio o sal común (ClNa), fuente inagotable y un 43 % del petróleo.

Se puede afirmar que el PVC es el plástico con menos dependencia del petróleo, del que hay disponibilidad limitada. Por otro lado, solo un 4 % del consumo total del petróleo se usa para fabricar materiales plásticos, y, de ellos, únicamente una octava parte corresponde al PVC.

De la sal común se deriva el Cloro y del petróleo e Etileno, ambos elementos dan como compuesto resultante dicloro etano, el cual se convierte a altas temperaturas en el gas

de cloruro de vinilo (CVM). A través de un proceso de polimerización (emulsión, suspensión en masa y en solución), el Cloruro de Vinilo se transforma en un polvo blanco, fino y químicamente inerte: la resina de PVC. A partir de ella se pueden obtener productos rígidos y flexibles.

A partir de procesos de polimerización, se obtienen compuestos en forma de polvo o pellet; plastisoles, soluciones y emulsiones.

Peso molecular: Oscila entre 60.000 y 150.000

Solubilidad: Es insoluble en agua, álcalis concentrados, ácidos no oxidantes, hidrocarburos alifáticos, aceite mineral, etanol y fenol. Ligeramente soluble en agua; soluble en alcohol etílico y éter dietílico. Es soluble en ciclohexanona, metilciclohexanona, dimetilformamida, nitrobenzono, tetrahidrofurano, isoforona, dipropil-cetona, metil-n-amilcetona, metilisobutilcetona, metileticetona, dioxano y cloruro de metileno.

Punto de fusión: 212-310°C

Densidad: 1,4 g/cm³

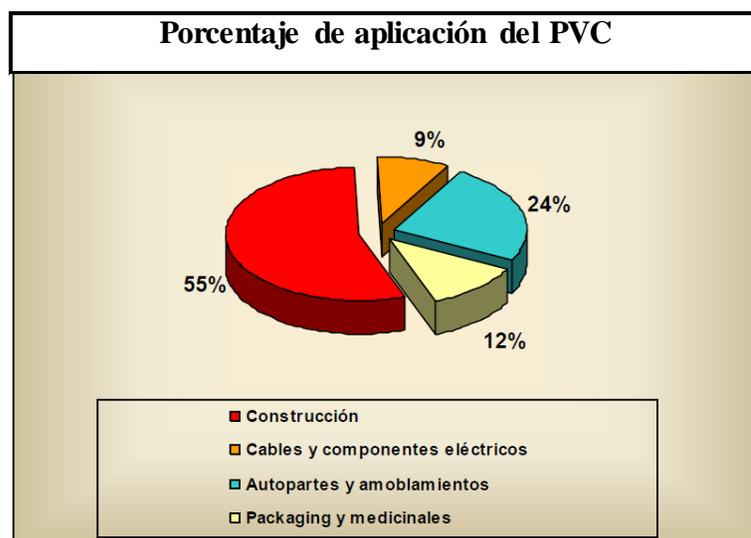
2.4.2 Usos más frecuentes

Es uno de los polímeros más usados debido a sus propiedades inherentes. Es resistente a la abrasión y al impacto, ligero, impermeable, química y biológicamente inerte, duradero y resistente al fuego, no arde salvo en caso de estar en presencia de llama continuada. Mediante el uso de aditivos tales como estabilizantes, plastificantes u otros, la resina de PVC se transforma en un material rígido o flexible, que permite una gran variedad de aplicaciones en distintas áreas como construcción, embalaje, mobiliario, industria eléctrica, industria del auto-móvil, aplicaciones médicas, servicios, agricultura y otros.

El PVC se obtiene generalmente por polimerización de cloruro de vinilo monómero (CVM). Se fabrica en varias formas, sólidas y líquidas. Las formas sólidas consisten en polvo, gránulos, pellets o fibras.

Los métodos de polimerización son en suspensión, en emulsión, en masa y en solución. El PVC se fabrica fundamentalmente en suspensión y, en menor cantidad, en emulsión. Dependiendo del proceso usado el tamaño medio de partícula de la resina de PVC será diferente; en suspensión se obtienen gránulos con un tamaño medio que varía entre 50 y 200 μm , en emulsión el rango de partículas oscila entre 0,1 y 3 μm . Por polimerización en masa o en solución las partículas son superiores a 50 μm .

Fig. 2.11 Esquema de los usos más frecuentes que le dan al PVC



Fuente: Facultad de Química e Ingeniería "Fray Rogelio Bacon"- Bruera- Suarez

2.4.3 Propiedades importantes del PVC

El PVC es un material termoplástico (Los termoplásticos son un tipo de material plástico o deformable, que al calentar pasan a un estado viscoso o fluido; y pasan a un estado vítreo, frágil al enfriar suficientemente). Esta propiedad les permite que bajo la acción del calor se reblandezca, y puede así moldearse fácilmente; y al enfriarse recupera la consistencia inicial y conserva la forma que se pretendía obtener.

La diferencia con los termoestables es que estos últimos no funden al elevarlos a altas temperaturas, sino que se queman, siendo imposible volver a moldearlos. En la industria existen dos tipos:

- **Rígido:** para envases, ventanas, tuberías, las cuales han reemplazado en gran medida al hierro (que se oxida más fácilmente).
- **Flexible:** cables, juguetes, calzados, pavimentos, recubrimiento, techos, tensados.

Tabla 2.11 Propiedades del PVC

Propiedades	Métodos de ensayo ISO/(IEC)	Unidades	Valores
Color	-	-	Gris
Densidad	DIN 53 479	g/cm ³	1,42
Propiedades térmicas			
Temperatura de fusión	DIN 53 736	°C	80,00
Conductividad térmica a 23°C	-	W/(K-m)	0,15
Coefficiente de dilatación lineal (23 °C)	-	10 ⁵ . (1K)	8,00
Capacidad calórica específica (23°)	-	5(g.k)	1,00
Temperatura máxima de servicio:	-	-	-
-En periodos cortos	-	°C	65,00
	-	°C	60,00
Propiedades mecánicas a 23°C			
Ensayo de tracción	-	-	-
-Esfuerzo en el punto de fluencia	DIN 53 455	MPa	55,00
-Elongación a la rotura	DIN 53 455	%	20,00
-Módulo de elasticidad a la tensión	DIN 53 457	-	2600,00
-Resistencia al impacto	DIN 53 457	KJ/m ²	15,00
-Coeficiente dinámico de fricción	-	N/mm ²	0,00
Dureza a la bola (30s)	DIN 53 457	MPa	75,00
Propiedades eléctrica a 23°C			
Resistencia dieléctrica	60243	KV/mm	>10 ¹⁴
Factor de disipación	DIN 53 483	-	0,015
Resistencia específica de peso	DIN 53 483	-	>10 ¹⁵
Resistencia superficial	DIN 53 482	Ohm.cm	50,00
Coeficiente dieléctrico	60250	-	3,00
Passatge dels Rosers s/n Nave C y D (Cornella de LL) Tel. 93/473-35-87 Fax. 93/473-35-87 Email: info@elaplas.es			

Fuente: Internet: "ELAPLAS" Elastómeros y Plásticos

Forma y tamaño de la partícula: De forma esférica y en casos similar a una bola de algodón. El tamaño varía según sea resina de suspensión (40 – 80/120 micrones) o de pasta (0,8 – 10 micrones).

Porosidad de la partícula: Característica de cada resina. A mayor porosidad, mayor facilidad de absorción del plastificante, acortándose los ciclos de mezclado y eliminando la posibilidad de que aparezcan “ojos de pescado” en el producto terminado.

Peso molecular: Al disminuir el peso molecular, las temperaturas de procesamiento de las resinas serán más bajas y serán más fácilmente procesables; las propiedades físicas en el producto terminado, tales con la tensión y la resistencia al rasgado, serán más pobres; el brillo y la capacidad de aceptar más carga será mejor y la fragilidad a baja temperatura será menor.

Estabilidad térmica: A mayor peso molecular, mayor estabilidad térmica. Durante su procesamiento, la resina se degrada al recibir calor y trabajo. La degradación se presenta en forma de amarillamiento y empobrecimiento de las propiedades mecánicas del producto. Es para evitar esto que se adicionan los estabilizadores.

2.4.4 El PVC en la construcción

El PVC (Policloruro de Vinilo) es un moderno, importante y conocido miembro de la familia de los polímeros. Está entre los más utilizados y tiene una amplia variedad de aplicaciones en la vida moderna; principalmente en el ámbito de la construcción.

Participa de manera gravitante en la calidad, seguridad y rentabilidad de una construcción, garantizando una larga vida útil. Más del 50% de la producción anual del PVC se emplea en este sector.

Además de utilizarse en nuevos proyectos, el PVC tiene amplias aplicaciones en el reacondicionamiento o reciclaje, sustituyendo materiales tradicionales como cemento, metales y madera. Por ejemplo, las ventanas de PVC ofrecen una opción interesante en este sentido, al integrarse agradablemente a la estructura original, más allá de su estilo o antigüedad.

Es un material seguro y un recurso social valioso, para el cual no existen fundamentos técnicos o medioambientales que lo descalifiquen. Ha sido utilizado por más de medio

siglo, y es el plástico más estudiado y testeado mundialmente. Cumple con las normas internacionales de seguridad y salud para los productos y aplicaciones en los que se emplea.

Resistente y liviano: Su fortaleza ante la abrasión, bajo peso, resistencia mecánica y al impacto, son las ventajas técnicas clave para su uso en la edificación y construcción.

Resistente al fuego: Es no inflamable y cesa de arder una vez que la fuente de calor se ha retirado.

Duradero: Es resistente a la intemperie, agentes químicos, corrosión, impacto y abrasión. No es necesario pintarlo ni aún para mantenimiento.

Rentable: Bajo costo de instalación y prácticamente costo nulo de mantenimiento en su vida útil.

Ambientalmente seguro: En los análisis de ciclo de vida el impacto ambiental ha mostrado ser favorable comparado con otros materiales utilizados en la construcción.

Aislante térmico y acústico: Propiedades que aumentan el confort de viviendas y lugares de trabajo. Como aislante térmico proporciona un importante aporte al ahorro de energía.

Aislante eléctrico: No conduce la electricidad; excelente material como aislante para cables.

Versátil: Las propiedades físicas del PVC dan a los diseñadores un alto grado de libertad cuando piensan en nuevos productos, ya que se pueden obtener variaciones en dureza, flexibilidad, forma, color, brillo, etc.

Reciclable: Existen procesos para que materiales de construcción de PVC puedan ser reciclados.

2.5 ENSAYOS DE LOS AGREGADOS

2.5.1 Ensayos de caracterización del cemento asfáltico

El tipo de asfalto a utilizar para el diseño de la mezcla drenante, consiste en un asfalto de tipo 85/100 Betunel, del cual se presentan los resultados de los ensayos que se le realizaron.

Los ensayos que le fueron realizados al asfalto a ser utilizados en el diseño de la mezcla son:

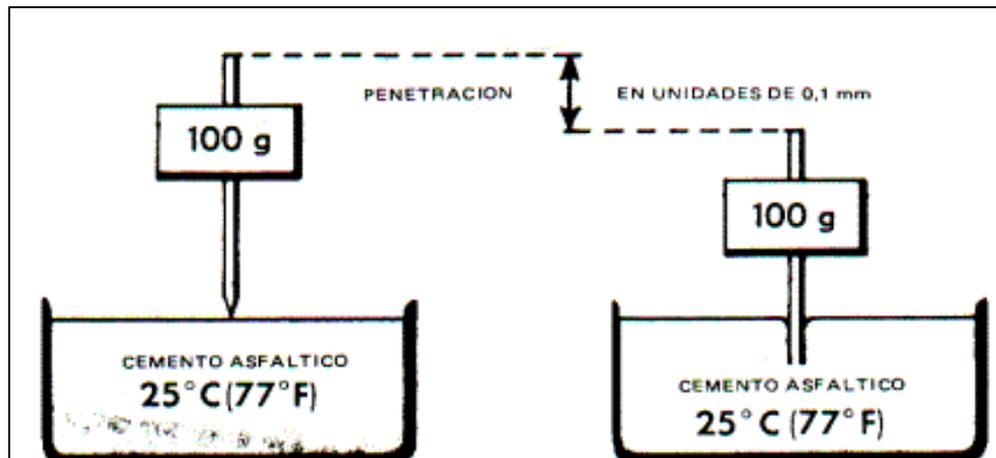
- Ensayo de penetración
- Ensayo de punto de inflamación
- Ensayo de película delgada en horno
- Ensayo de ductilidad
- Ensayo de viscosidad
- Ensayo de peso específico
- Ensayo de punto de ablandamiento

2.5.1.1 Ensayo de penetración

La consistencia del asfalto puede medirse con un método antiguo y empírico, como es el ensayo de penetración, en el cual se basó la clasificación de los cementos asfálticos en grados normalizados. En la (figura 2.5.1.1) puede verse el ensayo de penetración normal. Consiste en calentar un recipiente con cemento asfáltico hasta la temperatura de referencia, 25°C (77°F), en un baño de agua a temperatura controlada. Se apoya una aguja normalizada, de 100 g de peso sobre la superficie del cemento asfáltico durante 5 segundos. La medida de la penetración es la longitud que penetró la aguja en el cemento asfáltico en unidades de 0,1 mm.

Ocasionalmente el ensayo de penetración se realiza a distinta temperatura en cuyo caso puede variarse la carga de la aguja, el tiempo de penetración, o ambos.

Fig. 2.12 Ensayo de penetración



Fuente: Asphalt Institute

2.5.1.2 Ensayo de punto de inflamación basado en norma AASHTO: T 48 – 04 con equivalencia en ASTM: D 92 - 02b y norma IP: 36/84 (89)

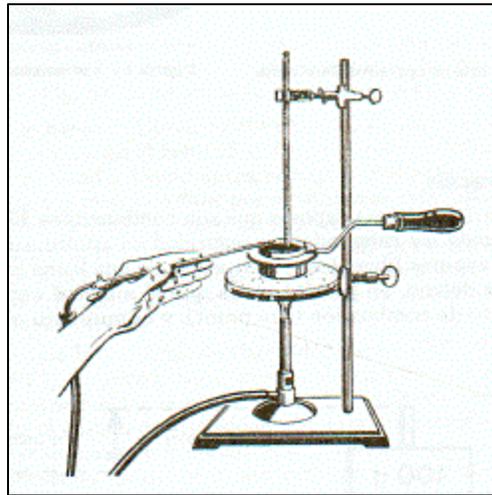
Cuando se calienta un asfalto, libera vapores que son combustibles. El punto de inflamación, es la temperatura a la cual puede ser calentado con seguridad un asfalto, sin que se produzca la inflamación instantánea de los vapores liberados, en presencia de una llama libre. Esta temperatura, sin embargo, está bastante por debajo, en general, de la que el material entra en combustión permanente. Se la denomina punto de combustión (fire point), y es muy raro que se use en especificaciones para asfalto

El ensayo más usado para medir el punto de inflamación del cemento asfáltico es el de "vaso abierto Cleveland" (COC), que consiste en llenar un vaso de bronce con un determinado volumen de asfalto, y calentarlo con un aumento de temperatura normalizado. Se pasa una pequeña llama sobre la superficie del asfalto a intervalos de tiempo estipulados. El punto de inflamación es la temperatura a la cual se han desprendido suficientes volátiles como para provocar una inflamación instantánea.

Una muestra de material asfáltico de aproximadamente 70 ml es colocado en la Copa de Ensayo. La temperatura del espécimen de ensayo es incrementada rápidamente al inicio y luego a una tasa constante más lenta a medida que se acerca al punto de flama.

En intervalos especificados, una pequeña flama de ensayo es pasada sobre el borde superior de la copa. El punto de flama es la temperatura mínima del líquido a la cual la aplicación de la flama de ensayo causa que los vapores del espécimen de muestra ensayado presente destellos. Para determinar el punto de flama, el ensayo es continuado hasta lograr una temperatura a la cual la aplicación de la flama de ensayo cause que el espécimen ensayado se encienda y conserve la flama por un mínimo de 5 s.

Fig. 2.13 Ensayo de punto de inflamación “Vaso abierto de Cleveland”



Fuente: Asphalt Institute

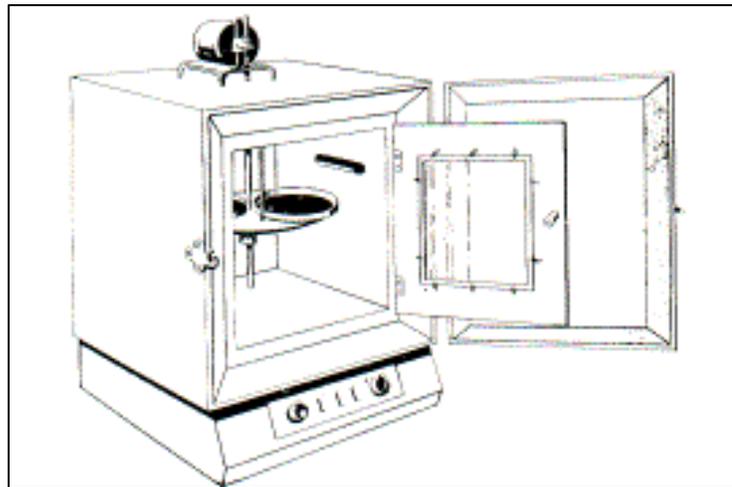
2.5.1.3 Ensayo de película delgada en horno basado en ASTM D 1754-97 (2002)

Este no es en realidad un ensayo, sino un procedimiento destinado a someter a una muestra de asfalto a condiciones de endurecimiento aproximadas a aquellas que ocurren durante las operaciones normales de una planta de mezclado en caliente. Para medir la resistencia al endurecimiento del material bajo estas condiciones, se hacen al asfalto ensayos de penetración o de viscosidad antes y después del ensayo.

Se coloca una muestra de 50 ml de cemento asfáltico en un recipiente cilíndrico de fondo plano de 140 mm (5,5 pulgadas) de diámetro interno y 10 mm (3/8 pulgada) de profundidad. El espesor de la capa de asfalto es de 3 mm (1/8 pulgada) aproximadamente. El recipiente conteniendo a la muestra se coloca en un plato que gira

alrededor de 5 a 6 revoluciones por minuto durante 5 horas dentro de un horno ventilado mantenido a 163°C (325°F). Luego se vuelca el cemento asfáltico en un recipiente normalizado para hacerle el ensayo de viscosidad o de penetración.

Fig. 2.14 Ensayo de película delgada en horno



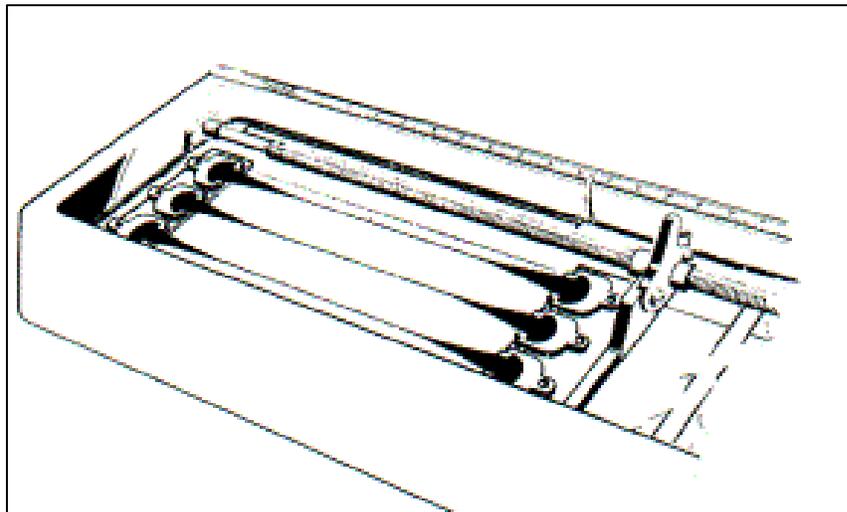
Fuente: Asphalt Institute

2.5.1.4 Ensayo de ductilidad

Algunos ingenieros consideran que la ductilidad es una característica importante de los cementos asfálticos. Sin embargo, generalmente se considera más significativa la presencia o ausencia de la misma, que su grado real. Algunos cementos asfálticos que tienen un grado muy alto de ductilidad son también más susceptibles a la temperatura. Es decir, que la variación de la consistencia puede ser mayor debido al cambio de temperatura.

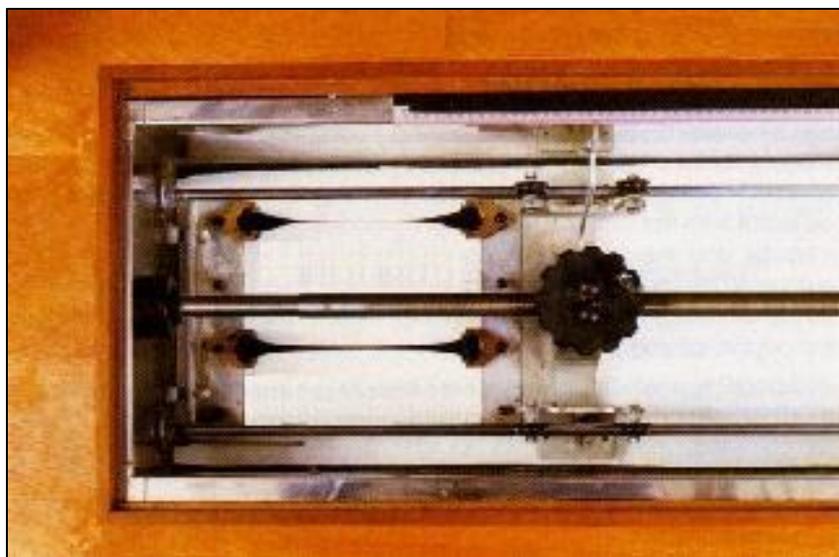
La ductilidad de un cemento asfáltico se mide con un ensayo tipo "extensión" para el que se moldea una probeta de cemento asfáltico en condiciones y medidas normalizadas. Se la lleva a la temperatura de ensayo de la norma, generalmente 25°C (77°F) y se separa una parte de la probeta de la otra a cierta velocidad, normalmente 5 cm por minuto, hasta que se rompa el hilo de asfalto que une ambos extremos de la muestra. La ductilidad del asfalto es la distancia (en centímetros) a la cual se rompe dicho hilo.

Fig. 2.15 Ensayo de ductilidad



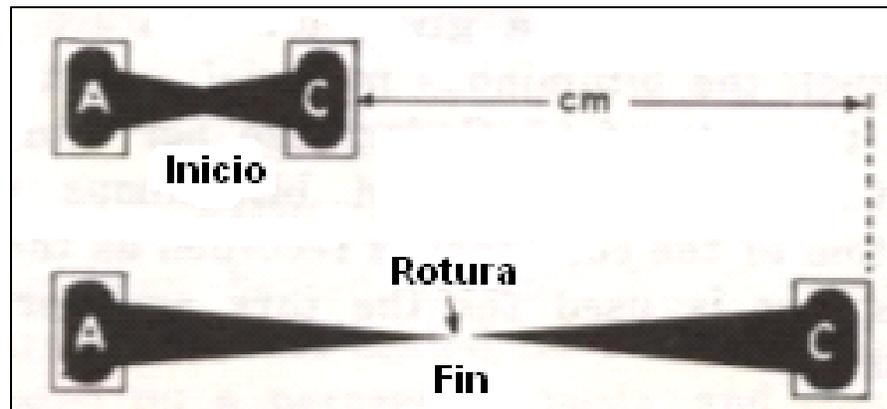
Fuente: Asphalt Institute

Fig. 2.15.a Vista en planta del ensayo de ductilidad



Fuente: Internet: www.asphaltessays.com.org

Fig. 2.15.b Vista en planta de la rotura del ensayo



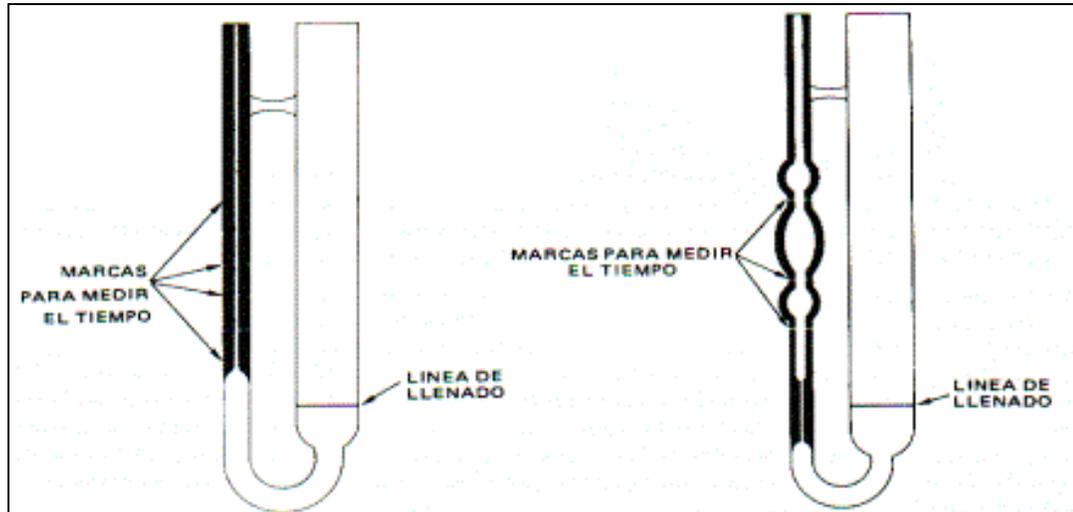
Fuente: Internet: www.asphaltessays.com.org

2.5.1.5 Ensayo de viscosidad (Basado en ASTM D 2170-01a)

Las especificaciones de los cementos asfálticos clasificados según su viscosidad se basan por lo común en los rangos de viscosidad a 60°C (140°F). También se especifica generalmente una viscosidad mínima a 135°C (275°F). El propósito es dar valores límites de consistencia a estas dos temperaturas. Se eligió la temperatura de 60°C (140°F) porque se aproxima a la máxima temperatura superficial de las calzadas en servicio pavimentadas con mezclas asfálticas en los Estados Unidos y en cualquier otra parte del mundo en donde la construcción de caminos progresa; y la de 135°C (275°F), porque se aproxima a la de mezclado y distribución de mezclas asfálticas en caliente para pavimentación.

Para el ensayo de viscosidad a 60°C (140°F) se emplea un viscosímetro de tubo capilar. Los dos tipos más comunes en uso son: el viscosímetro de vacío del Asphalt Institute y el viscosímetro de vacío de Cannon-Manning (Fig. 2.5.1.5.). Se calibran con aceites normalizados. Para cada viscosímetro se obtiene un "factor de calibración", cuyo uso se describe luego. Generalmente, los viscosímetros vienen calibrados por el fabricante quien suministra estos factores.

Fig. 2.16 Viscosímetro de vacío del Asphalt Institute y viscosímetro de vacío de Cannon- Manning



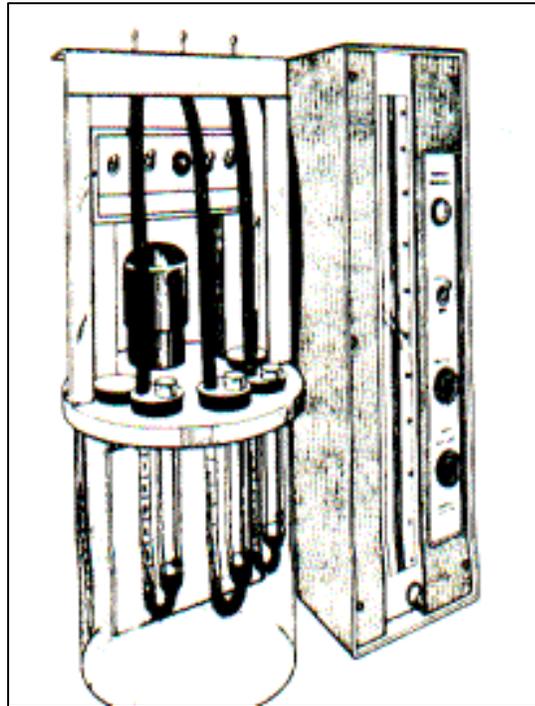
Fuente: Asphalt Institute

El viscosímetro se monta en un baño de agua a temperatura constante, controlado termostáticamente (Fig. 2.5.1.5.a). Se vierte asfalto precalentado en el tubo grande hasta que alcanza el nivel de la línea de llenado. El viscosímetro lleno se mantiene en el baño por un cierto tiempo hasta que el sistema alcance la temperatura de equilibrio de 60°C (140°F).

Se aplica un vacío parcial en el tubo pequeño para inducir el flujo, porque el cemento asfáltico a esta temperatura es muy viscoso para fluir fácilmente a través de los tubos capilares del viscosímetro. En la figura 3.49 se muestra un dispositivo para el control del vacío. También se conecta al sistema una bomba de vacío.

Luego que el baño, viscosímetro y el asfalto se han estabilizado en 60°C (140°F), se aplica vacío y se mide con un cronómetro el tiempo, en segundos, que tarda el cemento asfáltico en fluir entre dos de las marcas. Multiplicando este tiempo por el factor de calibración del viscosímetro se obtiene el valor de la viscosidad en poises, la unidad patrón para medir viscosidad absoluta.

Fig. 2.16.a Viscosímetro en el “baño”

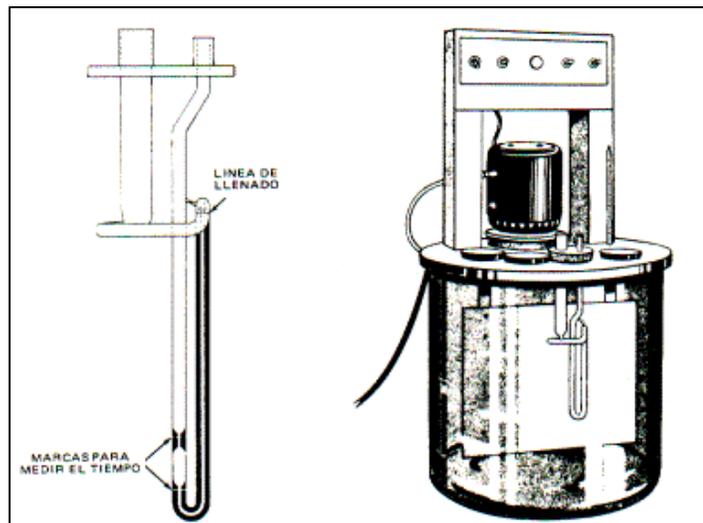


Fuente: Asphalt Institute

El viscosímetro de vacío del Asphalt Institute tiene muchas marcas para medir el tiempo. Seleccionando el par apropiado, se puede usar para asfaltos con una amplia variación de consistencias.

Los cementos asfálticos para pavimentación son lo suficientemente fluidos a 135°C (275°F) para fluir a lo largo de tubos capilares bajo fuerzas gravitacionales únicamente. Por lo tanto, se usa un tipo distinto de viscosímetro, ya que no se requiere vacío. El más usado es el viscosímetro de brazos cruzados Zeitfuchs (Fig. 2.5.1.5.b). También se lo calibra con aceites normalizados.

Fig. 2.16.b Viscosímetro de brazos cruzados y en el “baño”



Fuente: Asphalt Institute

Como estos ensayos se hacen a 135°C (275°F), para el baño se requiere un aceite claro apropiado. Se monta el viscosímetro en el baño (Fig.2.5.1.5.b.) y se vuelca el asfalto en la abertura mayor hasta que llegue a la línea de llenado. Como antes, se deja que el sistema alcance la temperatura de equilibrio. Para que el asfalto comience a fluir por el sifón que está justo encima de la línea de llenado, es necesario aplicar una pequeña presión en la abertura mayor o un ligero vacío en la menor. Entonces el asfalto fluirá hacia abajo en la sección vertical del tubo capilar debido a la gravedad. Cuando el asfalto alcanza la primera de las marcas se comienza a medir el tiempo hasta que alcanza la segunda. El intervalo de tiempo, multiplicado por el factor de calibración del viscosímetro, da la viscosidad cinemática en centistokes.

Es necesario destacar que las medidas de viscosidad para 135°C (275°F) se expresan en centistokes y para 60°C (140°F), en poises. En el ensayo de viscosidad cinemática, la gravedad induce el flujo (resultados en centistokes) y la cantidad de flujo a través del tubo capilar depende de la densidad del material. En el ensayo de viscosidad absoluta, los resultados se dan en poises, y el flujo a través del tubo capilar se induce por medio de un vacío parcial, siendo los efectos gravitacionales despreciables. Estas

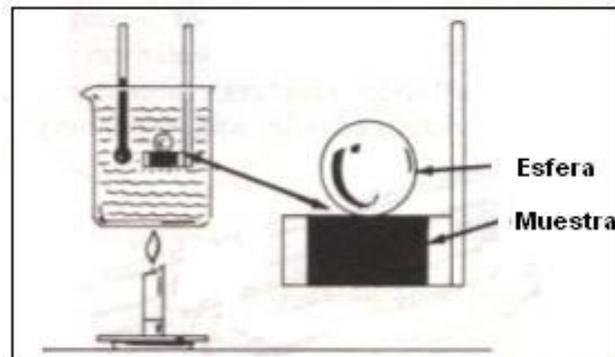
unidades poises y stokes o centipoises y centistokes - pueden ser convertidas unas en otras aplicando, simplemente, un factor debido a la densidad.

2.5.1.6 Punto de ablandamiento (anillo y bola)

Es la temperatura a la cual el cemento asfáltico se vuelve lo suficientemente blando como para comenzar a fluir. Se suele suponer, en términos amplios, que la consistencia en este punto es equivalente a la que presenta cuando su penetración es 800 (0.1mm)

El concepto del punto de ablandamiento es algo arbitrario y no corresponde exactamente a un cambio físico del producto, por cuanto la consistencia del asfalto disminuye gradualmente sin presentar un punto de fusión definido.

Fig. 2.17.a Esquema del ensayo de punto de ablandamiento (anillo y bola)



Fuente: Asphalt Institute

Fig. 2.17.b Vista del ablandamiento del cemento asfáltico



Fuente: Asphalt Institute

2.5.1.7 Ensayo de peso específico

Primeramente se describe la prueba para determinar el peso específico relativo o densidad de los cementos asfálticos, que es la relación entre el peso de un volumen dado del material a (25°C) veinticinco grados centígrados y el peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura. Este dato se utiliza en el cálculo de volúmenes de los cementos asfálticos y en la determinación del porcentaje de vacíos en mezclas asfálticas compactadas.

Picnómetro de vidrio, de forma cilíndrica o cónica, de (22) veintidós a (26) veintiséis milímetros de diámetro, con tapón de vidrio esmerilado, provisto de un orificio central de (1) uno a (2) dos milímetros de diámetro. La superficie superior del tapón debe ser lisa y plana y la inferior cóncava para permitir que escape todo el aire a través del orificio. La altura en el centro de la sección cóncava debe estar comprendida entre (4) cuatro y (6) seis milímetros. El picnómetro tapado debe tener una capacidad de (24) veinticuatro a (30) treinta centímetros cúbicos y no debe pesar más de (40) cuarenta gramos

Termómetro de inmersión total, con escala que abarque de (-8 a 32°C) menos ocho a más treinta y dos grados centígrados y aproximación de (0.1°C) cero punto un grado centígrado.

Balanza con aproximación de (1) un miligramo.

Vaso de precipitado de (500) quinientos centímetros cúbicos.

Vaso de precipitado de (250) doscientos cincuenta centímetros cúbicos.

Baño de agua que permita regular la temperatura hasta (50°C) cincuenta grados centígrados, con aproximación de (0.1 °C) cero punto un grado centígrado.

Fuente de calor. Agua destilada.

La prueba se efectúa en la forma siguiente:

- Se limpian y secan perfectamente el picnómetro y el tapón, y a continuación se pesan conjuntamente, anotando este peso como W_r con aproximación de (0.001) cero punto cero un gramo.
- Se llena el picnómetro con agua destilada, recientemente hervida para eliminarle el aire, se le inserta firmemente el tapón y se sumerge todo el conjunto, durante no menos de (30) treinta minutos, en un vaso con agua destilada que se mantendrá a $(25 \pm 0.2^\circ\text{C})$ veinticinco más menos cero punto dos grados centígrados dentro del baño de agua. A continuación se saca parcialmente el picnómetro del agua y se procede a secar la superficie exterior del tapón, cuidando que el orificio quede totalmente lleno de agua. En seguida se saca completamente el picnómetro del vaso y con un paño seco y limpio se elimina rápidamente la humedad que tenga la superficie exterior del mismo; inmediatamente después se pesa el picnómetro con su tapón y el agua que contiene, y se anota este peso como W_{fw}' con aproximación de (0.001) cero punto cero un gramo; efectuado lo anterior, se elimina el contenido del picnómetro y se procede a limpiarlo y a secarlo.
- Se fluidifican en un vaso de precipitado (100) cien gramos de cemento asfáltico aproximadamente, aplicando calor en forma lenta y evitando que haya pérdida por evaporación. Cuando la muestra esté suficientemente fluida, se calienta ligeramente el picnómetro y en seguida se vierte en éste una cantidad de cemento asfáltico, suficiente para llenarlo hasta la mitad aproximadamente, sin que el cemento asfáltico escurra por sus paredes y procurando que no se formen burbujas. A continuación, se dejan enfriar el picnómetro y su contenido a la temperatura ambiente y se pesan junto con el tapón, anotando este peso como W_u' con aproximación de (0.001) cero punto cero un gramo.
- En seguida se termina de llenar el picnómetro con agua destilada y sin aire, y se le inserta firmemente el tapón. El picnómetro y su contenido se sumergen completamente durante no menos de (30) treinta minutos, en un vaso con agua

destilada que se mantiene a $(25 \pm 0.2^\circ\text{C})$ veinticinco más menos cero punto dos grados centígrados dentro del baño de agua. A continuación se saca parcialmente del agua el picnómetro y se seca la superficie exterior del tapón, cuidando que el orificio quede completamente lleno de agua. En seguida se saca totalmente el picnómetro del vaso y con un paño seco y limpio se elimina rápidamente toda la humedad de la superficie exterior del mismo; inmediatamente, se pesa el picnómetro con su contenido y el tapón, anotando este peso como W_w' con aproximación de (0.001) cero punto cero un gramo.

- Se calcula y reporta el peso específico relativo del cemento asfáltico con aproximación de (0.001) cero punto cero un gramo, determinado con la siguiente fórmula:

$$\rho_b = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)} * \rho_w * 1000$$

Donde:

ρ_w = Densidad del agua a la temperatura de ensayo (gr/cm³)

ρ_d = Densidad del asfalto a la temperatura de ensayo (kg/m³)

A = Masa del picnómetro o frasco

B = Masa del picnómetro más agua

C = Masa del picnómetro más asfalto

D = Masa del picnómetro más agua y asfalto

2.5.2 Ensayos de caracterización de los agregados pétreos

Con respecto a los agregados pétreos, estos no deben de ser susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración físico química apreciable bajo las condiciones a que se encuentre expuesta en el lugar de empleo, tampoco deben dar origen (con el agua u otro agente) a disoluciones, por los problemas que estas puedan causar a la estructura o a las capas del pavimento, o la contaminación a las aguas subterráneas que puedan estar presentes.

El agregado fino debe proceder en su totalidad de la trituración de piedra de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena.

Se busca que la curva granulométrica encaje en estos límites, con el objeto de obtener un alto contenido de vacíos en la mezcla, además, para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la especificación; el material a producir deberá dar lugar a una curva granulométrica sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior del tamiz adyacente y viceversa.

Los agregados que se utilizarán para el diseño de la mezcla drenante, son agregados procesados, con un tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ ".

Los ensayos que le fueron realizados a las fracciones de agregados a ser utilizados en el diseño de la mezcla son:

2.5.2.1 Ensayo de desgaste de los ángeles (Basado en ASTM C 131)

Este ensayo es una medida al desgaste de los agregados minerales de graduaciones estándar resultado de una combinación de acciones que incluye la abrasión o el desgaste, impacto, y desintegración en un tambor de acero rotatorio que contiene un número especificado de esferas de acero el cual depende de la graduación de la muestra de ensayo. Después del número prescrito de revoluciones, los contenidos son removidos del tambor y la porción del agregado es tamizada para medir el desgaste como un porcentaje de pérdida.

El ensayo representa fundamentalmente el desgaste sufrido por los agregados durante el proceso de fabricación de la mezcla asfáltica y de la posterior compactación en obra al utilizarse equipos pesados, ha sido ampliamente usado como un indicador de la calidad relativa o la comparación de varias fuentes de agregado que tengan similar composición mineral. El resultado automáticamente no permite comparaciones válidas para ser hechas entre fuentes claramente diferentes en origen, composición, o estructura.

Fig. 2.18 Máquina de desgaste de los Ángeles



Fuente: Internet: www.theasphaltnews&tech.com

2.5.2.2 Ensayo de sanidad de agregados por sulfato de sodio, basado en norma ASTM: C 88, con equivalencia en AASHTO: T 104

Alcance y descripción

Mediante este método se puede obtener una información útil para juzgar la calidad de los agregados que han de estar sometidos a la acción de los agentes atmosféricos, sobre todo cuando no se dispone de datos sobre el comportamiento de los materiales que se van a emplear, en las condiciones climatológicas de la obra. Se llama la atención sobre el hecho que los resultados que se obtienen varían según la sal que se emplee y que hay que tener cuidado al fijar los límites en las especificaciones en que se incluya la realización de este ensayo.

Fig. 2.19 Agregados en saturación con sulfato de sodio



Fuente: Tesis “Guía Básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente”, UES 2007

2.5.2.3 Determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso, basado en norma ASTM: D 5821-01

Alcance y descripción

Algunas especificaciones contienen los requisitos relativos al porcentaje de partículas fracturadas en los agregados gruesos. Uno de los propósitos de tales requisitos es maximizar la resistencia al corte al aumentar la fricción entre las partículas en cualquier mezcla de agregado dependiente o independiente. Otro propósito es proporcionar la estabilidad de los agregados en tratamiento de superficies y para proporcionar una mayor fricción y textura de los agregados utilizados en la superficie del pavimento. Especificaciones difieren en cuanto al número de caras fracturadas requerida sobre una partícula fracturada, y también difieren en cuanto a si el porcentaje de la masa o el porcentaje por el número de partículas se utilizará. Si la especificación no especifica, utiliza el criterio de al menos una cara fracturada y calcular el porcentaje en masa.

2.5.2.4 Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos, basado en norma ASTM: D 4318

Alcance y descripción

La cantidad de relleno mineral, tienen un doble propósito cuando se añade a las mezclas bituminosas. La porción del relleno mineral que es más fino que el espesor de la película de asfalto y el cemento asfáltico ligante forma una masilla que contribuye al endurecimiento de la mezcla. Las partículas más grandes que el espesor de la película de asfalto se comportan como agregado mineral y contribuir así a los puntos de contacto entre las partículas individuales de agregado.

Se considera que el material utilizado como llenante mineral debe ser no plástico puesto que las partículas no se unen.

Fig. 2.20 Copa de Casagrande para la medición del límite líquido



Fuente: Manual Laboratorio de Suelos UCA. Argentina, 2004

2.5.2.5 Ensayo del equivalente de arena, basado en norma ASTM: D 2419 con equivalencia en AASHTO: T 176

Alcance y descripción

Este ensayo produce como resultado un valor empírico de la cantidad relativa, finura y carácter del material arcilloso presente en la muestra de suelo o agregado fino.

Se puede especificar un valor mínimo del equivalente de arena, para limitar la cantidad admisible de finos arcilloso en un agregado.

Este método de ensayo permite determinar rápidamente, en el campo, variaciones de calidad de los agregados durante la producción o la colocación.

Fig. 2.21 Probeta graduada con material listo para reposar durante el ensayo del equivalente de arena



Fuente: Tesis “Guía Básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente”, UES 2007

2.5.2.6 Granulometría agregado grueso y fino

Se define como la distribución de las partículas de la masa de agregados que se lo determina por análisis de tamices de malla de alambres dividida correctamente con aberturas cuadradas.

Para determinar la granulometría de un árido se considera la masa de una muestra de ensayo; se tamiza la muestra y se determina la masa de las fracciones del árido retenidas en cada uno de los tamices. Se calculan los porcentajes parciales retenidos y se expresa la granulometría según la curva granulométrica.

La granulometría y el tamaño de los agregados son importantes debido a su efecto en la dosificación, trabajabilidad, economía, porosidad y contracción del concreto. Entre más uniforme sea la granulometría, mayor será la economía.

Los números de tamaño (tamaños de granulometría), para el agregado grueso se aplican a las cantidades de agregado (en peso), en porcentajes que pasan a través de un arreglo de malla.

La granulometría de los agregados finos de acuerdo con las normas ASTM C 33 (AASHTO M6), COVENIN 277, IRAM 1512, NCh163, NMX-C-111, NTC 174, NTP400.037, UNIT 84, es generalmente satisfactoria para la mayoría de los concretos. Los límites de estas normas, con respecto a la granulometría se enseñan en la tabla 2.2.1.

Requisitos para la fracción gruesa:

Deberá estar constituido por partículas chancadas, limpias y tenaces que se ajustan a los requisitos que se indican en la Tabla 2.12

Tabla 2.12 Requisitos fracción gruesa

Ensayo	Exigencia (%)	Método
Desgaste de los Ángeles	Máx. 20	LNV – 75
Partículas chancadas	Mín. 98	LNV – 3 (1)
Adherencia método estático	Mín. 95	LNV – 9
Porcentaje de laja	Máx. 10	LNV – 3
Índice de laja	Máx. 25	LNV – 3

- (1) El árido será el material resultante de la trituración de roca, en que la fracción chancada tendrá mínimo tres caras fracturadas.

Fuente: Asphalt Institute

Requisitos para la Fracción Fina:

Tabla 2.13 Requisitos para la fracción fina

Ensayo	Exigencia (%)	Método
Índice de plasticidad	N.P.	LNV – 90
Adherencia Riedel - Weber	Min. 0 - 5	LNV – 10

Fuente: Asphalt Institute

Para realizar este análisis primeramente el juego de tamices se elegirá de acuerdo al material a ensayar y será dispuesto en orden decreciente de abertura y provisto de un recipiente receptor del residuo. Deberá estar seco y limpio.

Es utilizado para determinar la distribución de tamaños o gradación de estos agregados disponibles y conseguir la mejor combinación posible. La gradación de los agregados es muy importante tanto para la mezcla asfáltica Ya que de este depende la manejabilidad y resistencia de la mezcla.

El análisis de tamices se lleva a cabo cerniendo los agregados a través de una serie de tamices enumerados de forma ascendente, esto es, N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200. El número de los tamices nos indica las aperturas del tamiz por pulgada lineal. Esto varía según el grueso del alambre utilizado para la malla.

Se conoce como agregado fino a todo aquel que pasa a través del tamiz de 3/8" y el N°4 y es retenido casi completamente en el tamiz #200. Agregado grueso es aquel que se retiene en el tamiz N°4.

Requisitos Fracción Filler:

Deberá ser constituido por polvo mineral fino tal como cemento hidráulico, cal u otro material inerte de origen calizo, libre de materia orgánica y partículas de arcilla.

El filler total deberá estar formado por un mínimo de 50 % de aportación y el porcentaje restante proveniente del árido.

Los áridos combinados deberán cumplir los requisitos de la Tabla 2.14

Tabla 2.14 Requisitos para áridos combinados

Ensayo	Exigencia (%)	Método
Sales solubles	Max. 3	LNV – 8
Equivalente de arena	Min. 50	LNV – 71

Fuente: Asphalt Institute

Las distintas funciones de los áridos deberán combinarse en proporciones tales que la mezcla resultante cumpla con una de las bandas granulométricas especificadas en la Tabla 2.15, denominadas PA -10 y PA – 12.

Tabla 2.15 Bandas granulométricas

Tamiz (mm.)	Tamiz ASTM	PA - 10	PA - 12
20	¼"	-	100
12,5	½"	100	70 – 80
10	3/8"	70 – 90	50 – 80
5	N° 4	15 – 30	15 – 30
2,5	N° 8	10 – 22	10 – 22
0,63	N° 30	6 – 13	6 – 13
0,080	N° 200	3 – 6	3 – 6

Fuente: Asphalt Institute

2.5.2.7 Peso específico y absorción del agregado fino arena

Es el árido de mayor responsabilidad. A diferencia de la grava, el agua e incluso el cemento asfáltico puede decirse que *no es posible hacer una buena mezcla asfáltica sin una buena arena*. Las mejores arenas son las de río, ya que, salvo raras excepciones, son cuarzo puro, por lo que no hay que preocuparse acerca de su resistencia y durabilidad. La arena de mina suele tener arcilla en exceso, por lo que generalmente es preciso lavarla. Las arenas de mar, si son limpias, pueden emplearse en hormigón armado, previo lavado con agua dulce.

Las arenas que provienen del machaqueo de granitos, basaltos y rocas análogas son también excelentes con tal que se trate de rocas sanas que no acusen un principio de descomposición.

Deben rechazarse en forma absoluta las arenas de naturaleza granítica alterada (caolinización de los feldespatos).

Las arenas de procedencia caliza son de calidad muy variable. Siempre resultan más absorbentes y requieren más cantidad de agua de amasado que las síliceas. Su resistencia al desgaste es baja, por lo que los hormigones sometidos a este efecto (por ejemplo en pavimentos) deben confeccionarse con arena sílicea al menos en un treinta por ciento de la totalidad de la arena.

La humedad de la arena tiene gran importancia en la dosificación de mezclas asfálticas sobre todo cuando se dosifica en volumen. Por ello es necesario tenerla siempre en cuenta.

La arena no debe contener sustancias perjudiciales para la mezcla asfáltica.

Memoria de realización

Después de asegurarse que la muestra está completamente limpia es decir libre de impurezas como ser tierra, arcilla, limo y haberla saturado 24 Hrs. antes de la realización de la práctica se siguen los siguientes pasos:

- Se saca la muestra y se empieza a secar uniformemente con la secadora.
- A medida que se va secando la muestra se procede a hacer pruebas con el cono, se coloca primero el molde cónico y se va llenando de arena el mismo por capas de tal manera que al llenar la arena reciba 25 golpes de la varilla para compactar, se retira el cono y si la muestra está todavía húmeda la misma conservará la forma original del cono.
- Si la muestra está todavía húmeda se procede a seguir secando la misma de manera uniforme con la secadora, y se repite el mismo procedimiento, si la arena rueda libremente y no queda en punta esto indica que la muestra esta demasiadamente seca de tal manera que se tendrá que extraer otra muestra y repetir el mismo procedimiento.
- Cuando se logre lo indicado en la figura anterior se procede pesar 500 gr de la muestra en el matraz y luego se llena con agua hasta la marca de enrase, y para que las burbujas se salgan se procede a hacer rodar el matraz suavemente luego se coloca la muestra a una temperatura de 20 °C, luego se obtiene el peso del matraz lleno.
- Se vacía el contenido del matraz en un recipiente y se pone a secar en el horno de temperatura constante y se espera hasta que esté completamente seco.

2.5.2.8 Peso específico y absorción del agregado grueso

Los áridos pueden ser rodados o machacados. Los primeros proporcionan hormigones más dóciles y trabajables, requiriendo menos cantidad de agua que los segundos.

Los machacados confieren al hormigón fresco una cierta acritud que dificulta su puesta en obra. En ambos efectos influye más la arena que la grava. En cambio, los áridos de machaqueo proporcionan una mayor trabazón que refleja una mayor resistencia del hormigón, especialmente a tracción, en general, en una mayor resistencia química.

Al emplear árido rodado suelto se tiene la garantía de que se trata de piedras duras y limpias, salvo contaminación de la gravera. Pero si se encuentra mezclado con arcilla es imprescindible lavarlo, para eliminar la camisa que se encuentra en los granos y que haría disminuir grandemente su adherencia con la pasta. Este lavado debe ser enérgico realizado con máquinas de lavar no sirviendo de nada el simple rociado en la obra.

Análogamente el árido del machacado debe estar desprovisto del polvo del machaqueo, que supone un incremento de finos en la mezcla asfáltica y, por tanto, mayor cantidad de agua en el amasado, menor resistencia y mayor riesgo de fisuras en las primeras edades.

Procedimiento

- La muestra debe ser de 5 kg de material elegido por el método de cuarteo y de tal manera que toda la muestra a utilizar quede retenida en el tamiz de 3/8”
- Se lava bien el material al fin de que no contenga impurezas de ningún tipo , por ejemplo camisas de arcilla o limo , luego se sumerge la muestra en un recipiente con agua durante 24 Hrs. de tal manera que el material quede totalmente saturado durante ese periodo
- Después de las operaciones anteriores que se realizan un día antes, al momento de realizar el ensayo se saca la muestra del agua y se procede a secar con una toalla de tal manera que en la superficie de la grava no sea visible una película

de agua, se tendrá que hacer lo más rápido posible de tal manera que se pueda evitar la evaporación en el proceso.

- Después se procede a pesar la muestra con sus partículas saturadas, esto también debe ser lo más rápido posible de tal manera que la humedad de las piedras desaparezca por la evaporación.
- Una vez pesada la muestra se vuelve a sumergir y esta vez se determina el peso de la muestra sumergida dentro del turril con agua.
- Por último se seca en el horno a temperatura constante de tal manera que después se proceda al pesado de la misma.

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS PÉTREOS Y CEMENTO ASFÁLTICO

3.1 DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA DRENANTE EN LABORATORIO

3.1.1 Ubicación de las zonas de extracción de los materiales

Árido grueso y fino

Los áridos fueron obtenidos de la chancadora Garzón de la comunidad de San Mateo a afueras de la Ciudad de Tarija, tanto la grava y gravilla, ambos de canto triturado

Fig. 3.1 Chancadora Garzón en la comunidad de San Mateo



Fuente: Elaboración propia

Según las especificaciones españolas, deben poseer las siguientes características:

- Desgaste de los ángeles, máximo 30%
- Índice de lascas, máximo 25%
- Partículas con dos o más caras fracturadas, mínimo 75%
- Coeficiente de pulimento (CPA), mínimo 0,45

- En el control de calidad de los áridos se obtuvieron resultados que se consignan en la parte de los ensayos en laboratorio.

El coeficiente de pulimento (CPA) no se realizó debido al no existir el equipo necesario.

Se utilizaron arenas procedentes de la misma chancadora de trituración comercial de igual procedencia que los agregados gruesos, debido a que para obtener mezclas porosas es deseable una discontinuidad entre tamaños de 2 y 6 mm, una granulometría como la ubicada en el intermedio de las especificaciones.

3.1.2 Selección de materiales

Básicamente los materiales deben cumplir con las especificaciones mencionadas anteriormente tanto para los agregados pétreos como para el cemento asfáltico a utilizar. El polímero empleado para modificar nuestra mezcla se trata de un plastómero más propiamente (PVC) policloruro de vinilo.

Filler

La menor cantidad de mortero en estas mezclas, resultado de la discontinuidad granulométrica en la fracción fina y de bajo contenido de áridos finos, obliga a proveerlas de un mastico de alta calidad.

Usualmente las especificaciones indican el uso de filler de aportación (es decir, materiales comerciales como cal y cemento Portland). Los españoles agregan estos requisitos: densidad aparente entre 0,5 y 0,8 gr/cm³ y coeficiente de estabilidad menor a 0,6.

En nuestro caso para mejorar la granulometría del agregado fino se utilizó el residuo del ensayo de desgaste de los ángeles de nuestros agregados gruesos tanto de la grava como de la gravilla, realizando un pesaje y porcentaje de cuanto se debería aumentar para que crezca el contenido de finos. Y por consiguiente este dentro del huso granulométrico de nuestra mezcla porosa drenante. Por supuesto que se volvió a realizar la granulometría del agregado fino obteniéndose los estándares que se requería.

Cemento asfáltico

Se experimentó con cemento asfáltico convencional de penetración 85-100; sus características se determinaron en los ensayos de laboratorio. Se utilizó este cemento asfáltico por ser el más frecuente en las mezclas densas tradicionales en la zona de estudio, y por lo tanto el más conocido por los usuarios. Como dato interesante, en Bélgica se utilizan betunes de penetración 85- 100 en mezclas drenantes para carreteras de bajo tráfico vehicular.

VPC (Poli cloruro de vinilo)

Para este estudio se utilizó un cierto tipo de polímero. Propiamente dicho un plastómero (PVC) en granel, obtenido de la fábrica de plásticos (Formas plásticas).

Ya que se requería usar PVC no procesado y en granel, el cual conserve sus propiedades innatas de material.

El mismo es en granel, en forma de partículas para que puedan ser fundidas con el cemento asfáltico.

3.2 ENSAYOS EN LABORATORIO

Es la parte más importante de la preparación de mezclas porosas, ya que en esta sección se determinan ciertas características y propiedades de los materiales que nos permiten posteriormente aplicar a la mezcla en sí, tales como la temperatura de mezclado, compactado y calidad de los materiales a utilizar.

Finalmente los ensayos realizados a la mezcla son determinados para obtener las cantidades óptimas adecuadas de cada componente, es decir agregados y ligante.

Caracterización de los agregados pétreos

Los agregados deben cumplir ciertas especificaciones de calidad para su aceptación de la mezcla. Los resultados de todos los ensayos realizados a los agregados se encuentran en las tablas de ANEXOS más adelante, para lo cual se realizaron los siguientes ensayos:

3.2.1 Peso específico grava y gravilla

- La muestra debe ser de 5 kg de material elegido por el método de cuarteo y de tal manera que toda la muestra a utilizar quede retenida en el tamiz de 3/8"

Fig. 3.2 Pesaje de la muestra en laboratorio



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

- Se lavó bien el material al fin de que no contenga impurezas de ningún tipo, por ejemplo camisas de arcilla o limo, luego se sumergió la muestra en un recipiente con agua durante 24 hrs de tal manera que el material quede totalmente saturado durante ese periodo.

Fig. 3.2.a Lavado del material para ser sumergido por 24 horas



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

- Después de las operaciones anteriores que se realizó un día antes, al momento de hacer el ensayo se sacó la muestra del agua y se procedió a secar con una toalla de tal manera que en la superficie de la graba no sea visible una película de agua, se tendrá que hacer lo más rápido posible de tal manera que se pueda evitar la evaporación en el proceso.

Fig. 3.2.b Secado de la muestra en laboratorio



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

- Después se procedió a pesar la muestra con sus partículas saturadas, esto también debe ser lo más rápido posible de tal manera que la humedad de las piedras desaparezca por la evaporación.

Fig. 3.2.c Pesado de la muestra después de haber sido secado superficialmente



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

- Una vez pesada la muestra se volvió a sumergir y esta vez se determinó el peso de la muestra sumergida dentro del turril con agua.

Fig. 3.2.d Pesado de la muestra sumergida en el canastillo



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

- Por último se secó en el horno a temperatura constante de tal manera que después se proceda al pesado de la misma.

Fig. 3.2.e Secado de la muestra al horno, para luego ser pesada



Fuente: Laboratorio de hormigones UAJMS

CÁLCULOS:

Se realizó el mismo procedimiento tanto para la grava y gravilla para determinar el peso específico en el laboratorio, calculando el peso específico aparente final, el cual nos servirá más adelante como dato para realizar nuestro cálculo de Marshall.

Se usaron tres muestras tanto de grava como de gravilla para realizar los siguientes cálculos. Peso específico a granel, peso específico en condición saturado con superficie seca, peso específico aparente y el % de absorción. Con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Peso específico en condición saturado con superficie seca} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A - C}$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{B - A}{A} * 100$$

Donde:

A = Peso de la muestra secada en el horno, en gr.

B = Peso de la muestra saturada con superficie seca, en gr.

C = Peso de la muestra saturada dentro del agua, en gr.

Tabla 3.1.a Planilla de cálculo peso específico y porcentaje de absorción de la grava

Muestra: **Grava de canto triturado**

Datos:

Muestra Nº	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra
			saturada dentro del agua "C" (gr)
1	4974,30	5048,30	3052,00
2	4972,60	5050,20	3058,00
3	4976,80	5052,60	3061,00

Se determinaron los siguientes valores:

Peso específico a granel (gr/cm ³)	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm ³)	Peso específico aparente (gr/cm ³)	% de absorción
2,49	2,53	2,59	1,49
2,50	2,53	2,60	1,56
2,50	2,54	2,60	1,52
2,50	2,53	2,59	1,52

Fuente: Elaboración propia

Obteniéndose un valor de peso específico aparente medio en el caso de la grava de **2,59 gr/cm³**. Que están dentro de los rangos para la dosificación de nuestra mezcla asfáltica

y los requerimientos que exigen. Se determinó a su vez que nuestro material tiene un porcentaje de absorción de **1,52 %**, el cual nos demuestra la calidad del mismo al ser valores óptimos para nuestro diseño de mezcla porosa.

Tabla 3.1.b Planilla de cálculo peso específico y porcentaje de absorción de la gravilla

Muestra: **Gravilla de canto triturado**

Datos:

Muestra N°	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)
1	4935,90	5051,70	3043,00
2	4930,10	5046,20	3041,00
3	4928,50	5046,10	3040,00

Se determinó los siguientes valores:

Peso específico a granel (gr/cm ³)	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm ³)	Peso específico aparente (gr/cm ³)	% de absorción
2,46	2,51	2,61	2,35
2,46	2,52	2,61	2,35
2,46	2,52	2,61	2,39
2,46	2,52	2,61	2,36

Fuente: Elaboración propia

Obteniéndose un valor en el peso específico aparente medio de la gravilla de **2,61 gr/cm³**. Que corresponde también dentro del rango permitido para poder aplicarlo en nuestra mezcla asfáltica drenante. A su vez se pudo apreciar según los cálculos que el porcentaje de absorción es significativamente mayor que de la grava, dando un valor de **2,36 %**.

Lo que hace pensar que la gravilla absorbe más humedad que la grava, tal esto debido a que tiene más caras fracturadas y el material es mucho más fino en su granulometría.

Esto tal vez tenga cierta influencia en el preparado de muestra mezcla asfáltica y al calcular el peso específico de nuestras briquetas, haciendo fluctuar los datos, según ella cantidad de grava y gravilla que entrarán en la mezcla.

3.2.2 Peso específico de la arena

Después de asegurarse que la muestra está completamente limpia es decir libre de impurezas como ser tierra, arcilla, limo y haberla saturado 24 hrs. antes de la realización de la práctica se siguen los siguientes pasos:

- Se saca la muestra y se empieza a secar uniformemente con la secadora.

Fig. 3.3.a Secado de la arena con secadora



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

- A medida que se va secando la muestra se procede a hacer pruebas con el cono, se coloca primero el molde cónico y se va llenando de arena el mismo por capas de tal manera que al llenar la arena reciba 25 golpes de la varilla para compactar, se retira el cono y si la muestra está todavía húmeda la misma conservará la forma original del cono.

Fig. 3.3.b Colocado de la muestra en el matraz



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

- Si la muestra está todavía húmeda se procede a seguir secando la misma de manera uniforme con la secadora, y se repite el mismo procedimiento, si la arena rueda libremente y no queda en punta esto indica que la muestra esta demasiadamente seca de tal manera que se tendrá que extraer otra muestra y repetir el mismo procedimiento.

Fig. 3.3.c Determinación de la superficie seca de la muestra saturada



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

- Cuando se logre lo indicado en la figura anterior se procede a pesar 500 gr de la muestra en el matraz y luego se llena con agua hasta la marca de enrase, y para que las burbujas se salgan se procede a hacer rodar el matraz suavemente luego se colocó la muestra a una temperatura de 20 °C, luego se obtiene el peso del matraz lleno.

Fig. 3.3.d Pesado de la muestra, matraz y agua para llevarlo después al horno



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

- Se vacía el contenido del matraz en un recipiente y se pone a secar en el horno de temperatura constante y se espera hasta que esté completamente seco.

CÁLCULOS:

Después de realizar el ensayo y tomar los datos de las tres muestras se procedió a calcular los parámetros que se necesitaba. Usando las siguientes ecuaciones de cálculo.

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{V - W}$$

$$\text{Peso específico en condición saturada y superficie seca} = \frac{500}{V - W}$$

$$\text{Peso Específico} = \frac{A}{(V - W) - (500 - A)}$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{500 - A}{A} * 100$$

Donde:

A = Peso en el aire de la muestra secada al horno, en gr.

V = Volumen del frasco, en ml.

W = Peso en gramos o volumen en ml. del agua agregado al frasco

Tabla 3.2 Planilla de cálculo peso específico y porcentaje de absorción de la arena

Muestra: **Arena de canto triturado** Datos:

Muestra N°	Peso muestra (gr)	Peso de matr�az (gr)	Muestra + matr�az + agua (gr)	Peso del agua agregado al matr�az "W" (ml) � (gr)	Peso muestra secada "A" (gr)	Volumen del matr�az "V" (ml)
1	500,00	178,20	1000,90	322,70	490,90	500,00
2	500,00	178,20	1001,30	323,10	491,40	500,00
3	500,00	178,20	1000,20	322,00	490,70	500,00

Se determinó los siguientes valores:

P. E. a granel (gr/cm ³)	P. E. saturado con sup. seca (gr/cm ³)	P. E. aparente (gr/cm ³)	% de absorci�n
2,77	2,82	2,92	1,85
2,78	2,83	2,92	1,75
2,76	2,81	2,91	1,90
2,77	2,82	2,92	1,83

Fuente: Elaboración propia

Según el cálculo realizado se pudo determinar el peso específico de la arena que se utilizara para la dosificación de la mezcla asfáltica drenante, dando un valor alto, el cual gracias a su rango calculado nos brinda una mayor resistencia a la mezcla en conjunto con un peso específico de **2,92 gr/cm³** y un porcentaje de absorción relativamente bajo de **1,83 %**, ambos dentro de los rangos establecidos por norma.

Los cual nos brindara una mayor seguridad en nuestro diseño y dosificación de mezcla porosa.

3.2.3 Ensayo de durabilidad a sulfatos

Este ensayo también se llama solidez. Permite ver el grado de disgregación de los agregados bajo la acción de agentes atmosféricos. Este ensayo consiste en sumergir el agregado en una solución de sulfato de sodio hasta saturarlo. En seguida se seca a estufa se vuelve a repetir este ciclo de saturación y secado durante 5 días. Una piedra con poca solidez se desintegra, se agrieta o desprende escamas después de muy pocos ciclos. El satisfacer esta prueba es una indicación de durabilidad bajo efectos de la intemperie.

Fig. 3.4.a Preparación de la solución de sulfato de sodio para los agregados



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

Fig. 3.4.b Pesaje del agregado después de ser tamizado para sumergirlos en sulfato de sodio



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

Fig. 3.4.c Muestras pesadas después de los 5 ciclos en sulfato de sodio



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

CÁLCULOS:

Para esta práctica se procedió a tamizar tanto la grava, gravilla y arenas por las diferentes aberturas, después se hizo un pesaje para cada tamiz retenido de nuestros agregados, se los dejó sumergido en la solución de sulfato de sodio, por cinco ciclos es decir 5 días donde se tenía que pesar lavar secar, cambiar la solución.

Tabla 3.3.a Cuadro de pérdidas por sulfato de sodio de la grava

Muestra: **Grava de canto triturado**

Granulometría			Peso Materiales		
Tamiz N°	Tamiz pasa	Tamiz Ret.	Material	Antes Ensayo	Después Ensayo
3/4"	3/4"	1/2"	100,00	1000,00	978,40
1/2"	1/2"	3/8"	24,97	300,00	293,70
3/8"	3/8"	N°4	5,02	300,00	294,90
N°4	N°4	N°8	0,15	100,00	99,70

Se determinó los siguientes valores:

Pérdida por diferencia	% Pasa al tamiz más fino	% Pérdida respecto tamiz	% Pérdida respecto muestra total
21,60	75,03	2,16	1,62
6,30	19,95	2,10	0,42
5,10	4,87	1,70	0,08
0,30	0,15	0,30	0,00

Total % pérdida de peso

2,12

Máximo

12,00

Cinco ciclos

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados el desgaste es mínimo, por lo tanto el agregado usado, tiene resistencia al desgaste de los agentes externos y a la intemperie.

Dándonos un valor de desgaste en el caso de la grava de 2,12 %, un valor relativamente mínimo, en comparación a su límite máximo.

Tabla 3.3.b Cuadro de pérdidas por sulfato de sodio de la gravilla

Muestra: **Gravilla de canto triturado**

Granulometría				Peso materiales	
Tamiz N°	Tamiz pasa	Tamiz retenido	Material	Antes ensayo	Después ensayo
3/4"	3/4"	1/2"	100,00	1000,00	978,40
1/2"	1/2"	3/8"	100,00	300,00	293,70
3/8"	3/8"	N°4	79,94	300,00	294,90
N°4	N°4	N°8	12,02	100,00	99,70
N°8	N°8	N°16	1,25	100,00	98,30
N°16	N°16	N°30	0,69	100,00	95,50
N°30	N°30	N°50	0,39	100,00	95,00
N°50	N°50	N°100	0,23	100,00	94,60

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Pérdida por diferencia	% Pasa al tamiz más fino	% Pérdida respecto tamiz	% Pérdida respecto muestra total
21,60	0,00	2,16	0,00
6,30	20,06	2,10	0,42
5,10	67,92	1,70	1,15
0,30	10,77	0,30	0,03
1,70	0,56	1,70	0,01
4,50	0,30	4,50	0,01
5,00	0,16	5,00	0,01
5,40	0,23	5,40	0,01
Total % pérdida de peso			1,65
Máximo			12,00

Cinco ciclos

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados del ensayo, también se obtuvieron valores de poco desgaste, en el caso ahora de la gravilla, confirmando de esta manera la calidad del agregado a utilizar, el cual tiene alta resistencia a los agentes abrasivos y la intemperie, con un valor de desgaste de 1,65 %.

Tabla 3.3.c Cuadro de pérdidas por sulfato de sodio de la arena

Muestra: **Arena de canto triturado**

Granulometría				Peso Materiales	
Tamiz N°	Tamiz pasa	Tamiz retenido	Material	Antes ensayo	Después ensayo
3/8"	3/8"	N°4	100,00	100,00	99,60
N°4	N°4	N°8	97,38	100,00	98,30
N°8	N°8	N°16	74,12	100,00	95,50
N°16	N°16	N°30	56,75	100,00	95,00
N°30	N°30	N°50	41,42	100,00	94,20
N°50	N°50	N°100	61,68	100,00	96,20
N°100	N°100	N°200	21,78	100,00	94,30

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Pérdida por diferencia	% Pasa al tamiz más fino	% Pérdida respecto tamiz	% Pérdida respecto muestra total
0,40	2,62	0,40	0,01
1,70	23,26	1,70	0,40
4,50	17,37	4,50	0,78
5,00	15,33	5,00	0,77
5,80	-20,26	5,80	-1,18
3,80	39,90	3,80	1,52
5,70	21,78	5,70	1,24

Total % pérdida de peso	1,24
Máximo	12,00
Cinco ciclos	

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la arena, sucede lo mismo la pérdida por abrasión y durabilidad a la solución del sulfato de sodio es mínima, obteniéndose un valor máximo de **1,24 %**.

Lo que implica también un mínimo riesgo de falla por los agregados, en el diseño de la mezcla asfáltica drenante.

3.2.4 Caras fracturadas

Es un ensayo visual que se realiza con cierta cantidad de muestra la cual se pesa inicialmente, después se procede a separar todo el material que no tenga ninguna cara fracturada y se vuelve a pesar. La diferencia de pesos entre el original y el final expresado en porcentaje es el calculado para dicho material en estudio.

Fig. 3.5 Muestras tomadas de agregado grueso para realizar el ensayo



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

CÁLCULOS:

Se procedió a usar tres muestras para este análisis, se las peso y tamizo através de la malla N°8

Tabla 3.4 Cálculo de cantidad de caras fracturadas que tiene la muestra

Ensayo	Lecturas			Promedio	Especificación
	1	2	3		
Numero de ensayo					
Peso total (gr)	1500,00	1500,00	1500,00		
Peso retenido tamiz N° 8	985,00	987,00	983,00		
Peso caras fracturadas (gr)	887,00	884,00	882,00		
% De caras fracturadas	90,05	89,56	89,73	89,78	>75

Fuente: Elaboración propia

$$\% \text{ C. F.} = \frac{\text{Peso caras fracturadas}}{\text{Peso retenido T.N}^\circ 8} * 100$$

Caras fracturadas (%)	Norma
89,78	> 75%

Se puede apreciar que el porcentaje de caras fracturadas es mayor al de la norma, por lo tanto es aprobado para el uso en la mezcla asfáltica. El valor que se determino es de 89,78 % en sus caras fracturadas.

3.2.5 Granulometría

La determinación de la composición granulométrica del material pétreo que se pretenda emplear en la elaboración de mezclas bituminosas porosas es de prioridad importancia ya que depende fundamentalmente de esta para obtener la porosidad adecuada.

Según la normativa que se eligió para el diseño de la mezcla asfáltica drenante, se trata de la norma española de Huso PA-12, en donde nos muestra la granulometría conformada final a usar, considerando, la grava, gravilla y arena.

En el calculado realizado se determinó la granulometría para los tres agregados utilizados en nuestra mezcla asfáltica y los mismos tienen que cumplir con las exigencias que el diseño nos recomienda, para evitar futuras fallas al hacerlas correr en la prensa Marshall.

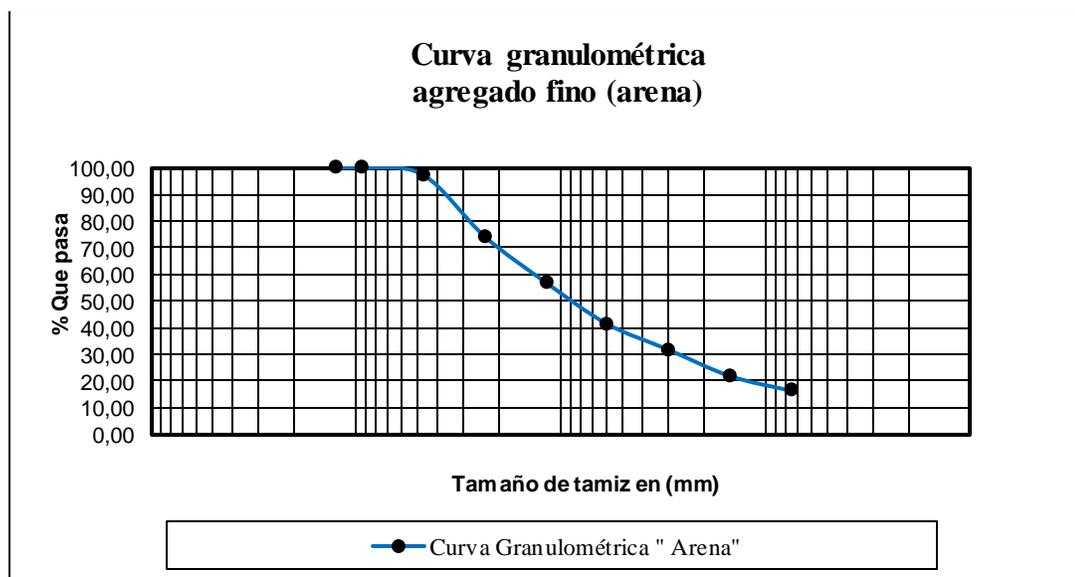
a) Granulometría de la arena:

Tabla 3.5.a Cálculo granulométrico de la arena a utilizar chancadora de San Mateo

Peso Total (gr.)			5003,00		
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr.)	Ret. Acum. (gr.)	% Ret	% que pasa del total
1/2	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº4	4,75	130,96	130,96	2,62	97,38
Nº8	2,36	1163,82	1294,78	25,88	74,12
Nº16	1,18	869,15	2163,93	43,25	56,75
Nº30	0,60	766,64	2930,57	58,58	41,42
Nº50	0,30	487,25	3417,82	68,32	31,68
Nº100	0,15	495,48	3913,30	78,22	21,78
Nº200	0,075	279,34	4192,64	83,80	16,20
BASE	-	807,54	5000,18	99,94	0,06
Suma		5000,18			
Pérdidas		2,82			

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.1.a Curva granulométrica de la arena



Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que la curva granulométrica de nuestra arena tiene una buena cantidad de filler que pasa por el tamiz N°200, el cual nos ayudará bastante en la dosificación de nuestra mezcla drenante, ya que estamos hablando de una arena de origen triturado.

También se puede apreciar que la mayor concentración de agregado se encuentra retenido en los tamices de las mallas N° 8 y N°16, lo que nos determina que es una arena de gradación gruesa con un buen contenido de filler en su estructura.

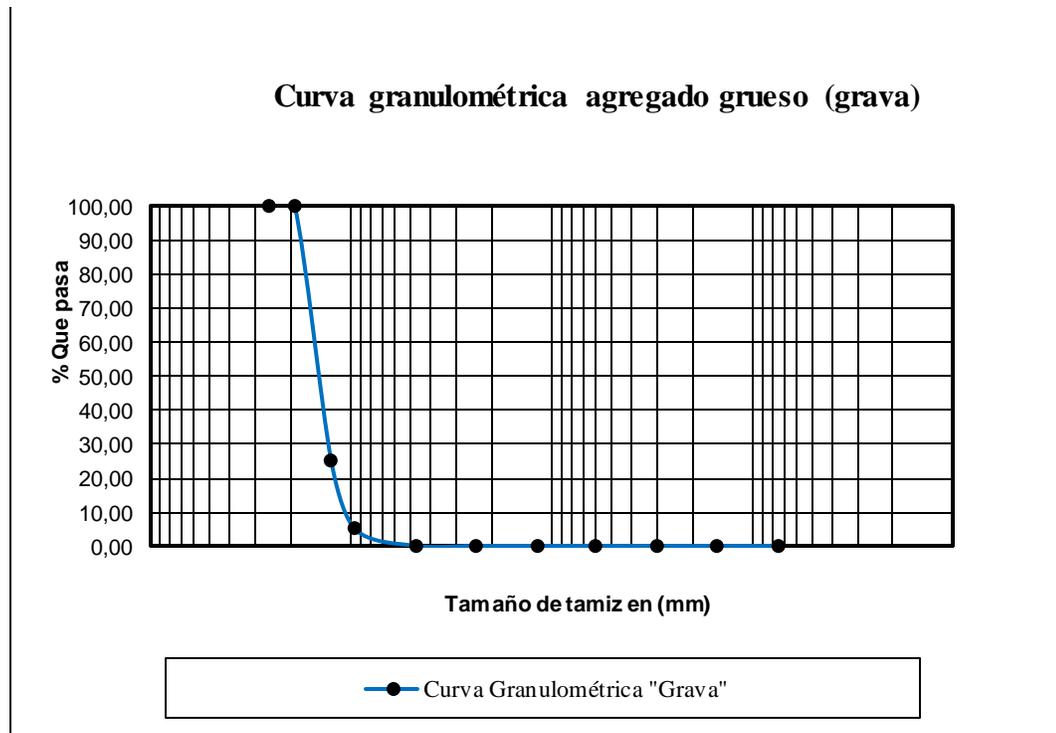
b) Granulometría de la Grava:

Tabla 3.5.b Cálculo granulométrico de la grava a utilizar chancadora de San Mateo

Peso Total (gr.)			5004,00		
Tamices	tamaño (mm)	Peso ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	3754,50	3754,50	75,03	24,97
3/8"	9,50	998,20	4752,70	94,98	5,02
N°4	4,75	244,00	4996,70	99,85	0,15
N°8	2,36	0,00	4996,70	99,85	0,15
N°16	1,18	0,00	4996,70	99,85	0,15
N°30	0,60	0,00	4996,70	99,85	0,15
N°50	0,30	0,00	4996,70	99,85	0,15
N°100	0,15	0,00	4996,70	99,85	0,15
N°200	0,075	0,00	4996,70	99,85	0,15
BASE	-	3,50	5000,20	99,92	0,08
Suma		5000,20			
Pérdidas		3,80			

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.1.b Curva granulométrica de la grava



Fuente: Elaboración propia

Al analizar la gráfica y los porcentajes que nos genera la granulometría, podemos señalar y concluir que la grava usada, de origen triturado es muy uniforme en sus granulometrías ya que la mayor parte se concentra entre los tamices $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{8}$ " y el N°4, ideales para nuestro diseño ya que se necesita una buena cantidad de agregado grueso, para dosificar la mezcla porosa.

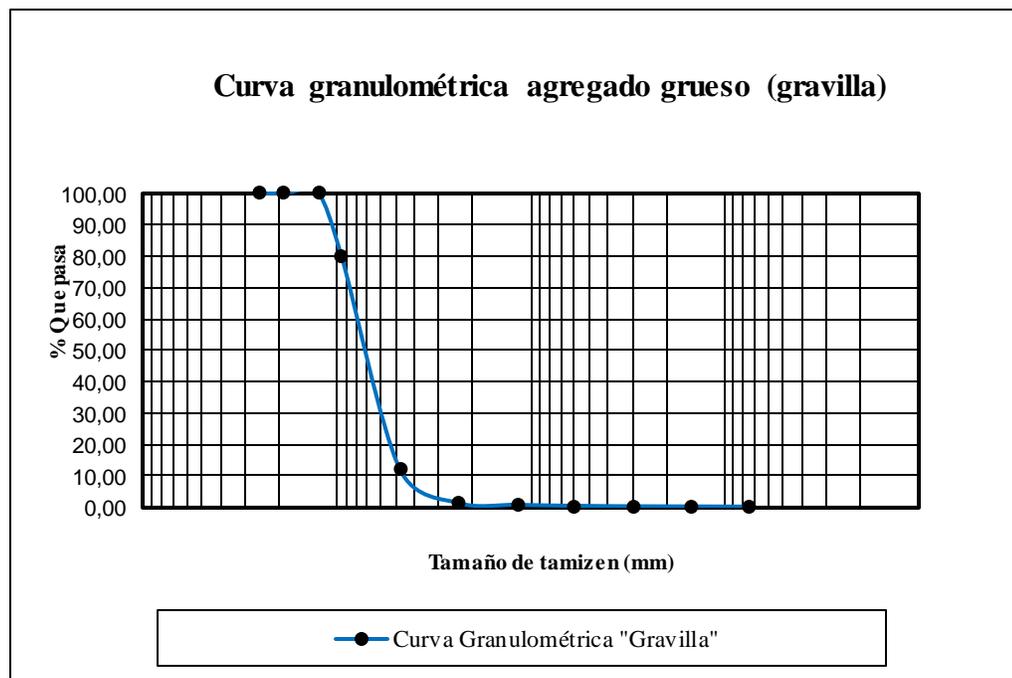
c) Granulometría de la gravilla:

Tabla 3.5.c Cálculo granulométrico de la gravilla a utilizar chancadora de San Mateo

Peso Total (gr.)		5001,00			
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% Que pasa del total
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	1003,10	1003,10	20,06	79,94
Nº4	4,75	3396,70	4399,80	87,98	12,02
Nº8	2,36	538,50	4938,30	98,75	1,25
Nº16	1,18	28,20	4966,50	99,31	0,69
Nº30	0,60	15,20	4981,70	99,61	0,39
Nº50	0,30	7,60	4989,30	99,77	0,23
Nº100	0,15	2,40	4991,70	99,81	0,19
Nº200	0,075	3,20	4994,90	99,88	0,12
BASE	-	5,30	5000,20	99,98	0,02
Suma		5000,20			
Pérdidas		0,80			

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.1.c Curva granulométrica de la gravilla



Fuente: Elaboración propia

La granulometría de la gravilla se puede apreciar que es claramente más fina que la de la grava en donde lo retenido en el tamiz N°8 y N°16 existe una buena cantidad de material, y lo mismo ocurre en los otros tamices inferiores, con su respectiva proporción.

3.2.6 Conformación de la curva granulométrica de diseño

CÁLCULOS:

Tabla 3.6 Cálculo de la curva granulométrica conformada

Tamices	Tamaño (mm)	Grava	Gravilla	Arena	Grava	Gravilla	Arena	Total
		Peso Ret. a 5000 gr	Peso Ret. a 5000 gr	Peso Ret. a 5000 gr	al 0,35	al 0,45	al 0,2	Peso Ret. 1
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	12,50	3754,50	0,00	0,00	1314,08	0,00	0,00	1314,08
3/8"	9,50	998,20	1003,10	0,00	349,37	451,40	0,00	800,77
N°4	4,75	244,00	3396,70	130,96	85,4	1528,52	26,19	1640,11
N°8	2,36	0,00	538,50	1163,82	0,00	242,33	232,76	475,09
N°16	1,18	0,00	28,20	869,15	0,00	12,69	173,83	186,52
N°30	0,60	0,00	15,20	766,64	0,00	6,84	153,33	160,17
N°50	0,30	0,00	7,60	487,25	0,00	3,42	97,45	100,87
N°100	0,15	0,00	2,40	495,48	0,00	1,08	99,10	100,18
N°200	0,08	0,00	3,20	297,34	0,00	1,44	59,47	60,91
BASE	-	3,50	5,30	807,54	1,23	2,39	161,51	165,12
Suma		5000,20	5000,20	5018,18	1750,07	2250,09	1003,64	5003,8
Pérdidas		2,80	0,80	-14,18				

Ret. Acum	% Ret	% Que pasa del total	Huso P.A. 12	
			Especificaciones	
			Mínimo	Máximo
0,00	0,00	100,00	-	-
0,00	0,00	100,00	100	100
1314,08	26,26	73,74	70	100
2114,84	42,26	57,74	50	80

3754,95	75,04	24,96	15	30
4230,04	84,54	15,46	10	22
4416,56	88,26	11,74	-	-
4576,72	91,47	8,53	6	13
4677,59	93,48	6,52	-	-
4777,77	95,48	4,52	-	-
4838,68	96,70	3,30	3	6
5003,80	100,00	0,00	-	-

Fuente: Elaboración propia

Para la conformación de la curva granulométrica se tuvo que jugar y hacer variar los porcentajes de nuestros agregados para que estén dentro de nuestras fajas límites, que nos estipula la norma y Huso P.A.12. Según la variación de nuestros porcentajes se obtuvo lo siguiente:

35%= Grava de canto triturado

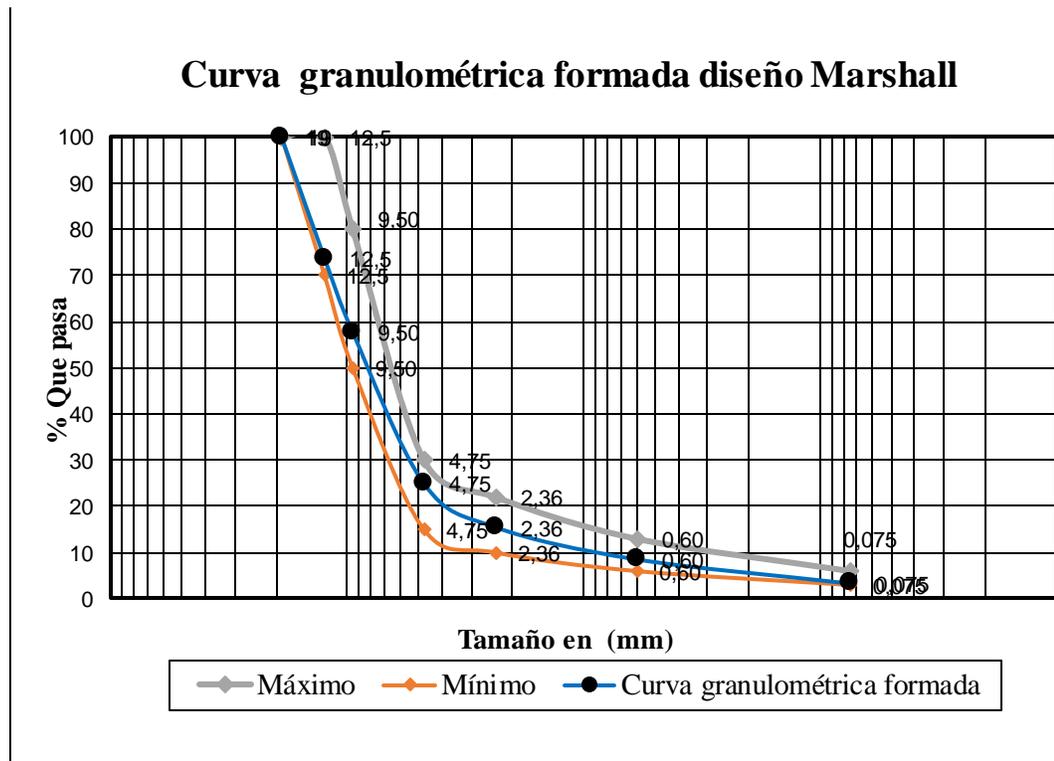
45%= Gravilla de canto triturado

20%= Arena de canto Triturado

Los cuales nos daban los límites que podíamos usar para no salirse de la las fajas granulométricas establecidas.

Se procedió a usar el **Huso P.A.12**, debido a que nos brinda un mayor rango para jugar con nuestras proporciones tanto de arena, grava y gravilla.

Gráfico 3.2 Curva granulométrica conformada



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7.a Resumen de la granulometría conformada

Tamaño Tamiz	% Pasa de la muestra	Mínimo	Máximo
19,00	100,00	100	100
12,50	73,74	70	100
9,50	57,74	50	80
4,75	24,96	15	30
2,36	15,46	10	22
0,60	8,53	6	13
0,08	3,30	3	6

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla resumen se puede apreciar que todas nuestras granulometrías se encuentran dentro de nuestras fajas límites que nos establece el Huso P.A.12

3.2.7 Desgaste de los Ángeles

El agregado pétreo está sujeto a un desgaste por abrasión durante la colocación y compactación de la mezcla asfáltica para la pavimentación, el agregado sufre también la abrasión debido a las cargas de tránsito. El desgaste de los Ángeles mide la resistencia al uso o abrasión del agregado mineral; para este ensayo se utiliza un tambor de la máquina de desgaste, el cual es cargado con un peso determinado de partículas de agregado grueso; además se coloca en el tambor un peso normalizado de esperas de acero como carga abrasiva, se hace girar el tambor 500 vueltas y luego se retira el material, se separa el material final de la muestra por una malla de tamaño N° 12 (1,70 mm). Se calcula la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra con un porcentaje del peso original del material. Este valor se registra como el porcentaje de desgaste. Observando estas fotografías se puede apreciar el desgaste que sufre los agregados dentro de la máquina.

Para el ensayo se procedió a usar tres tipos de gradación Tipo A, B y C, debido a que se trata de una mezcla drenante y tiene que soportar más la abrasión al contacto con las ruedas de los vehículos, y los agregados con el cual está conformado la mezcla drenante sufren más las inclemencias del tiempo que una mezcla densa normal.

La gradación tipo A y B, se la realizó para la grava, mientras que la gradación tipo C, se la realizó para la gravilla

Para tener un valor aproximado del desgaste se procedió a usar tres muestras para cada gradación y así calcular un estimado medio del desgaste producido que se puede ocasionar.

Fig. 3.6.a Máquina de desgaste de los Ángeles



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

Fig. 3.6.b Colocación de las muestras en la máquina de desgaste



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

Fig. 3.6.c Tamizado de las muestras por la malla N°12



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

Fig. 3.6.d Lavado de las muestras después del tamizado



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

Fig. 3.6.e Pesado de las muestras después del secado en el horno



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

CÁLCULOS:

Para realizar los cálculos se procedió a hacer un pesaje de las muestras antes y después del ensayo, cada una tenía un total de 5000 gr. Que se puede apreciar en la siguiente formula y tablas de resultados. Para un mayor detalle revisar los anexos al final.

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Donde:

P_i = Peso inicial de la muestra antes del ensayo

P_f = Peso final de la muestra después del ensayo

Gradación tipo A, N° de esferas: 12**Tabla 3.8.a Gradación tipo A, N° de esferas: 12**

Datos de laboratorio		
Gradación A		
Pasa tamiz	Retenido tamiz	Peso retenido
1½ "	1"	1250
1"	¾"	1250
¾"	½"	1250
½"	⅜"	1250

Fuente: Elaboración propia

Muestra 1

Gradación	Peso inicial	Peso final	% De desgaste	Especificación ASTM
A	5000,00	3617,80	27,64	35% Máx

Muestra 2

Gradación	Peso inicial	Peso final	% De desgaste	Especificación ASTM
A	5000,00	3610,30	27,79	35% Máx

Muestra 3

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
A	5000,00	3612,80	27,74	35% Máx

Se puede apreciar que todos los desgastes de la muestra con gradación Tipo A, son menores que el rango máximo que nos da la norma. No sobrepasa el 35 %.

Gradación tipo B, N° de esferas: 11**Tabla 3.8.b Gradación tipo B, N° de esferas: 11**

Datos de laboratorio		
Gradación B		
Pasa tamiz	Retenido tamiz	Peso retenido
3/4"	1/2"	2500,00
1/2"	3/8"	2500,00

Fuente: Elaboración propia

Muestra 1

Gradación	Peso inicial	Peso final	% De desgaste	Especificación ASTM
B	5000,00	3668,40	26,63	35% Máx.

Muestra 2

Gradación	Peso inicial	Peso final	% De desgaste	Especificación ASTM
B	5000,00	3672,40	26,55	35% Máx.

Muestra 3

Gradación	Peso inicial	Peso final	% De desgaste	Especificación ASTM
B	5000,00	3670,30	26,59	35% Máx.

Se puede apreciar que todos los desgastes de la muestra con gradación Tipo B, son menores que el rango máximo que nos da la norma. No sobrepasa el 35 %.

Gradación tipo C, N° de esferas: 8

Tabla 3.8.c Gradación tipo C, N° de esferas: 8

Datos de laboratorio		
Gradación C		
Pasa tamiz	Retenido tamiz	Peso retenido
3/8"	1/4"	2500,00
1/4"	N°4	2500,00

Fuente: Elaboración propia

Muestra 1

Gradación	Peso inicial	Peso final	% De desgaste	Especificación ASTM
C	5000,00	3698,30	26,03	35% Máx.

Muestra 2

Gradación	Peso inicial	Peso final	% De desgaste	Especificación ASTM
C	5000,00	3693,80	26,12	35% Máx.

Muestra 3

Gradación	Peso inicial	Peso final	% De desgaste	Especificación ASTM
C	5000,00	3703,30	25,93	35% Máx.

Se puede apreciar que todos los desgastes de la muestra con gradación Tipo C, son menores que el rango máximo que nos da la norma. No sobrepasa el 35 %.

Al analizar todas las gradaciones y las pérdidas de material que se obtuvieron, podemos llegar a la conclusión de son de buena calidad y no presentaran riesgos de disgregación y fallas de resquebrajamiento, desgaste a la intemperie.

3.2.8 Ensayo de equivalente de arena ASTM D-2419

Este ensayo produce como resultado un valor empírico de la cantidad relativa, finura y carácter del material arcilloso presente en la muestra de suelo o agregado fino.

Se puede especificar un valor mínimo de equivalente de arena, arcilloso en un agregado.

Este método de ensayo permite determinar rápidamente en el campo, variaciones de calidad de los agregados durante la producción o la colocación.

Se procedió a preparar una solución de resina y otros compuestos, los mismos en proporción a lo que se pretende utilizar.

Se hecho la muestra de arena en las probetas, se la mezclo con la resina gradualmente batiéndolo hasta que no quede partículas pegadas o secas.

Después se las llenó las tres muestras con la preparación hasta la marca máxima mezclándolos con movimientos horizontales.

Se dejó reposar las muestras por unos 20 min. Y posteriormente se midió la marca entre arena y arcilla que tenía cada muestra con una regla. Con este procedimiento se determina el equivalente de arena.

Fig. 3.7 Ensayo de equivalente de arena



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

CÁLCULOS:

$$E. A. = \frac{H_1}{H_2} * 100$$

Dónde: E.A= Equivalente de arena (%)

H₁= Lectura inferior

H₂= Lectura superior

Tabla 3.9 Cálculo del equivalente de arena

N° de muestra	H ₁	H ₂	Equivalente de arena (%)
	(cm)	(cm)	
1	9,30	10,60	87,74
2	10,60	12,10	87,60
3	8,80	10,00	88,00
		Promedio	87,78

Equivalente de arena (%)	Norma
87,78	> 50%

Fuente: Elaboración propia

Según los cálculos realizados el equivalente de arena determinado está dentro del rango establecido por la Norma AASTHO, que exige un valor mayor a 50%. El determinado promedio nos da un **87,78 %**.

3.2.9 Ensayo del índice de lajas

Este ensayo es uno visual igual que el de caras fracturadas, aquí se separa y pesa los porcentajes de laja que puede tener los agregados gruesos, según el tamaño del tamiz se debe tener ciertos pesos iniciales.

Después de eso se separa las partículas planas y alargadas de la muestra, la cual representa el porcentaje de lajocidad que tienen los agregados.

Primero se procede a tamizar las muestras, después se tiene unos pesos iniciales, se separa las partículas planas y alargadas, se calcula el porcentaje, se las suma y tenemos el total.

Fig. 3.8 Agregado grueso para el ensayo de índice de lajas



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

CÁLCULOS:

Se utilizó tres muestras para realizar el ensayo y hacer los posteriores pesajes y cálculos.

Según la norma establecida la cantidad o porcentaje de lajas tiene que ser menor a un 25 %, de caso contrario se debe cambiar la procedencia del agregado. Ya que esta variación afecta considerablemente a la mezcla debilitándola en su estabilidad y resistencia, volviéndola más susceptible a fallas.

Los cálculos se espesan en la siguiente tabla en donde se apreciaran los porcentajes calculados para cada muestra y finalmente se sacara un valor medio representativo del material a usar en la dosificación de la mezcla asfáltica drenante.

Tabla 3.10 Ensayo de indice de lajas

Origen: Chancadora de San Mateo				Muestra: N°1			
Tamices		Granulometria retenido parcial		Peso del material de ensayo	Peso de planas y alargadas	% De planas y alargadas	Porcentaje corregido(%)
Pulg.	mm.	Kg.	%	gr.	gr.	%	%
1"	38,10	0,00	0,00	2000,00	220,00	11,00	2,36
3/4"	19,10	2,15	21,45	700,00	88,00	12,57	5,19
1/2"	12,70	4,13	41,30	300,00	26,00	8,67	0,97
3/8"	9,52	1,12	11,21	250,00	16,00	6,40	1,31
N°4	4,76	2,05	20,52				
Base		0,55	5,52				
Porcentaje total de placas planas y alargadas							9,84
				Muestra: N°2			
Tamices		Granulometria retenido parcial		Peso del material de ensayo	Peso de planas y alargadas	% De planas y alargadas	Porcentaje corregido(%)
Pulg.	mm.	Kg.	%	gr.	gr.	%	%
1"	38,10	0,00	0,00	2000,00	180,00	9,00	1,82
3/4"	19,10	2,02	20,20	700,00	80,00	11,43	4,74
1/2"	12,70	4,15	41,49	300,00	26,00	8,67	1,16
3/8"	9,52	1,33	13,34	250,00	23,00	9,20	1,74
N°4	4,76	1,89	18,94				
Base		0,60	6,03				
Porcentaje total de placas planas y alargadas							9,46
				Muestra: N°3			
Tamices		Granulometria retenido parcial		Peso del material de ensayo	Peso de planas y alargadas	% De planas y alargadas	Porcentaje corregido(%)
Pulg.	mm.	Kg.	%	gr.	gr.	%	%
1"	38,10	0,00	0,00	2000,00	200,00	10,00	2,30
3/4"	19,10	2,30	23,01	700,00	72,00	10,29	3,91
1/2"	12,70	3,81	38,05	300,00	30,00	10,00	1,31
3/8"	9,52	1,31	13,05	250,00	22,00	8,80	1,78
N°4	4,76	2,02	20,18				
Base		0,57	5,71				
Porcentaje total de placas planas y alargadas							9,30
Porcentaje promedio de placas planas y alargadas (%)							9,53

Fuente: Elaboración propia

3.2.10 Ensayo de Límites de Atterberg

Este ensayo es prácticamente protocolar, debido a que se está trabajando con agregados pétreos, los cuales no tienen o no presentan límites, tales con límite líquido, límite plástico o índice de plasticidad.

Esta propiedad solo se presenta en materiales que tiene alto contenido de arcillas, como suelos de origen coluvial o arcillas puras.

CÁLCULOS:

Tabla 3.11 Límites de Atterberg

N° Tara	Peso agregado húmedo + tara	Peso agregado seco + tara	Peso agua	Peso tara	Peso suelo Seco	% De humedad	N° De golpes
22	30,58	27,74	2,84	15,29	12,45	22,81	3
8	28,33	26,10	2,23	15,22	10,88	20,50	7

Fuente: Elaboración propia

OBSERVACIONES:

Límite Líquido	N.P.	Límite plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0
----------------	------	-----------------	------	-----------------------	---

Como se puede apreciar en los cálculos, la arena este caso el material sometido a este ensayo, no presenta ningún límite, debido a que no existe cohesión entre sus partículas.

3.2.11 Cuadro resumen de los ensayos de la caracterización de los agregados pétreos

Tabla 3.12 Cuadro resumen caracterización agregados pétreos

Numero	Ensayo	Unidad	Resultado	Especificación
1(3)	Peso específico grava	gr/cm ³	2,59	2,30 a 2,90
2(3)	Peso específico gravilla	gr/cm ³	2,61	2,30 a 2,90
3(3)	Peso específico arena	gr/cm ³	2,92	2,35 a 3,15
4(1)	Durabilidad a sulfatos			
	- grava	%	2,12	12 Max
	- gravilla	%	1,95	12 Max
	- arena	%	1,24	12 Max
5(3)	Caras fracturadas	%	89,78	> 75
6(3)	Desgaste de los Ángeles			
	Gradación Tipo A	%	27,72	35 Max
	Gradación Tipo B	%	26,59	35 Max
	Gradación Tipo C	%	26,03	35 Max
7(3)	Equivalente de arena	%	87,78	> 50
8(3)	Indice de lasjas	%	9,53	20 Max
9(1)	Limites			
	Limite liquido	0	N.P	N.P.
	Limite plástico	0	N.P	N.P.
	Indice de plasticidad	0	N.P	N.P.

Fuente: Elaboración propia

Según el cuadro elaborado, todos los ensayos cumplen con la Norma AASTHO, por lo tanto son materiales idóneos para la realización de la mezcla asfáltica drenante.

Todos los parámetros son cumplidos, eso nos dice que los materiales son de buena calidad y no presentaran problemas en el ámbito de los áridos.

3.3 CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO

Ensayos característicos:

El cemento asfáltico utilizado para la dosificación de la mezcla asfáltica, es un tipo 85/100 Betunel.

El mismo tiene sus propiedades características según fabricación y empleo que se lo dé, los ensayos realizados en laboratorio son los siguientes:

3.3.1 Ensayo de Ductilidad

Este ensayo se encarga de medir cuan dúctil es el cemento asfáltico a temperatura ambiente de 25°C, el mismo tiene que sobrepasar la distancia de 100 cm. en el ductilímetro.

Fig. 3.9.a Vaselina liquida y talco para untar los moldes



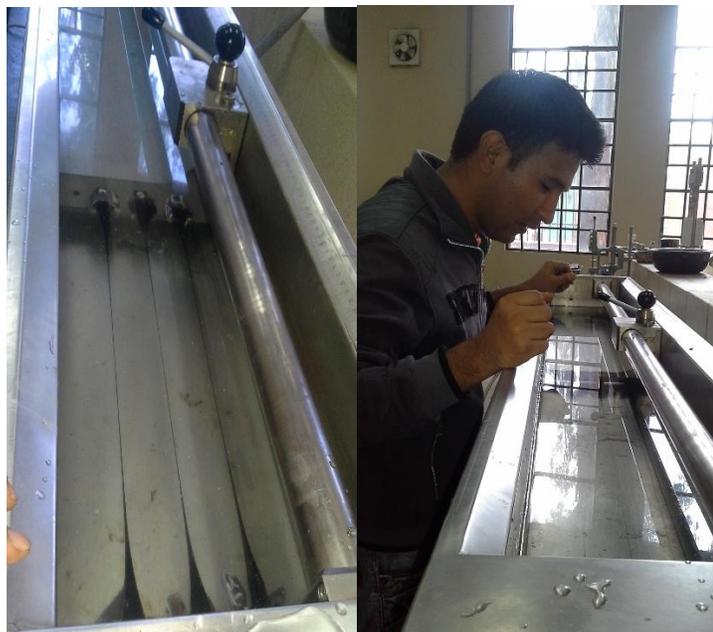
Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Fig. 3.9.b Vaciado del cemento asfáltico en los moldes



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Fig. 3.9.c Medida de las muestras en el ductilímetro



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

CÁLCULOS:

Se puede apreciar las lecturas que se realizaron y todas sobrepasan la longitud mínima, establecida por norma. Por lo tanto se puede afirmar que el cemento asfalto cumple con esa calidad

Lectura mínima = 100 cm.

Lectura promedio = 117 cm.

L1 = 115 cm.

L2 = 120 cm.

L3 = 116 cm.

Tabla 3.13 Ensayo de ductilidad

Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm.	115	120	116	117	>100	-
----------------------------------	-----	-----	-----	-----	------------	------	---

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Ensayo de punto de ablandamiento

Este ensayo verifica a que temperatura el cemento asfáltico comienza a fluir y cambia de estado de sólido a fluido.

Fig. 3.10.a Equipo de Baño María a temperatura de 5°C



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Fig. 3.10.b Pequeños moldes para verter el cemento asfáltico



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Fig. 3.10.c Control de temperatura del punto de ablandamiento



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Fig. 3.10.d Cemento asfáltico fluyendo a incremento de temperatura



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

CÁLCULOS:

Tabla 3.14 Ensayo de punto de ablandamiento

Nombre del ensayo	Unidad	T1	T2	T3	Promedio	T mínima	T máxima
Punto de ablandamiento	°C	44,00	47,00	43,00	45,00	42,00	53,00

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que también al realizar el ensayo cumple con las normas y rangos establecidos por el Instituto del Asfalto. Obteniéndose una temperatura media de 45°C, que está dentro del rango.

Para esta práctica se realizaron tres ensayos y de esas medidas media se obtuvo un valor estimado.

3.3.3 Ensayo de penetración

Este ensayo mide el rango al cual puede penetrar una aguja, si esta muestra es calentada, se verifica la consistencia del cemento asfáltico mediante este método.

Fig. 3.11.a Vertido del cemento asfáltico en las taras



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Fig. 3.11.b Colocado de las muestras en Baño María durante 30 min.



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Fig. 3.11.c Medición de la penetración del cemento asfáltico



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

CÁLCULOS:

Tabla 3.15 Ensayo de penetración

Punto de Penetración	Unidad	Lec.1	Lec.2	Lec.3	Media	Min.	Max.
Lectura N°1		96,00	90,00	95,00			
Lectura N°2		94,00	93,00	95,00			
Lectura N°3		91,00	97,00	92,00			
Promedio	mm.	94,00	93,00	94,00	94,00	85,00	100,00

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica de cálculo se puede apreciar que las medidas y lecturas del ensayo, también cumplen con los parámetros según el tipo de cemento asfáltico.

Obteniendo una lectura media de nuestros datos de 94 mm. Próxima a los 100 mm, pero aceptable.

3.3.4 Ensayo de peso específico

Este ensayo es de vital importancia debido a que es un valor directo utilizado en el cálculo Marshall.

CÁLCULOS:

Tabla 3.16 Ensayo de peso específico

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Peso Picnómetro	grs.	33,70	34,10	34,00			
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	grs.	78,52	79,20	79,50			
Peso Picnómetro + Muestra	grs.	55,91	55,00	55,90			
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	grs.	78,84	79,90	80,30			
Peso específico	grs./cm ³	1,01	1,04	1,04	1,03	1,00	1,05

Fuente: Elaboración propia

El peso específico medio calculado es de 1,03 gr/cm³. Lo cual se encuentra también dentro de los rangos establecidos por nomas.

3.3.5 Ensayo de punto de inflamación

Este ensayo, nos determina la temperatura a la cual se combustiona e inflama el cemento asfáltico, la cual no debe exceder en el momento de preparación de la mezcla asfáltica.

Fig. 3.12.a Vaciado del cemento asfáltico en la copa de Cleveland



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Fig. 3.12.b Control de la temperatura en la copa de Cleveland



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Fig. 3.12.c Punto de inflamación en la copa de Cleveland



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

CÁLCULOS:

Tabla 3.17 Ensayo punto de inflamación

Ensayo	Unidad	T°1	T°2	T°3	T ° Media	T ° Mín.	T ° Máx
Punto de inflamación AASHTO T-48	°C	>280	>290	>295	>288	>232	-

Fuente: Elaboración propia

Según las medidas tomadas nuestros valores están dentro del rango establecido, obteniéndose una temperatura media de flama de 288 ° C. Para el caso del cemento asfáltico modificado, se procedió a realizar los mismos ensayos.

Pero con la particularidad que se fue variando el porcentaje de PVC, entrante en la mezcla. Empezando desde un 1% y llegando al 5% del total de cemento analizado.

Las 5 proporciones medidas de PVC añadida al cemento asfáltico genero valores muy interesantes, los mismos que se encuentran plasmados en el ANEXO 2, de mezclas asfálticas modificadas con polímero, en este caso un plastómero como el PVC.

3.4 ADICIÓN DEL PVC EN EL CEMENTO ASFÁLTICO

Después de realizado la caracterización del cemento asfáltico 85/100 Betunel, calculando sus parámetros de fluencia, punto de inflamación, peso específico, ductilidad, punto de ablandamiento, penetración, etc.

Se procedió también a realizar la caracterización del cemento asfáltico modificado, pero esta vez con la adición del PVC, en 5 porcentajes desde 1 al 5 % dentro del cemento asfáltico realizando unos cálculos para medir en peso cuanto se agregara según la cantidad de cemento asfáltico que se tiene.

En las siguientes figuras se apreciara la incorporación del PVC en el cemento asfáltico.

Fig. 3.13 PVC en granel



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Fig. 3.14 Incorporación del PVC al cemento asfáltico



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Fig.3.15 Mezclado del PVC con el cemento asfáltico por dilución en la hornalla



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Después de haber mezclado el PVC con el cemento asfáltico mediante dilución del mismo a temperatura constante en una hornalla, con los diferentes porcentajes con el que se trabajó, se procedió a realizar el mezclado con los agregados pétreos para así conformar la mezcla asfáltica porosa modificada. Lo cual se aprecia en las siguientes figuras.

Fig. 3.16 Mezclado del cemento asfáltico modificado con los agregados



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Mezclado los agregados con el cemento asfáltico modificado, se realizo el compactado en los moldes para conformar las briquetas, de esta misma forma con los 5 porcentajes de PVC a trabajar en la mezcla.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE LA MEZCLA DRENANTE

4.1 DISEÑO Y DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DRENANTES (MARSHALL)

Para el diseño de la mezcla asfáltica drenante se utilizó una especificación española P.A.12 la cual contempla la granulometría a usar y los rangos a la cual tiene que estar la granulometría conformada.

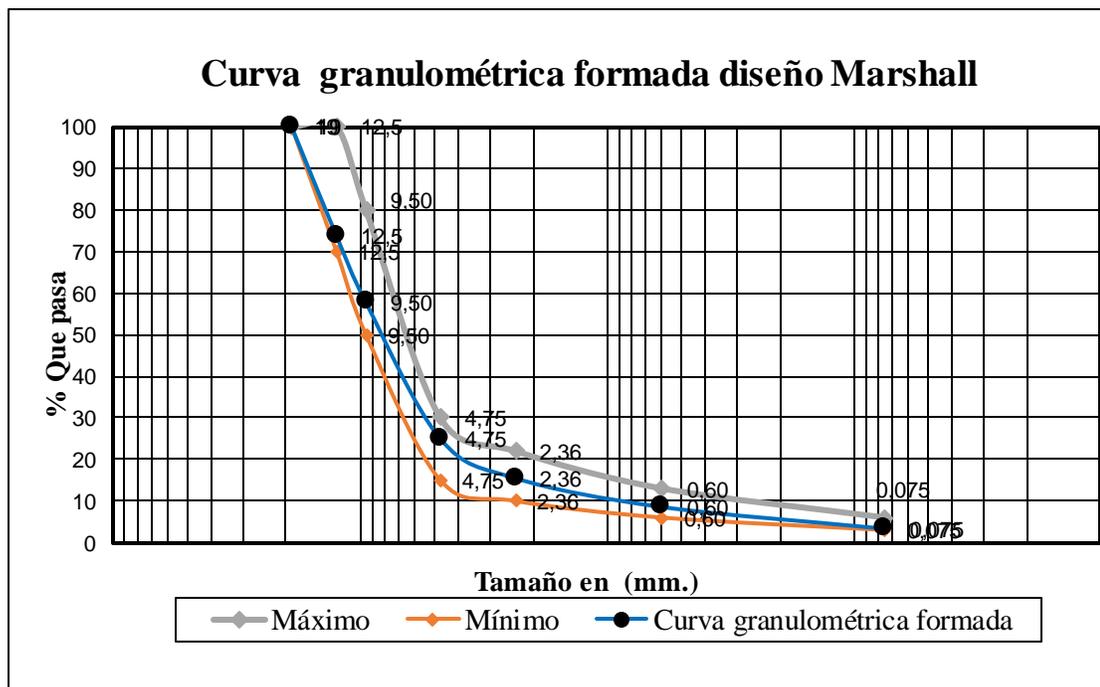
En la siguiente tabla se observa los porcentajes dados a los diferentes agregados en proporción para que estén dentro del rango de las fajas granulométricas que nos especifica la norma del HUSO P.A.12.

Tabla 4.1 Porcentaje de agregado según las fajas granulométricas

Tamaño Tamiz	% Pasa de la muestra	Mínimo	Máximo
19,00	100,00	100	100
12,50	73,74	70	100
9,50	57,74	50	80
4,75	24,96	15	30
2,36	15,46	10	22
0,60	8,53	6	13
0,08	3,30	3	6

Fuente: Norma española huso P.A.12

Gráfico 4.1 Curva granulométrica diseño Marshall



Fuente: Elaboración propia

Para realizar las mezclas de diseño se optó por trabajar con un peso total combinado tanto agregados como cemento asfáltico de 1200 gr.

Los cuales fueron pesados en función del cambio de porcentaje de cemento asfáltico que entrara para hacer las briquetas.

Se trabajó con 5 porcentajes, para encontrar la densidad máxima y el porcentaje óptimo de cemento asfáltico. Empezando con un 3 % hasta llegar a un 5%. De contenido de asfalto para las briquetas.

A continuación se hará un breve repaso a la preparación de una mezcla asfáltica drenante.

Primeramente se tuvo que calcular en función al porcentaje del cemento asfáltico, las medidas de los agregados.

En las siguientes tablas se puede apreciar el cálculo para obtener los pesajes de los agregados variando la cantidad de cemento asfáltico.

Tabla 4.2 Dosificación del contenido de asfalto y agregados para las briquetas

Peso Total de Briqueta (gr)	1200,00
Ponderación de Grava	0,35
Ponderación de Gravilla	0,45
Ponderación de Arena	0,20

	Porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla				
	3,00%	3,50%	4,00%	4,50%	5,00%
Porcentaje de Agregado (%)	97,00%	96,50%	96,00%	95,50%	95,00%
Peso del Cemento Afáltico (gr)	36,00	42,00	48,00	54,00	60,00
Peso de Grava (gr)	407,40	405,30	403,20	401,10	399,00
Peso de Gravilla (gr)	523,80	521,10	518,40	515,70	513,00
Peso de Arena (gr)	232,80	231,60	230,40	229,20	228,00
Peso total de la briketa (gr)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00
Peso agregado total (gr)	1164,00	1158,00	1152,00	1146,00	1140,00

Fuente: Elaboración propia

4.2 PROCEDIMIENTO DE LA REALIZACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA DRENANTE DE DISEÑO

Calculado los porcentajes con los que se trabajó, se empezó a pesar las muestras de grava, gravilla y arena que entraran para cada briketa de diseño.

Fig. 4.1 Pesaje de los agregados para las briquetas



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Fig. 4.2 Vertido del cemento asfáltico para las briquetas



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Fig. 4.3 Mezclado del cemento asfáltico y agregados en la hornalla



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Fig. 4.4 Medición de la temperatura de mezclado



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Fig. 4.5 Vaciado de la mezcla en los moldes para ser compactados



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Fig. 4.6 Compactado de la mezcla en los moldes, 50 golpes por lado



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Después de haber realizado las briquetas con los 5 porcentajes de cemento asfáltico, desmoldadas y enfriadas.

Se procedió a pesarlas en el aire y medir sus dimensiones, diámetros y alturas.

Fig. 4.7 Dimensionamiento de las briquetas



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

Fig. 4.8 Pesaje de las briquetas



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

Después de eso se procedió a medir el peso específico de las briquetas, las mismas que entrarían a correr en la prensa Marshall, con los diferentes porcentajes de cemento asfáltico. Tres briquetas de cada porcentaje para así determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico.

Fig. 4.9 Pesaje de las briquetas sumergidas en agua



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

Fig. 4.10 Briquetas sumergidas para medir su cantidad de vacíos



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

Fig. 4.11 Pesaje de las briquetas saturadas con superficie seca



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

Después de haber determinado el peso específico de las briquetas, se procedió a llevarlas a la correr en la prensa Marshall. Ya que se contaba con todos los datos suficientes con pesos en el aire pesos saturados y sus dimensiones.

La rotura de las briquetas de diseño se las realizo en un laboratorio privado, debido a que la prensa del laboratorio de asfaltos se encontraba con fallas y deshuso.se procedió a llevar las muestras a la empresa consultora S.A.H. Suelos Asfaltos y Hormigones.

4.3 ROTURA DE LAS BRIQUETAS DE DISEÑO

La rotura de las briquetas lleva un proceso, este tiene que ser supervisado y cumplir con todos los estándares que la normativa AASTHO exige en las mezclas asfálticas.

Las mediciones que la prensa da son lecturas de fluencia y lecturas de estabilidad, ambas tienen que ser recalibradas con el factor del equipo, que viene de fabricación, para que nos salgan valores idóneos.

Fig. 4.12 Briquetas a correr en la prensa Marshall



Fuente: Laboratorio de la empresa C.A.H

Fig. 4.13 Briquetas en Baño María por lapso de 30 min a temperatura de 60°C



Fuente: Laboratorio de la empresa C.A.H

Fig. 4.14 Rotura de briquetas en la prensa Marshall



Fuente: Laboratorio de la empresa C.A.H

Fig. 4.15 Briquetas después de correr en la prensa Marshall



Fuente: Laboratorio de la empresa C.A.H

Después de haber realizado todos los ensayos pertinentes como de caracterización, tanto de agregados pétreos y del cemento asfáltico 85/100.

Llevarlas a correr a la prensa Marshall tres muestras de cada porcentaje, también se realizó otros ensayos que son de vital importancia cuando se habla de mezclas drenantes; como ser el ensayo de Cántabro en seco y el de permeabilidad (permeámetro LCS de carga variable)

En la siguiente gráfica se podrá apreciar los valores determinados de la rotura de las briquetas de diseño y de cómo se determinó el contenido óptimo de cemento asfáltico.

A partir de ese parámetro se empezó a calcular recién lo que son las mezclas modificadas con PVC, y los diferentes porcentajes con el que se trabajó para poder mejorar la eficiencia del drenaje en las mezclas asfálticas

En los siguientes cuadros se podrá apreciar y comparar a partir de la dosificación de diseño y la modificada con PVC, la segunda dosificada a partir de encontrar el óptimo en las de diseño.

Con los datos de estabilidad y fluencia y las relaciones que nos votan las gráficas, se determinó el contenido óptimo de cemento asfáltico

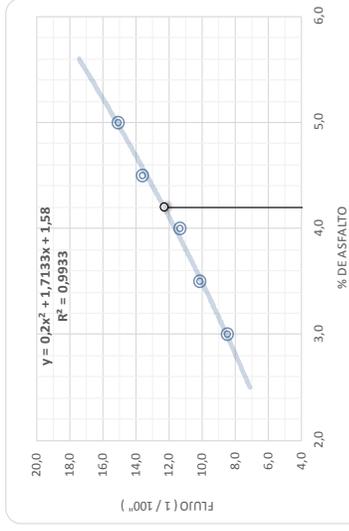
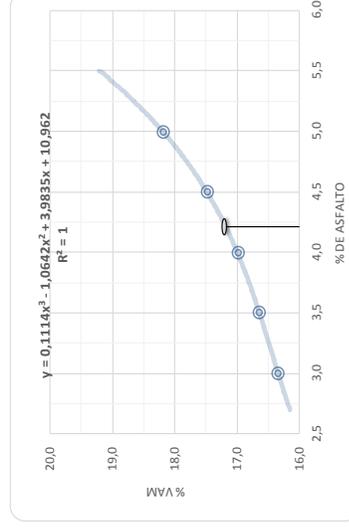
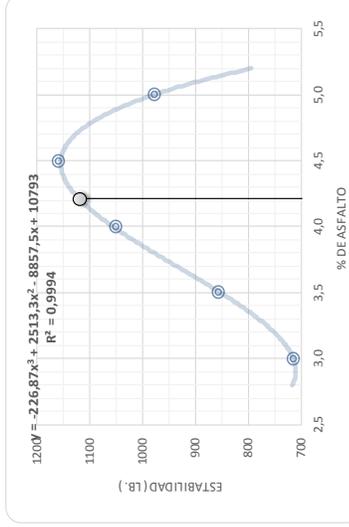
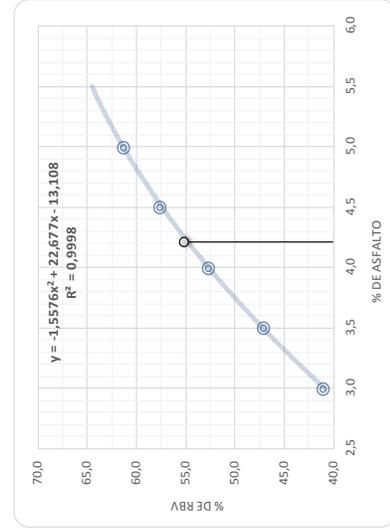
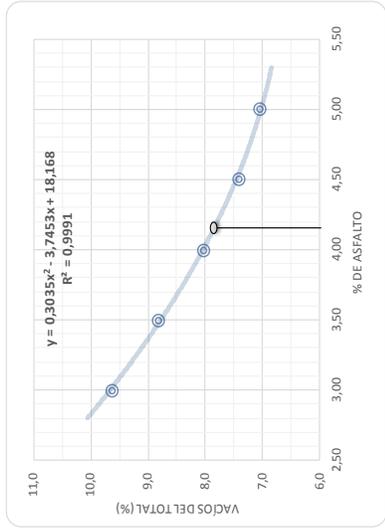
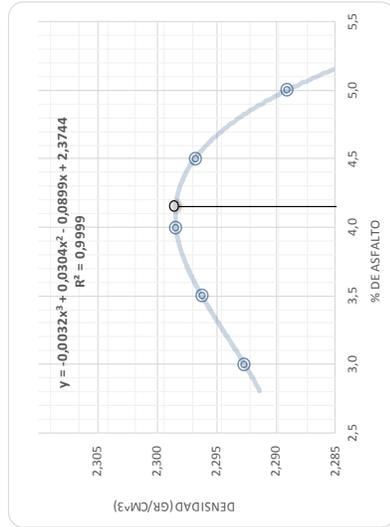
El contenido óptimo de cemento asfáltico según los cálculos y estimaciones es de 4,02%, a partir de ese dato y valor se procedió a diseñar una mezcla asfáltica modificada con PVC.

NOTA

En la segunda tabla Marshall se calculó con el óptimo la mezcla modificada usando 5 porcentajes de PVC en el cemento asfáltico.

GRAFICOS DE ENSAYOS MARSHALL // CEMENTO ASFALTICO

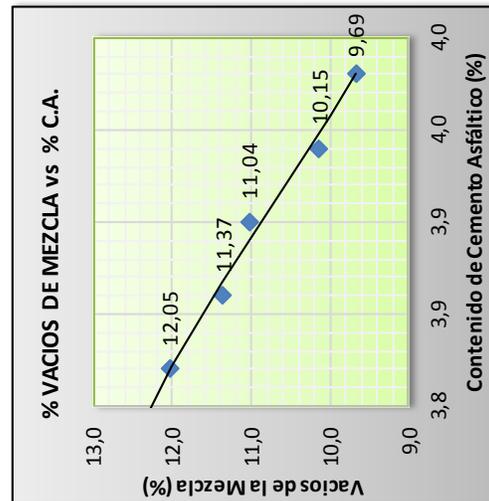
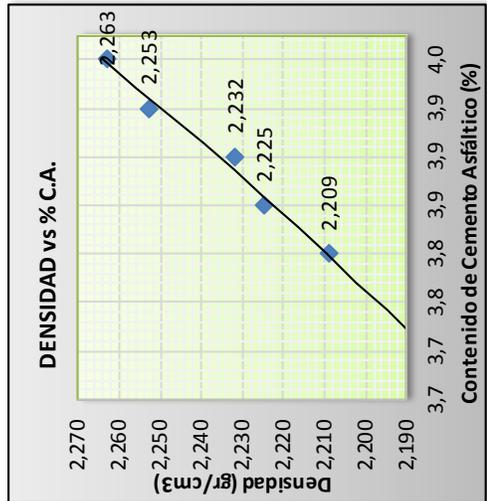
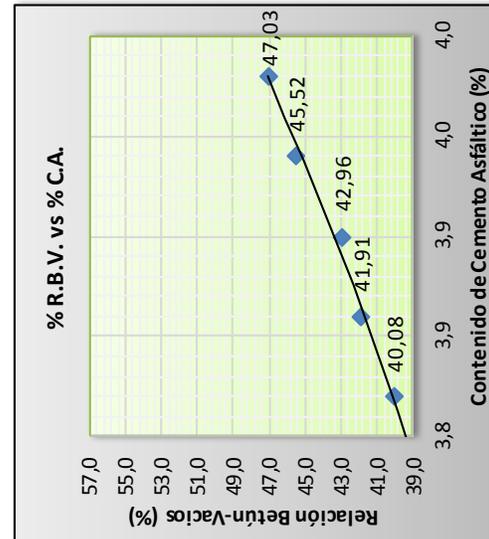
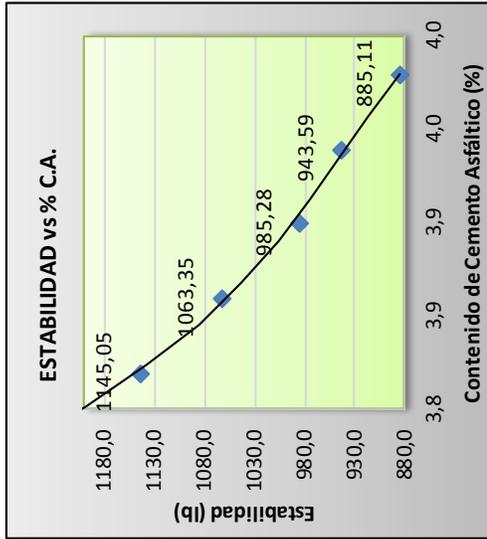
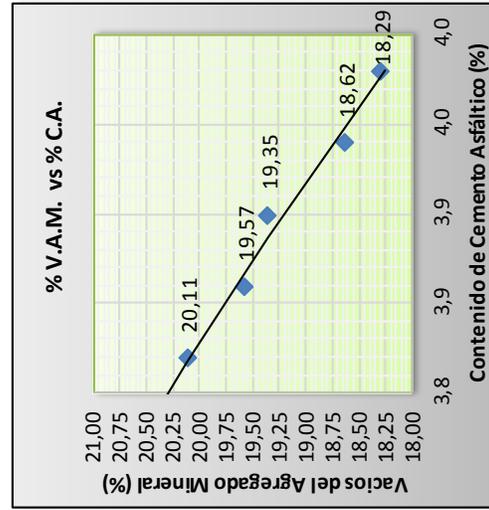
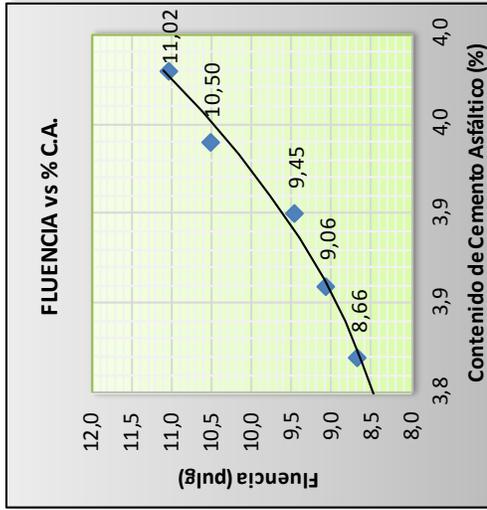
REGISTRO: **DISENO - MRSH - 1**



VALORES			
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRAFICOS	ESPECIFICACIONES TECNICAS
DENSIDAD	4.02	2.298	*****
% VACIOS	4.02	7.8	7
R.B.V.	4.02	54.9	30
V.A.M.	4.02	17.2	55
ESTABILIDAD (LB)	4.02	1110.9	800-1300 Lb. (60 Colaps)
FLUENCIA 1/100"	4.02	12.1	8
FLUENCIA 1/100"	4.02	12.1	8
PROMEDIO (%)	4.02		

Determinación del contenido Óptimo de Asfalto Promedio de las Grafías

OBSERVACIONES	
GRAVA 3/4"	403.12
GRAVILLA 3/8"	518.29
ARENA CHANCADA	230.35
MEZCLA BITUMINOSA TOTAL	
% ASF. OTP.	4.02
TOTAL	1151.76



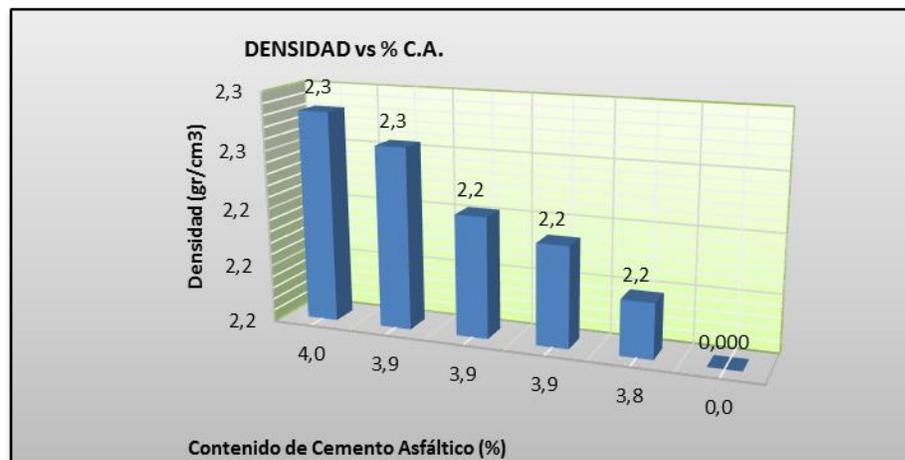
4.4 ANÁLISIS DE LA MEZCLA DRENANTE NORMAL Y LA MODIFICADA

Una de los resultados particulares que se generó es que el PVC, en cierto tiempo mejoro la resistencia y estabilidad de una mezcla drenante normal. Se ha reducido la fluencia y el comportamiento si hizo lineal con relación a las de diseño.

Por ejemplo si ahora se tiene mayor cantidad de PVC en la mezcla asfáltica, esto influye a que disminuya la fluencia y aumente la estabilidad.

En los siguientes esquemas se pueda apreciar de como el PVC influye notoriamente en el comportamiento de la mezcla asfáltica drenante.

Gráfico 4.2 Densidad vs. Contenido de cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

En esta grafica se puede apreciar que es prácticamente lineal a mayor contenido de asfalto mayor será la densidad. Se puede ver claramente en los porcentajes usados.

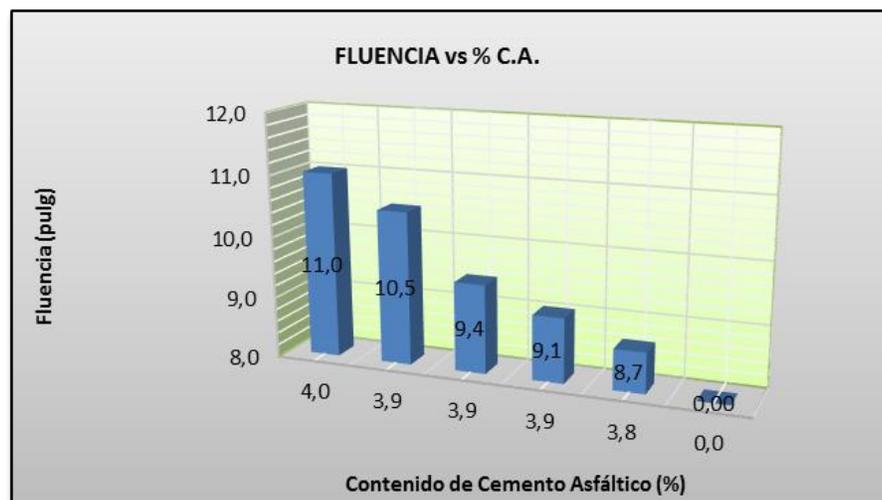
Gráfico 4.3 Estabilidad vs. Contenido de cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

En la segunda grafica se puede apreciar que a mayor contenido se cemento asfáltico, disminuye la estabilidad. Esto significa que empezará a fallar rápidamente al aumentar la fluencia.

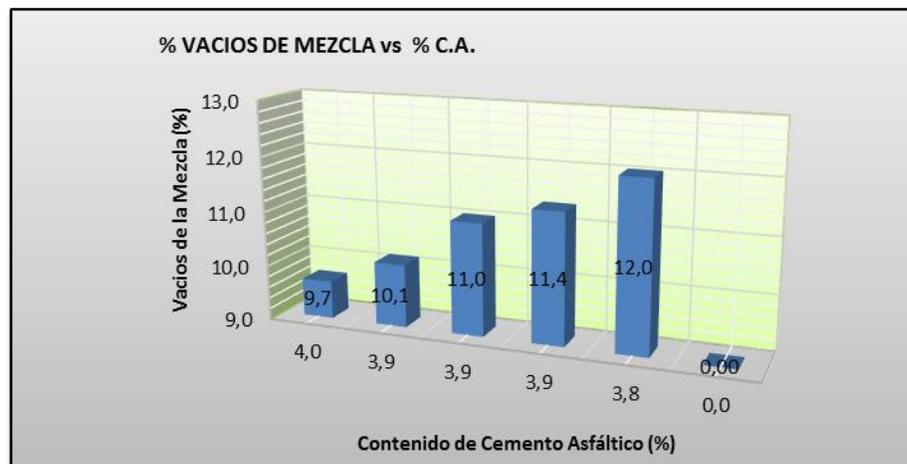
Gráfico 4.4 Fluencia vs. Contenido de cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

La fluencia también tiene un comportamiento lineal, que a mayor contenido de asfalto, mayor también será la fluencia, pero esta vez disminuyó considerablemente la fluencia en comparación a las mezclas de diseño.

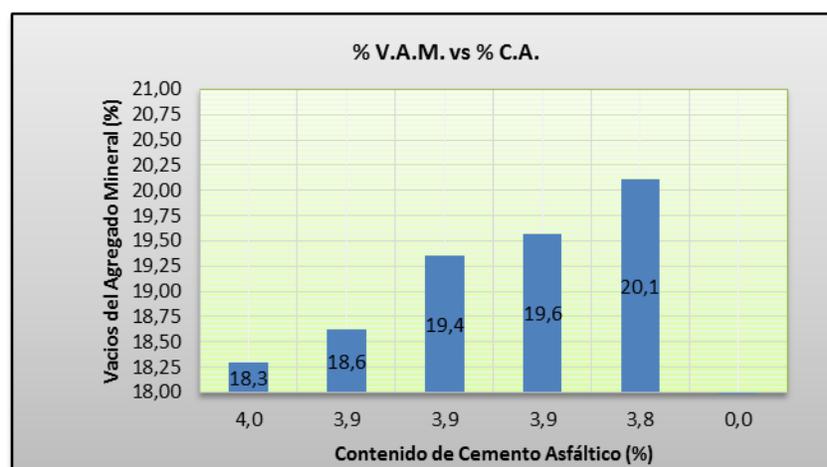
Gráfico 4.5 Porcentaje de vacíos vs. Contenido de cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se aprecia que a mayor cantidad de cemento asfáltico, menor será la proporción de vacíos

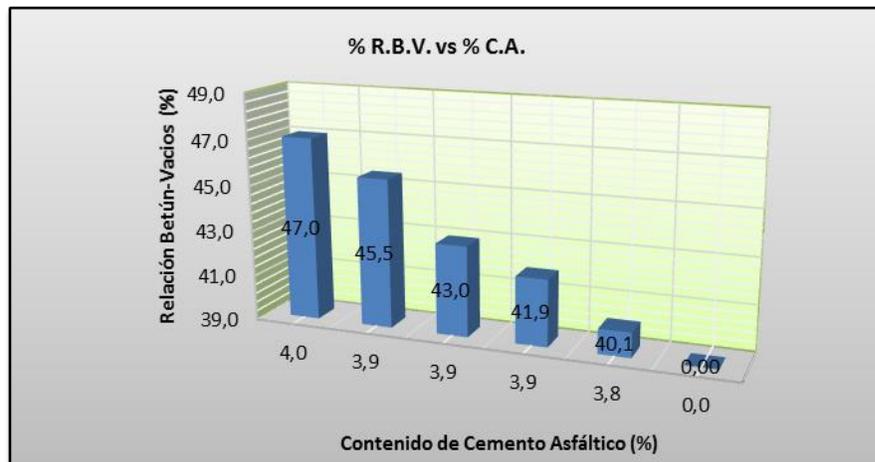
Gráfico 4.6 Porcentaje de vacíos del agregado vs. C.A.



Fuente: Elaboración propia

Si el contenido de cemento asfáltico aumenta, menor será los vacíos de agregado.

Gráfico 4.7 Porcentaje de relación de betún-vacíos vs. C.A.



Fuente: Elaboración propia

Si el contenido de cemento asfáltico aumenta, la relación de bitumen vacío aumenta significativamente.

Se analizó estas 6 graficas minuciosamente, se llegó a la conclusión de que el contenido de asfalto es muy influenciado en cada una de sus propiedades y más aún con la adición del PVC, dentro del ligante. Afectando directamente en su composición y modificando todas las propiedades que actúan.

4.5 ENSAYO DE LA PERMEABILIDAD (Permeámetro LCS de carga variable)

El ensayo de permeabilidad es el más importante, debido a que se centra la investigación en este aspecto y su finalidad es encontrar el mejoramiento de la eficiencia del drenaje en las mezclas asfálticas, con la adición de PVC.

Analizando las propiedades hidráulicas que tiene las mezclas porosas y las características físicas de las mismas.

Se pretende mejorar la drenabilidad, disminuir el hidroneo de las movildades, buscando nuevas alternativas.

Teniendo ya dosificado nuestras briquetas de diseño con los respectivos porcentajes de cemento asfáltico, se procedió las mismas a llevarlas al ensayo de permeámetro de carga variable para ver el comportamiento de la drenabilidad en cada uno de las muestras.

Se midió los tiempos de evacuación del agua a través de las mezclas y considerando otros parámetros se determinó la permeabilidad la mezcla. A continuación se ilustrará el método y procedimiento realizado en el laboratorio.

Fig. 4.16 Colocado de plastilina al borde la briqueta



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Este material se utilizó a fin de evitar fugas de agua a través de las paredes, podría haber sido silicona, pero se optó por la plastilina por ser más fácil de manejar y limpiar al momento de realizar el ensayo. Se sella todo el contorno de la briqueta para que este bien sujeta al molde del permeámetro.

Fig. 4.17 Colocado de la briqueta en el molde del permeámetro



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Fig. 4.18 Instalación del permeámetro con la muestra



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Fig. 4.19 Asegurar el permeámetro con la muestra



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Se asegura el molde antes de realizar el ensayo para que no existan fugas de agua y el ensayo se proceda correctamente.

Fig. 4.20 Vertido de la carga de agua en el permeámetro



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Fig. 4.21 Volumen de agua filtrada a través de la muestra



Fuente: Laboratorio de Asfaltos UAJMS

Para realizar este ensayo se procedió a medir dos alturas de carga una inicial y la otra final, medir los tiempos que desciende la línea piezométrica desde un punto a otro, con las diferentes dosificaciones.

Realizar una comparación del fenómeno y como se va comportando el agua a través de la mezcla asfáltica.

Se tiene que tener cuidado en realizar esta práctica a temperaturas ambiente entre 20 a 25 °C porque este factor podría influir considerablemente en las propiedades hidráulicas de la mezcla cuando se realicen las lecturas.

CÁLCULOS:

A continuación se indicará el procedimiento de cálculo y su respectivo análisis realizado. Considerando los parámetros antes señalados y otras medidas adicionales que nos facilitarán el análisis.

Tabla 4.3 Ensayo de permeabilidad

Porcentaje de cemento asfáltico =3,00%					
N ° de briqueta	Altura briqueta(L) cm.	Tiempo de evacuación "t" (s)	Área muestra "A" (cm2)	Área bureta "a" (cm2)	Permeabilidad briqueta "K" (cm/s)
1	6,75	16,55	70,88	0,07	4,26E-05
2	6,76	17,12	70,88	0,07	4,13E-05
3	6,81	18,56	70,88	0,07	3,83E-05
	t promedio	17,41		K Promedio	4,07E-05

$$K = 2,303 * \frac{a * L}{A * \Delta t} * \log \frac{h_1}{h_2}$$

Donde:

Altura de carga inicial = $h_1 = 95,50$ cm.

Altura de carga final = $h_2 = 86,00$ cm.

Diámetro muestra= $D = 9,50$ cm.

Diámetro bureta = $d = 0,30$ cm.

Porcentaje de cemento asfáltico =3,50%					
N ° de briqueta	Altura briqueta(L) cm.	Tiempo de evacuación t (s)	Área muestra A (cm2)	Área bureta a (cm2)	Permeabilidad briqueta K (cm/s)
1	6,95	20,55	70,88	0,07	3,53E-05
2	6,98	22,19	70,88	0,07	3,29E-05
3	6,92	18,30	70,88	0,07	3,95E-05
	t promedio	20,35		K Promedio	3,59E-05

Porcentaje de cemento asfáltico =4,00%					
N ° de briqueta	Altura briqueta(L) cm.	Tiempo de evacuación t (s)	Área muestra A (cm2)	Área bureta a (cm2)	Permeabilidad briqueta K (cm/s)
1	6,82	22,3	70,88	0,07	3,20E-05
2	6,89	20,12	70,88	0,07	3,58E-05
3	6,83	24,04	70,88	0,07	2,97E-05
	t promedio	22,15		K Promedio	3,25E-05

Porcentaje de cemento asfáltico =4,50%					
N ° de briqueta	Altura briqueta(L) cm.	Tiempo de evacuación t (s)	Área muestra A (cm2)	Área bureta a (cm2)	Permeabilidad briqueta K (cm/s)
1	6,85	25,55	70,88	0,07	2,80E-05
2	6,88	26,45	70,88	0,07	2,72E-05
3	6,90	24,12	70,88	0,07	2,99E-05
t promedio		25,37		K Promedio	2,84E-05

Porcentaje de cemento asfáltico =5,00%					
N ° de briqueta	Altura briqueta(L) cm.	Tiempo de evacuación t (s)	Área muestra A (cm2)	Área bureta a (cm2)	Permeabilidad briqueta K (cm/s)
1	6,93	32,45	70,88	0,07	2,23E-05
2	6,92	33,67	70,88	0,07	2,15E-05
3	6,88	34,12	70,88	0,07	2,11E-05
t promedio		33,41		K Promedio	2,16E-05

Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Tiempos de evacuación t(s)	Permeabilidad promedio K(cm/s)
3,00	17,41	4,07E-05
3,50	20,35	3,59E-05
4,00	22,15	3,25E-05
4,50	25,37	2,84E-05
5,00	33,41	2,16E-05

Fuente: Elaboración propia

4.6 MEZCLA MODIFICADA CON PVC A PARTIR DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO

Tabla 4.4 Ensayo de permeabilidad con muestra modificada con PVC

Porcentaje de cemento asfáltico =3,98%					
N ° de briqueta	Altura briqueta(L) cm.	Tiempo de evacuación t (s)	Área muestra "A" (cm2)	Área bureta "a" (cm2)	Permeabilidad briqueta "K" (cm/s)
1	6,86	19,27	70,88	0,07	3,72E-05
2	6,75	17,12	70,88	0,07	4,12E-05
3	6,93	18,56	70,88	0,07	3,90E-05
t promedio		18,32		K Promedio	3,91E-05

Porcentaje de cemento asfáltico =3,94%					
N ° de briqueta	Altura briqueta(L) cm.	Tiempo de evacuación t (s)	Área muestra A (cm2)	Área bureta a (cm2)	Permeabilidad briqueta K (cm/s)
1	7,03	18,04	70,88	0,07	4,07E-05
2	7,03	17,22	70,88	0,07	4,27E-05
3	7,10	15,30	70,88	0,07	4,85E-05
t promedio		16,85		K Promedio	4,40E-05

Porcentaje de cemento asfáltico =3,90%					
N ° de briqueta	Altura briqueta(L) cm.	Tiempo de evacuación t (s)	Área muestra A (cm2)	Área bureta a (cm2)	Permeabilidad briqueta K (cm/s)
1	7,01	12,86	70,88	0,07	5,70E-05
2	7,16	13,04	70,88	0,07	5,74E-05
3	7,10	11,56	70,88	0,07	6,42E-05
t promedio		12,49		K Promedio	5,95E-05

Porcentaje de cemento asfáltico =3,86%					
N ° de briqueta	Altura briqueta(L) cm.	Tiempo de evacuación t (s)	Área muestra A (cm2)	Área bureta a (cm2)	Permeabilidad briqueta K (cm/s)
1	6,99	10,30	70,88	0,07	7,09E-05
2	6,89	10,45	70,88	0,07	6,89E-05
3	7,01	11,50	70,88	0,07	6,37E-05
t promedio		10,75		K Promedio	6,78E-05

Porcentaje de cemento asfáltico =3,82%					
N ° de briqueta	Altura briqueta(L) cm.	Tiempo de evacuación t (s)	Área muestra A (cm2)	Área bureta a (cm2)	Permeabilidad briqueta K (cm/s)
1	7,03	8,32	70,88	0,07	8,83E-05
2	7,14	9,76	70,88	0,07	7,65E-05
3	7,01	7,78	70,88	0,07	9,42E-05
t promedio		8,62		K Promedio	8,63E-05

Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Tiempos de evacuación t(s)	Permeabilidad promedio K(cm/s)
3,98	18,32	3,91E-05
3,94	16,85	4,40E-05
3,90	12,49	5,95E-05
3,86	10,75	6,78E-05
3,82	8,62	8,63E-05

Fuente: Elaboración propia

4.7 ENSAYO DE CÁNTABRO EN SECO

Este ensayo es de obligatoriedad cuando se trata de mezclas asfálticas porosas, según la norma española. Este ensayo no es más que el ensayo de desgaste de los Ángeles, pero sin la adición de las esferas, en este caso la máquina solo gira 300 revoluciones con la muestra.

Sirve para medir el desgaste que puede existir en las carreteras conformadas por mezclas porosas. Es una simulación de las condiciones adversas que puede sufrir los pavimentos drenantes.

A continuación mediante fotos se plasmará el procedimiento de la práctica.

Fig. 4.22 Muestras a llevar a la máquina de los Ángeles



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

Fig. 4.23 Colocado de las muestras en la máquina de los Ángeles



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

Fig. 4.24 Pesaje de las muestras después del ensayo de Cántabro



Fuente: Laboratorio de Hormigones UAJMS

CÁLCULOS:

El procedimiento de cálculo consiste en pesar el desgaste que se produce después del ensayo, y determinar dicho porcentaje.

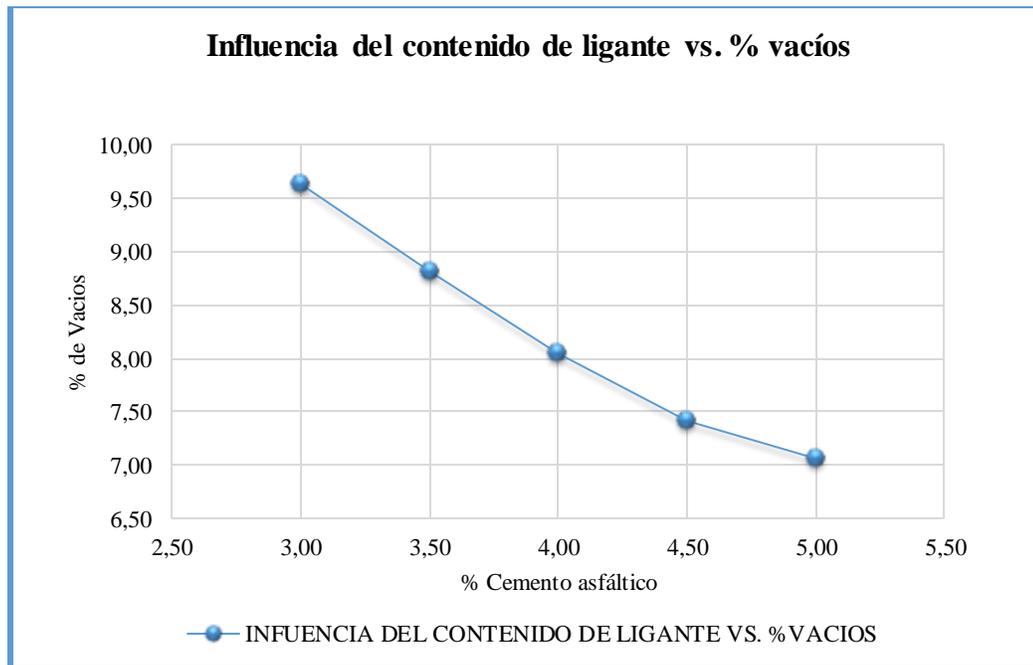
En las siguientes tablas y gráficas se aprecia el porcentaje de desgaste que se produce cuando se utiliza una mezcla drenante normal, con la variación del porcentaje de cemento asfáltico.

Tabla 4.5 Ensayo de Cántabro

% De asfalto	% De vacíos	Muestra 1 (gr)		Muestra 2 (gr)		Muestra 3 (gr)		Media		% Perdida peso seco
		Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues	
3,00	9,64	1188,6	902,40	1193,80	920,60	1198,30	922,60	1196,05	915,20	23,48
3,50	8,82	1184,80	912,40	1193,60	908,40	1185,50	933,50	1187,97	918,10	22,72
4,00	8,04	1185,30	954,80	1187,90	965,90	1188,40	962,40	1187,20	961,03	19,05
4,50	7,42	1192,30	1065,40	1191,70	1003,50	1194,80	1031,40	1192,93	1033,43	13,37
5,00	7,05	1198,60	1093,70	1194,20	1038,70	1182,30	1065,80	1191,70	1066,07	10,54

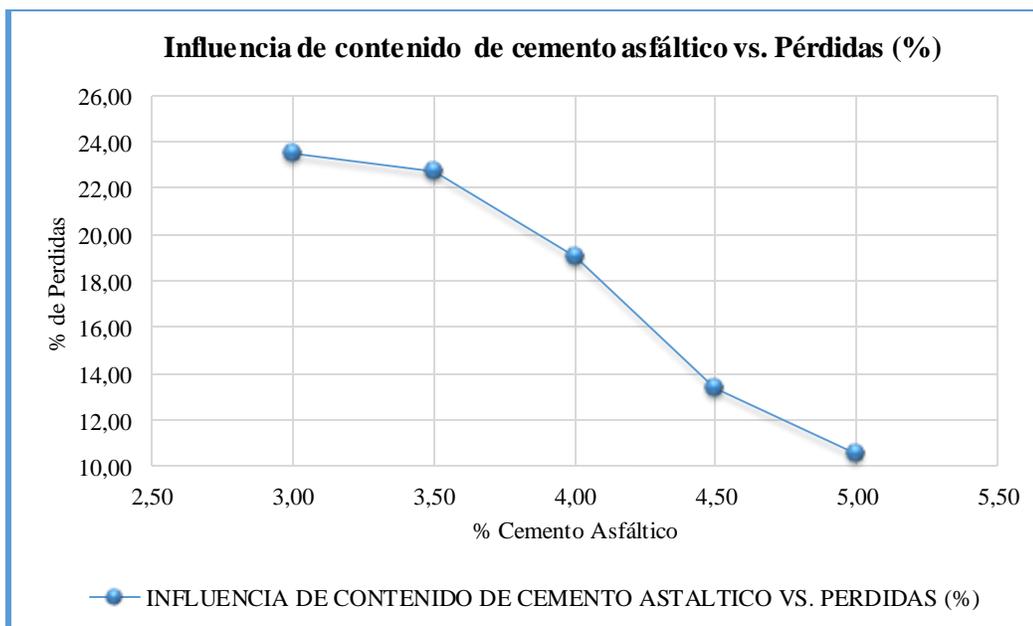
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.8 Porcentaje de vacíos vs. Porcentaje de C.A.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.9 Porcentaje de pérdidas vs. Porcentaje de C.A.



Fuente: Elaboración propia

Ensayo de Cántabro con la mezcla modificada con PVC

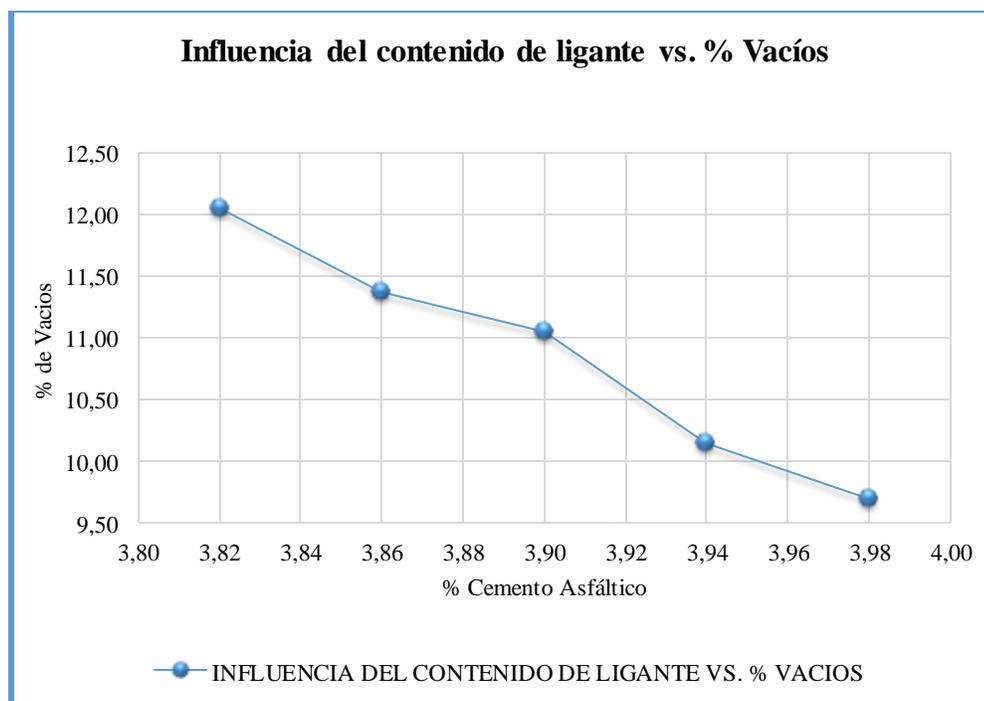
Para este caso se trabajó con tres muestras por cada porcentaje de cemento asfáltico modificado con PVC, 5 porcentajes en total a partir del óptimo.

Tabla 4.6 Ensayo de cántabro a muestra modificada con PVC

% De asfalto	% De vacíos	Muestra 1 (gr)		Muestra 2(gr)		Muestra 3(gr)		Media		% Perdida peso seco
		Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues	
3,82	12,05	1190,30	926,80	1194,20	933,70	1182,30	924,80	1188,93	928,43	21,91
3,86	11,37	1182,60	942,40	1191,70	972,40	1194,80	948,50	1189,70	954,43	19,78
3,90	11,04	1184,60	974,80	1182,90	995,90	1186,40	962,40	1184,63	977,70	17,47
3,94	10,15	1192,80	1042,40	1193,60	1078,40	1185,50	1083,50	1190,63	1068,10	10,29
3,98	9,69	1192,70	1126,80	1193,80	1020,60	1198,30	1122,60	1194,93	1090,00	8,78

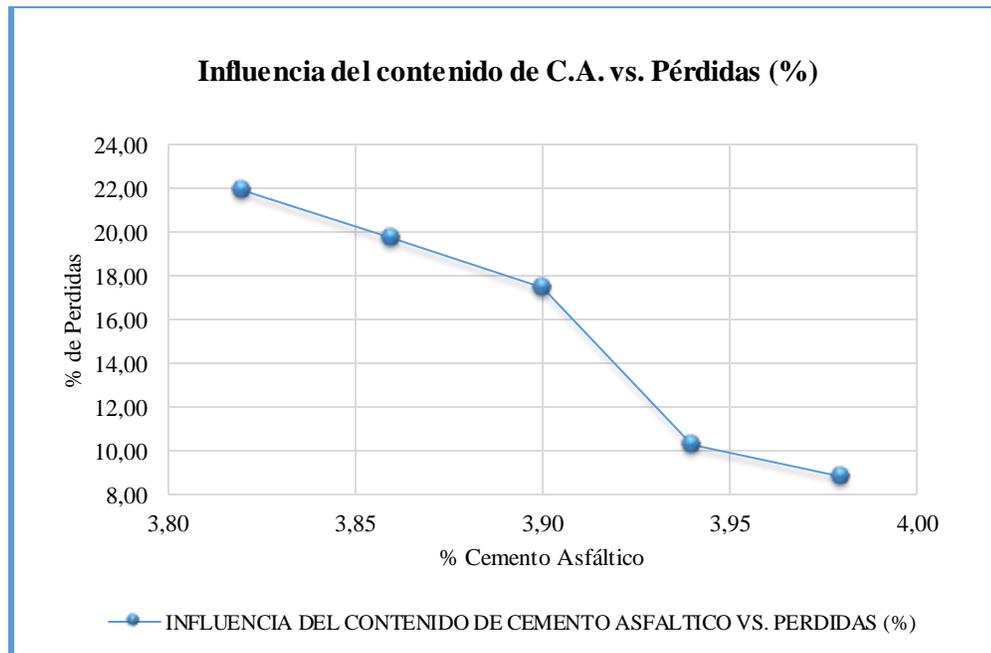
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.10 Porcentaje de vacíos vs. Porcentaje de C.A.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.11 Porcentaje de pérdidas vs. Porcentaje de C.A.



Fuente: Elaboración propia

Analizando los ensayos que se realizó en cántabro, podemos señalar dos puntos muy importantes:

Se produjo una mayor adherencia entre cemento asfáltico y agregados pétreos, debido a que existe menos desgaste y pérdidas después de haberse realizado el ensayo.

Se produce una mayor resistencia al desgaste y esfuerzos sometidos.

Al parecer el PVC, también tuvo cierta influencia en estas características. Mientras más contenido de PVC presentaba la mezcla menos era el desgaste durante el ensayo.

Al realizar el ensayo de permeámetro de carga variable para una muestra modificada con PVC y una sin modificar se pudo apreciar la variabilidad del drenaje a través de la misma, por lo tanto mejoró considerablemente la permeabilidad.

En la siguiente tabla de comparación se puede apreciar la diferencia que hubo en la porosidad entre una mezcla drenante sin modificar y la modificada con PVC. De cómo varía el porcentaje el vacíos.

Tabla 4.7 Relación de porcentaje de vacíos en una mezcla modificada y una sin modificar

% Cemento asfáltico sin modificar	% Cemento asfáltico modificado	% De vacíos mezcla total sin mod.	% De vacíos mezcla total modificada
3,00	3,98 -1,00% PVC	9,64	9,69
3,50	3,94 -2,00% PVC	8,82	10,15
4,00	3,90 -3,00% PVC	8,04	11,04
4,50	3,86 -4,00% PVC	7,42	11,37
5,00	3,82 -5,00% PVC	7,05	12,05
Rango		7-15	7-15

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar existe una clara mejora en el aumento de la porosidad entre ambas mezclas y ambas están dentro del rango de porcentaje de vacíos que establece la norma.

En la segunda columna de la tabla 4.6, los porcentajes de cemento asfáltico son de poca variabilidad, debido a que para la mezcla modificada se utilizó el porcentaje óptimo de cemento asfáltico que salió de las briquetas de diseño de 4,02 %, sobre este valor se realizó la variación de porcentajes de PVC desde el 1 al 5 % dentro del cemento asfáltico.

4.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS SEGÚN LA HIPÓTESIS DEL PROYECTO

4.8.1 Análisis de la porosidad

Después de haber realizado el diseño de la mezcla drenante normal y modificada, se determinó el porcentaje de vacíos que procede a un diseño Marshall.

La porosidad en este caso de la mezcla asfáltica se mide por el porcentaje de vacíos que tiene la misma. Cuando se hizo el análisis de la mezcla de diseño, se trabajó con cinco porcentajes de contenido de cemento asfáltico desde un 3 a 5 % para realizar la mezcla.

En las siguientes tablas de cálculo se puede apreciar como empieza a variar la porosidad según el porcentaje de vacíos que existe en las briquetas diseñadas.

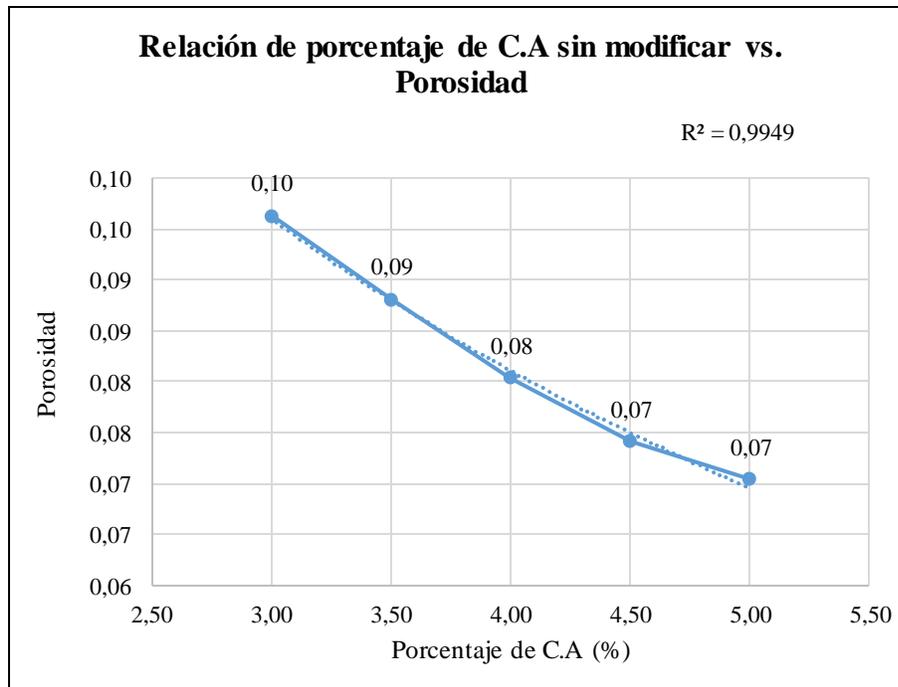
Tabla 4.8 Relación de porcentaje de mezcla asfáltica y porosidad

%C.A	Volumen muestra total "V" (cm³)	Volumen de vacíos "V_v" (%)	Volumen de vacíos "V_v" (cm³)	Porosidad "n"
3,00	517,67	9,64	49,90	0,10
3,50	519,13	8,82	45,79	0,09
4,00	516,83	8,04	41,55	0,08
4,50	516,23	7,42	38,30	0,07
5,00	519,73	7,05	36,64	0,07

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.8 se puede observar que la porosidad va aumentando cuando se va reduciendo el porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla. En la siguiente gráfica se puede apreciar con mejor facilidad lo que va sucediendo.

Gráfico 4.12 Relación de porcentaje de cemento asfáltico sin modificar vs. Porosidad



Fuente: Elaboración propia

Para determinar la porosidad en la mezcla asfáltica drenante se utilizó la siguiente ecuación:

$$n = \frac{V_v}{V}$$

Donde:

n = Porosidad

V_v = Volumen de vacíos de la mezcla

V = Volumen de muestra total

NOTA:

Para determinar el volumen de la mezcla se realizó un promedio de los tres valores obtenidos de cada porcentaje de cemento asfáltico y así con los datos del porcentaje de vacíos que arrojó el ensayo de Marshall se pudo calcular el volumen de vacíos de la muestra en cada porcentaje.

Después de haber obtenido el porcentaje óptimo de cemento asfáltico de las briquetas de diseño que dió un 4,02 % a este porcentaje se procedió a modificar con PVC a través de cinco porcentajes desde 1 a 5 % obteniendo los valores de tanto porcentaje como volumen de vacíos que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.9 Relación de porcentaje de mezcla asfáltica modificada y porosidad

% de PVC	% C.A	Volumen muestra total "V" (cm³)	Volumen de vacíos "Vv" (%)	Volumen de vacíos "Vv" (cm³)	Porosidad "n"
1 %	3,98	527,67	9,69	51,13	0,10
2 %	3,94	531,37	10,15	53,93	0,10
3 %	3,90	550,00	11,04	60,72	0,11
4 %	3,86	538,70	11,37	61,25	0,11
5 %	3,82	543,53	12,05	65,50	0,12

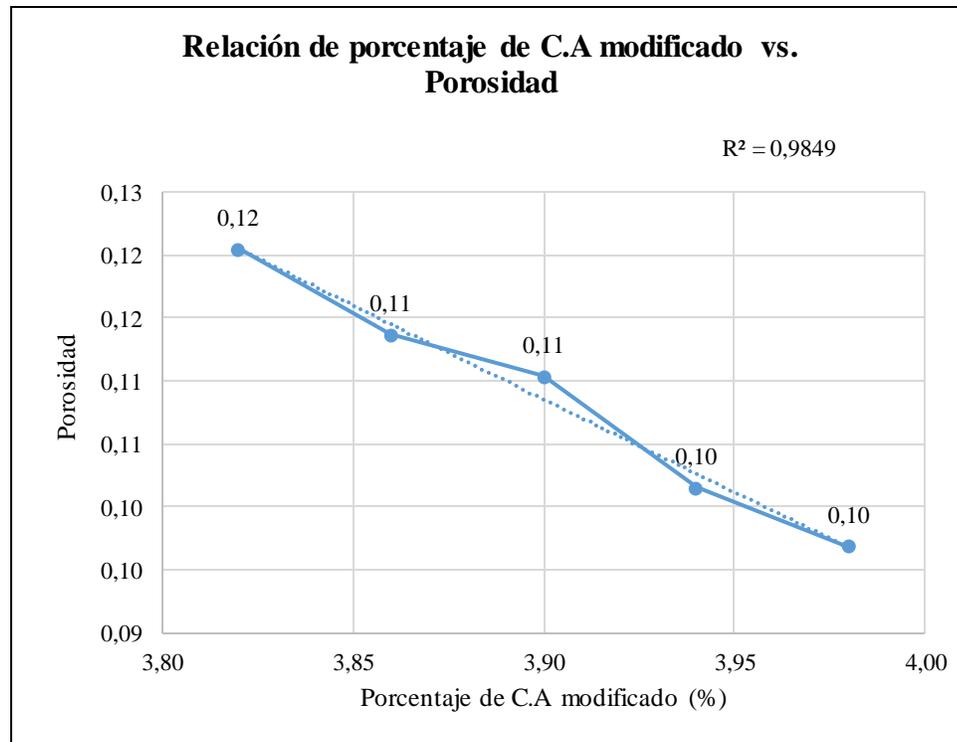
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.9 se observar que los porcentajes de cemento asfáltico son variados con el porcentaje óptimo y que la porosidad aumenta considerablemente en comparación del 3 o 4 % de la anterior tabla, esto quiere decir que la adición de PVC a la mezcla produjo cierta influencia en esa propiedad favoreciendo a que mejora su porosidad.

Haciendo una comparación en ambas tablas se aprecia que existe una mejora, por ejemplo con el porcentaje de 4 % de la tabla 4.8 y el porcentaje de 3,98 existe una variabilidad considerable en su porosidad de 0,08 a 0,10; esto implica que se pudo llegar al objetivo en este parámetro que se analizó, a partir de estos valores hallados se observa que la porosidad va incrementando en los siguientes porcentajes.

En la siguiente gráfica se observa con mayor claridad cómo se va incrementando la porosidad con los diferentes porcentajes de cemento asfáltico modificado.

Gráfico 4.13 Relación de porcentaje de cemento asfáltico modificado con PVC vs. Porosidad



Fuente: Elaboración propia

Al reducir el porcentaje de cemento asfáltico modificado se va incrementando considerablemente la porosidad en comparación de los porcentajes de diseño esto quiere decir que la adición de PVC en la mezcla produjo una gran variabilidad en esta propiedad con solo el 3,82 % de cemento asfáltico modificado la porosidad incremento a un 0,1205 un valor que se puede diferenciar claramente del 3,50 o 4,00 % que se aprecia en la tabla 4.8.

De esta forma combinando los diferentes porcentajes de cemento asfáltico modificado se puede constatar que la porosidad ira incrementándose en comparación a una mezcla drenante sin modificar.

También cabe señalar que no es considerable el uso excesivo de PVC ya que llevará a un incremento de costo en la fabricación de dicha mezcla.

Al incrementarse el porcentaje de vacíos en la mezcla se fue incrementando también la porosidad en la misma haciendo que el PVC aumente la cantidad de vacíos que existe al interactuar con los agregados y el cemento asfáltico.

4.8.2 Análisis de la permeabilidad y eficiencia

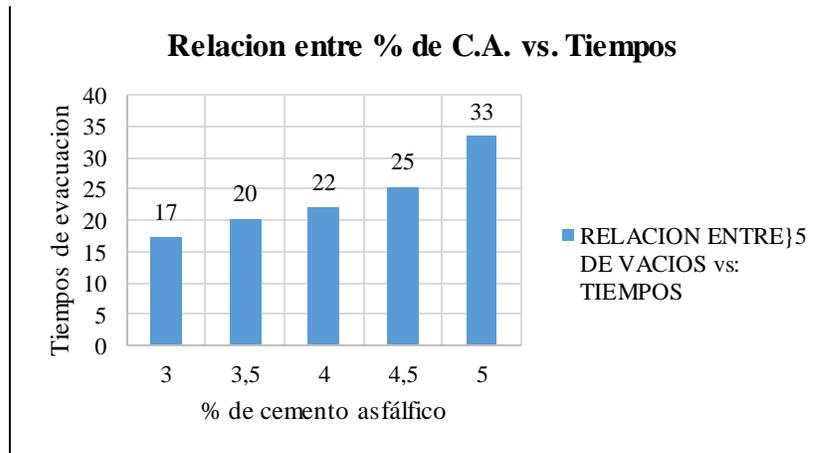
Después de haber realizado el ensayo de permeámetro de carga variable con una mezcla drenante sin modificar se obtuvo los siguientes valores que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.10 Resumen de ensayo de permeabilidad

Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Tiempos de evacuación t(s)	Permeabilidad promedio K(cm/s)
3,00	17,41	4,07E-05
3,50	20,35	3,59E-05
4,00	22,15	3,25E-05
4,50	25,37	2,84E-05
5,00	33,41	2,16E-05

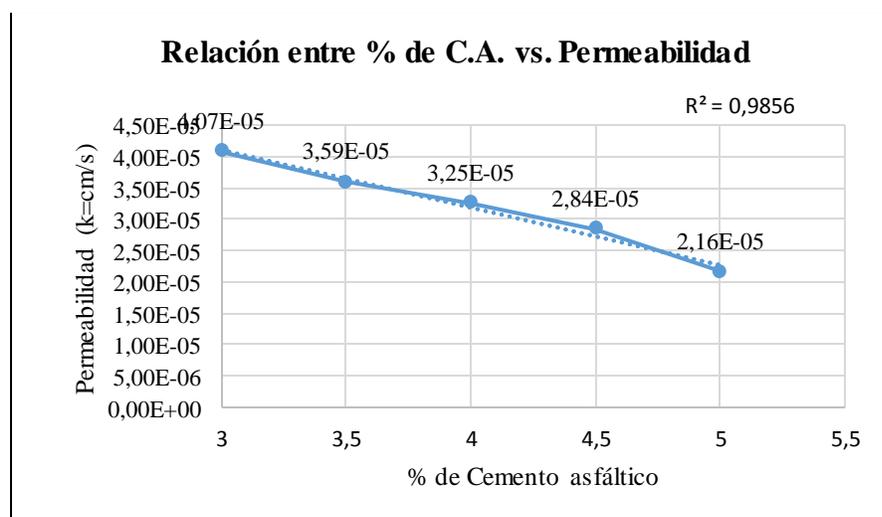
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.10 se puede apreciar de cómo va variando los tiempos de evacuación del agua y la permeabilidad de la mezcla asfáltica drenante, pero esto se puede observar con mejor claridad en los siguientes gráficos:

Gráfico 4.14 Tiempo vs. Porcentaje de C.A.

Fuente: Elaboración propia

Mientras mayor es el porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla mayor será el tiempo de evacuación del agua a través del mismo, esto quiere decir que el cemento asfáltico va llenando los poros o vacíos en la mezcla haciendo que esta se vuelva menos permeable e impida el paso del agua a través de ella volviendo esta circulación más lenta que conllevará a un mayor tiempo. Los tiempos de evacuación empiezan a aumentar por la mayor presencia de cemento asfáltico en la mezcla.

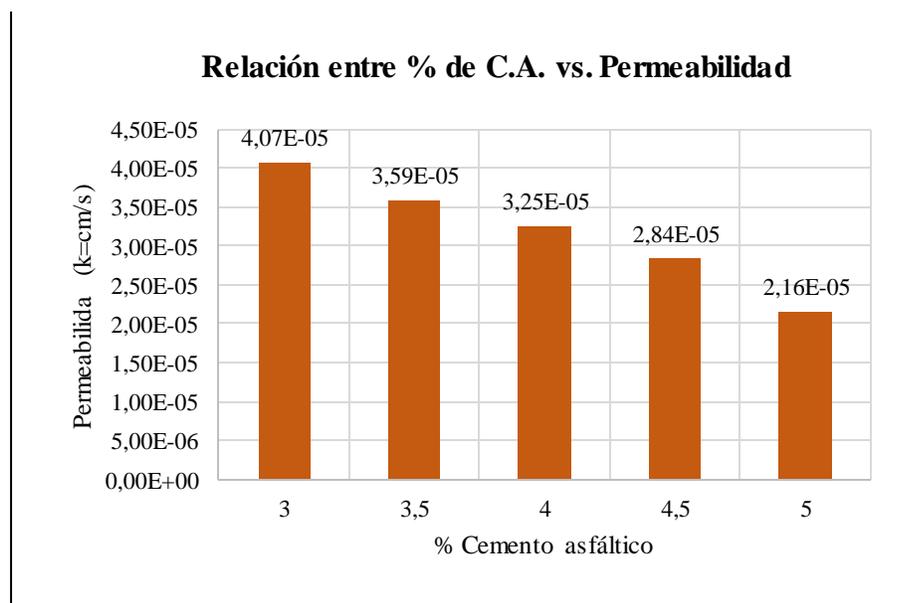
Gráfico 4.15 Permeabilidad vs. Porcentaje de C.A.

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.15 se puede apreciar cómo está variando la permeabilidad según el porcentaje de cemento asfáltico al incrementarse este empieza a reducir la permeabilidad en la mezcla, esto sucedió debido a que los vacíos se reducen y la mezcla se vuelve menos permeable con el aumento de cemento asfáltico haciendo que el agua tarde en circular a través de la misma.

Los cinco porcentajes de cemento asfáltico utilizado para el diseño de la mezcla nos sirvió para encontrar el óptimo y con este valor se modificó la mezcla asfáltica añadiéndole PVC a la misma.

Gráfico 4.16 Permeabilidad vs. Porcentaje de C.A en barras



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.16 de barras se puede observar con mejor exactitud de como vario la permeabilidad según el porcentaje de cemento asfáltico.

Obtenido el porcentaje óptimo de cemento asfáltico y modificándolo con PVC mediante cinco porcentajes que empezó desde el 1 al 5 %, se determinaron los siguientes tiempos de evacuación y permeabilidades.

Tabla 4.11 Resumen de ensayo de permeabilidad mezcla modificada

% de PVC	Porcentaje de cemento asfáltico (%)	Tiempos de evacuación t(s)	Permeabilidad promedio K(cm/s)
1,00	3,98	18,32	3,91E-05
2,00	3,94	16,85	4,40E-05
3,00	3,90	12,49	5,95E-05
4,00	3,86	10,75	6,78E-05
5,00	3,82	8,62	8,63E-05

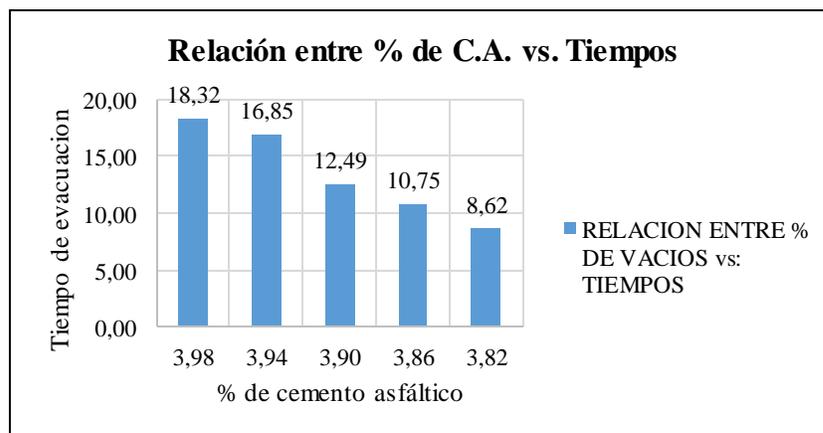
Fuente: Elaboración propia

Como en el estudio anterior de porosidad en este caso también se pudo determinar que se aumentó o incremento la permeabilidad en la mezcla drenante modificada a partir de variar el porcentaje de PVC al óptimo calculado en las briquetas de diseño.

Al solo utilizar el porcentaje óptimo de diseño y modificar este con los cinco porcentajes; se hizo incrementar considerablemente la permeabilidad en la mezcla.

Pudiendo llegar al objetivo deseado en la hipótesis con gran satisfacción, por lo tanto podemos señalar y percatar que el PVC tiene ciertas propiedades que hacen que también puedan modificar esta condición en una mezcla, si se observa los valores calculados en las tablas se verifica que existe un gran incremento de la permeabilidad en la mezcla.

Gráfico 4.17 Tiempo vs. Porcentaje de C.A modificado

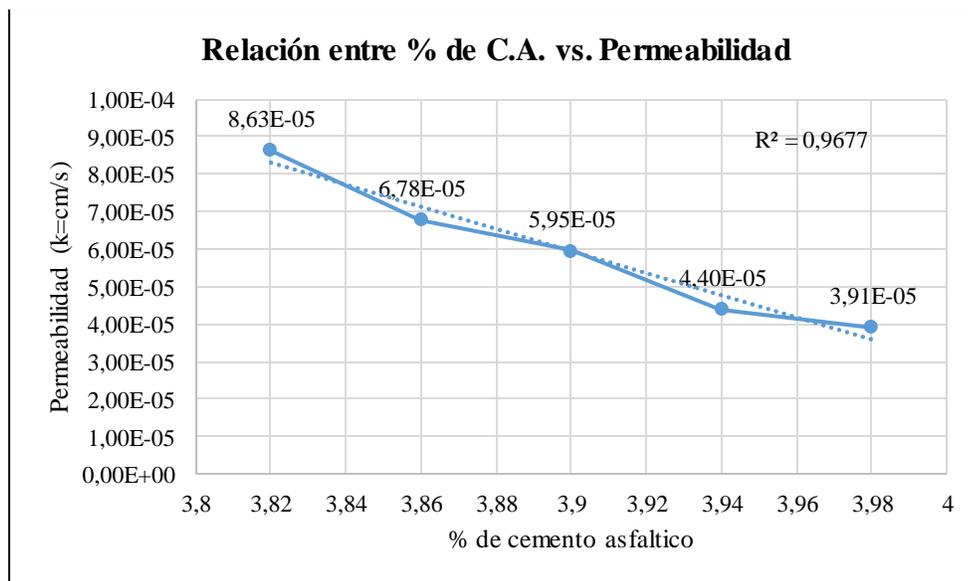


Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.17 se observa que los tiempos de evacuación del agua a través de la mezcla asfáltica medidos durante el ensayo de permeámetro de carga variable son mínimos, haciendo que el agua circule con mayor facilidad a través de la misma.

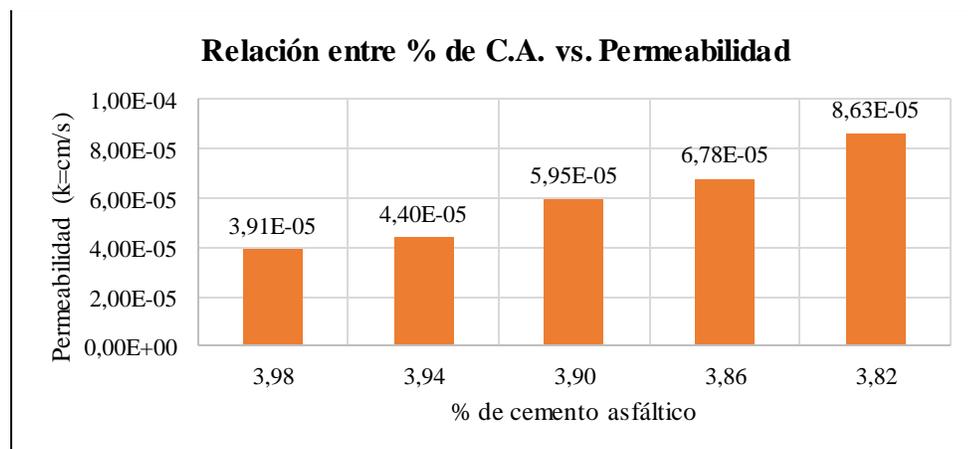
En el otro gráfico a continuación se realizó una relación entre el porcentaje de cemento asfáltico modificado y la permeabilidad.

Gráfico 4.18 Permeabilidad vs. Porcentaje de C.A modificado



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.19 Permeabilidad vs. Porcentaje de C.A modificado en barras



Fuente: Elaboración propia

En ambas graficas se puede apreciar de forma clara, como empieza a variar la permeabilidad en función al porcentaje de cemento asfáltico que tiene la mezcla modificada.

EFICIENCIA

Como se midió la eficiencia de una mezcla asfáltica drenante en este estudio de investigación mediante el análisis de los diferentes tiempos de evacuación del agua en el ensayo de permeámetro de carga variable.

Si la circulación del agua es rápida y en el menor tiempo requerido, esto significa que es más eficiente en esta capacidad de poder filtrar el agua a través de esta.

La eficiencia de la mezcla drenante con la que se logró llegar fue gracias a la particularidad de este tipo de mezclas porosas y sobre todo a la adición del PVC para su fabricación y mezclado que genero un mejoramiento en esta propiedad característica de mezclas drenantes.

Si se hace una comparación entre ambas tablas de resultados obtenidos, el tiempo se reduce considerablemente debido a que el PVC empezó a trabajar como un mejor adherente con los agregados pétreos permitiendo de esta forma un mayor porcentaje de vacíos y poros en la mezcla.

El análisis estadístico que se hizo fue tomar las muestras representativas de una mezcla drenante normal y la modificada con PVC, realizar una comparación en sus características drenantes como: la porosidad, permeabilidad y eficiencia de evacuación del agua a diferentes tiempos por medio del ensayo de Permeámetro de carga Variable.

Se constató que se llegó al objetivo deseado logrando conseguir datos muy interesantes de cómo se va comportando una mezcla drenante modificada en este caso con un plastómero (PVC).

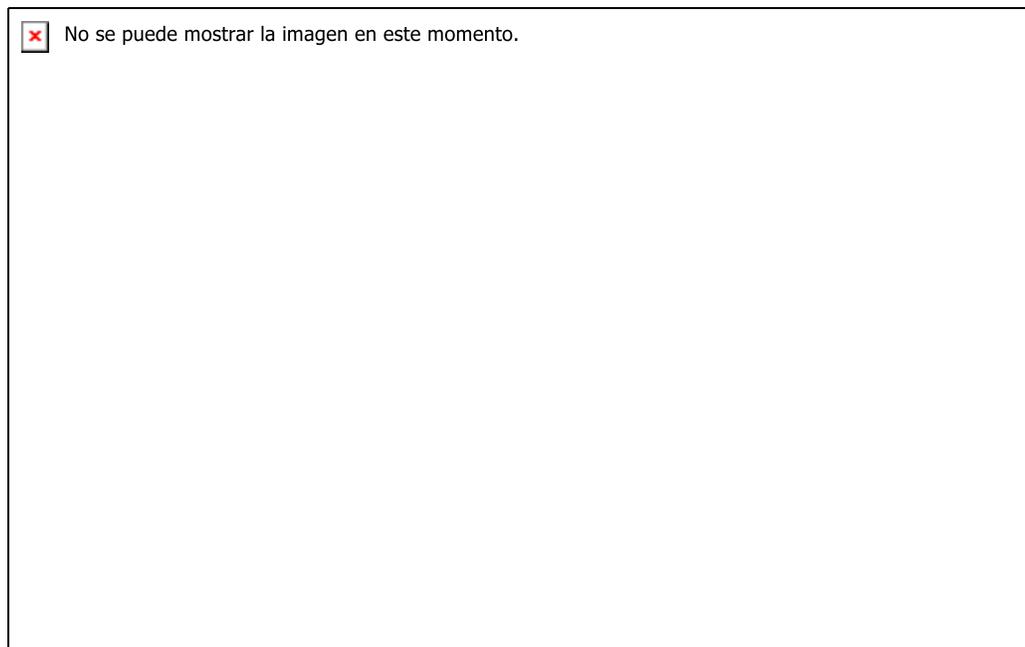
Este estudio se basó en mejorar las propiedades drenantes de una mezcla asfáltica porosa, modificando el cemento asfáltico a usar.

El intervalo de los valores del coeficiente de permeabilidad (K) es muy amplio y se extiende desde 1×10^5 cm/s para las gravas de granos muy grueso, hasta un valor insignificante en el caso de arcillas. La tabla 4.12 muestra el intervalo de valores promedio de “K” para diversos suelos, incluyendo las condiciones de drenaje potencial.

Estos mismos valores y rangos se usaran para la mezcla asfáltica drenante, ya que la drenabilidad se comportara como si se tratase de un suelo de grava, arena consolidado al no existir parámetros que puedan compararse en las mezclas asfálticas.

Con la siguiente tabla se podrá identificar el grado de drenabilidad de la mezcla porosa diseñada.

Tabla 4.12 Intervalos de valores de K (cm/s) en función a la drenabilidad



No se puede mostrar la imagen en este momento.

Fuente: “Mecánica de suelos “Juárez Badillo E. Rico Rodríguez A.

Los valores calculados de permeabilidad del ensayo de permeámetro de carga variable están en el rango de 1×10^{-5} lo que implica según la anterior tabla, que el drenaje del agua a través de la mezcla asfáltica porosa es bueno.

4.8.3 Análisis estadístico

Para saber que tan correctos son nuestras medidas y cálculos se tuvo que hacer un análisis, calculando la desviación típica y el coeficiente de variación de nuestros datos y cálculos, para ver qué tan homogéneas son las muestras a estudiar y se puede apreciar en las siguientes tablas a continuación.

Tabla 4.13 Tiempos de evacuación de agua a través de la mezcla asfáltica drenante sin modificar

Porcentaje de cemento asfáltico =3,00%			
N ° de briqueta	Altura briqueta(L) cm.	Tiempo de evacuación "t" (s)	t promedio
1	6,75	16,55	
2	6,76	17,12	17,41
3	6,81	18,56	
Porcentaje de cemento asfáltico =3,50%			
1	6,95	20,55	
2	6,98	22,19	20,35
3	6,92	18,30	
Porcentaje de cemento asfáltico =4,00%			
1	6,82	22,3	
2	6,89	20,12	22,15
3	6,83	24,04	
Porcentaje de cemento asfáltico =4,50%			
1	6,85	25,55	
2	6,88	26,45	25,37
3	6,90	24,12	
Porcentaje de cemento asfáltico =5,00%			
1	6,93	32,45	
2	6,92	33,67	33,41
3	6,88	34,12	

Fuente: Elaboración propia

Calculando la desviación típica mediante la expresión se tiene:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_i - X)^2}{N}}$$

N	X _i	X _i - X	(X _i - X) ²
1	16,55	-0,86	0,74
2	17,12	-0,29	0,08
3	18,56	1,15	1,32
Σ	17,41		2,15

$$\sigma = \sqrt{\frac{2,15}{3}}$$

$$\sigma = 0,846$$

Por otro lado presenta problemas ya que a diferencia del coeficiente es variable ante cambios de origen. Por ello es importante que todos los valores sean positivos y su media de por tanto un valor positivo. A mayor heterogeneidad de los valores de la variable; y a menor C.V., mayor homogeneidad en los valores de la variable. Suele representarse por medio de las siglas C.V.

Se calcula:

$$C.V. = \frac{\sigma * 100}{X}$$

$$C.V. = \frac{0,846 * 100}{17,41}$$

$$C.V. = 4,86\%$$

Este es el resultado obtenido para el contenido de asfalto de 3%, el mismo análisis deber de realizarse para cada contenido; a continuación se presentan los resultados obtenidos mediante la ayuda de una hoja de cálculo para simplificar el análisis:

Contenido de C.A (%)	Desviación estándar	Coefficiente de Variación (C.V. %)
3	0,85	4,86
3,5	1,59	7,84
4	1,60	7,24
4,5	0,96	3,78
5	0,71	2,11

Para la interpretación de estos resultados se ha recurrido al texto de estadística del profesor Gidalberto Bonilla, de la editorial UCA, donde proporciona la siguiente tabla para evaluar el grado de representatividad del promedio, para distintos coeficientes de variabilidad:

Tabla 4.14 Grado de representatividad de datos según el coeficiente de variabilidad

Valor del coeficiente de variabilidad	Grado en que la media representa a la serie
De 0 a menos de 10 %	Media altamente representativa
De 10a menos de 20 %	Media bastante representativa
De 20 a menos de 30 %	Media tiene representatividad
De 30 a menos de 40 %	Media cuya representación es dudosa
De 40 % o mas	Media carente de representatividad

Fuente: Texto de estadística del profesor Gidalberto Bonilla, de la editorial UCA

De lo anterior se adoptará como aceptable que el grado de representatividad se encuentre entre altamente por lo que se establece que el coeficiente de variabilidad (C.V.) para los propósitos de nuestro estudio debe estar contenido entre 0% y 10%, para el caso de los resultados del permeámetro de carga variable, se aceptan.

Tabla 4.15 Tiempos de evacuación de agua a través de la mezcla asfáltica drenante modificado con PVC

Porcentaje de cemento asfáltico =3,98%			1 % de PVC
N ° de briqueta	Altura briqueta(L) cm	Tiempo de evacuación t (s)	Tiempos promedios t (s)
1	6,86	19,27	
2	6,75	17,12	18,32
3	6,93	18,56	
Porcentaje de cemento asfáltico =3,94%			2 % de PVC
1	7,03	18,04	
2	7,03	17,22	16,85
3	7,10	15,30	
Porcentaje de cemento asfáltico =3,90%			3 % de PVC
1	7,01	12,86	
2	7,16	13,04	12,49
3	7,10	11,56	
Porcentaje de cemento asfáltico =3,86%			4 % de PVC
1	6,99	10,30	
2	6,89	10,45	10,75
3	7,01	11,50	
Porcentaje de cemento asfáltico =3,82%			5 % de PVC
1	7,03	8,32	
2	7,14	9,76	8,62
3	7,01	7,78	

Contenido de C.A (%)	Desviación estándar	Coefficiente de Variación (C.V. %)
3,98	0,89	4,88
3,94	1,15	6,81
3,90	0,66	5,28
3,86	0,53	4,97
3,82	0,84	9,69

Fuente: Elaboración propia

De este análisis estadístico de la mezcla modifica con PCV también se adoptará como aceptable que el grado de representatividad se encuentre entre altamente por lo que se establece que el coeficiente de variabilidad (C.V.) para los propósitos de nuestro estudio debe estar contenido entre 0% y 10%, para el caso de los resultados del permeámetro de carga variable, se aceptan.

En las siguientes tablas se realizó el análisis estadístico de la permeabilidad de mezcla sin modificar y la mezcla modificada con PVC.

Tabla 4.16 Análisis estadístico de la permeabilidad de la mezcla asfáltica sin modificar

Porcentaje de cemento asfáltico =3,00%				
N ° de briqueeta	Altura briqueeta(L) cm	Tiempo de evacuación "t" (s)	Permeabilidad briqueeta "K" (cm/s)	Permeabilidad media "K" (cm/s)
1	6,75	16,55	4,26E-05	
2	6,76	17,12	4,13E-05	4,07E-05
3	6,81	18,56	3,83E-05	
Porcentaje de cemento asfáltico =3,50%				
1	6,95	20,55	3,53E-05	
2	6,98	22,19	3,29E-05	3,59E-05
3	6,92	18,30	3,95E-05	
Porcentaje de cemento asfáltico =4,00%				
1	6,82	22,30	3,20E-05	
2	6,89	20,12	3,58E-05	3,25E-05
3	6,83	24,04	2,97E-05	
Porcentaje de cemento asfáltico =4,50%				
1	6,85	25,55	2,80E-05	
2	6,88	26,45	2,72E-05	2,84E-05
3	6,90	24,12	2,99E-05	
Porcentaje de cemento asfáltico =5,00%				
1	6,93	32,45	2,23E-05	
2	6,92	33,67	2,15E-05	2,16E-05
3	6,88	34,12	2,11E-05	

Contenido de C.A (%)	Desviación estándar	Coefficiente de Variación (C.V. %)
3,00	1,78E-06	4,38
3,50	2,74E-06	7,64
4,00	2,52E-06	7,75
4,50	1,13E-06	4,00
5,00	5,19E-07	2,40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.17 Análisis estadístico de la permeabilidad de la mezcla asfáltica modificada con PVC

Porcentaje de cemento asfáltico =3,98%			1 % de PVC	
N ° de briqueta	Altura briqueta(L) cm.	Tiempo de evacuación t (s)	Permeabilidad briqueta "K" (cm/s)	Permeabilidad media "K" (cm/s)
1	6,86	19,27	3,72E-05	
2	6,75	17,12	4,12E-05	3,91E-05
3	6,93	18,56	3,90E-05	
Porcentaje de cemento asfáltico =3,94%			2 % de PVC	
1	7,03	18,04	4,07E-05	
2	7,03	17,22	4,27E-05	4,40E-05
3	7,10	15,30	4,85E-05	
Porcentaje de cemento asfáltico =3,90%			3 % de PVC	
1	7,01	12,86	5,70E-05	
2	7,16	13,04	5,74E-05	5,95E-05
3	7,10	11,56	6,42E-05	
Porcentaje de cemento asfáltico =3,86%			4 % de PVC	
1	6,99	10,3	7,09E-05	
2	6,89	10,45	6,89E-05	6,78E-05
3	7,01	11,50	6,37E-05	
Porcentaje de cemento asfáltico =3,82%			5 % de PVC	
1	7,03	8,32	8,83E-05	
2	7,14	9,76	7,65E-05	8,63E-05
3	7,01	7,78	9,42E-05	

Contenido de C.A (%)	Desviación estándar	Coefficiente de Variación (C.V. %)
3,98	1,64E-06	4,18
3,94	3,30E-06	7,51
3,90	3,31E-06	5,56
3,86	3,04E-06	4,48
3,82	7,37E-06	8,54

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros medidos son idóneos debido a que el coeficiente de variación no sobrepasa el 10% por lo tanto nuestros cálculos y datos obtenidos son de alta confiabilidad tanto en el análisis del tiempo de evacuación y las permeabilidades calculadas.

Cabe señalar que la eficiencia del drenaje se midió con los parámetros de tiempo de evacuación del agua a través de las diferentes dosificaciones.

Si se realiza la comparación de los valores de tiempos y permeabilidades calculadas con la mezcla de diseño y la modificada con PVC, se verificó que varía esta condición debido a algunas causas como: la disminución del contenido de cemento asfáltico al aumentar el PVC en los cinco porcentajes, al haber menor cantidad de cemento asfáltico mayor serán los huecos y poros presente en la mezcla.

El PVC al no disolverse completamente en el cemento asfáltico por medio del calentamiento y su respectiva dilución genera unos cuantos granos que trabajan como parte de los agregados pétreos y producen también ese aumento de vacíos en la mezcla modificada. Cabe señalar que el PVC mejoro la resistencia al desgaste de la mezcla porosa, comprobado esto mediante el ensayo de Cántabro en seco en el cual el desgaste disminuyó considerablemente comparándolo con las muestras de diseño.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Al realizar la caracterización de los agregados se pudo constatar y determinar que los mismos cumplen con los exigencias y normativas de diseño para una mezcla asfáltica drenante.
- Para la granulometría conformada de dosificación se utilizó la norma española de uso PA 12, debido a que ésta ofrece un mayor rango entre límites superiores e inferiores de las curvas granulométricas.
- Al tratarse de una mezcla porosa drenante, el número de golpes para la compactación fue de 50, debido a que dicha mezcla fue diseñada para tráfico medio, como son la mayoría de las mezclas drenantes en el mundo.
- Para la dosificación de nuestras mezclas se utilizó en un principio el cemento asfáltico 85/100 combinando 5 porcentajes del mismo desde un 3 a 5%, con dichas dosificaciones se pudo determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico dio un valor de 4.02%, que corresponde dentro de los rangos establecidos.
- Para el diseño de nuestra mezcla modificada de utilizó el porcentaje óptimo de cemento asfáltico, que nos daba las briquetas de diseño, a partir de ahí se trabajó con 5 porcentajes de PVC, desde 1 a 5%; modificando el cemento asfáltico.
- Al llevarlos a romper en la prensa Marshall, se pudo evidenciar que la estabilidad aumentó y la fluencia disminuyó considerablemente volviendo la mezcla más sólida, y más aún la relación de vacíos, llegando hasta un 12%; lo que implica que mejoró sustancialmente la drenabilidad al volverse más porosa.
- Para el ensayo de permeabilidad se utilizó un permeámetro casero de carga variable con el cual se pudo medir los tiempos de evacuación de agua a través de la mezcla.

- Se pudo evidenciar que los tiempos de descarga variaban en función al porcentaje de cemento asfáltico que tenía cada muestra, las que contaban con más cemento asfáltico se volvían menos permeables.
- Para las mezclas modificadas con PVC a partir del contenido óptimo, con los 5 porcentajes utilizados, se pudo verificar que la permeabilidad aumentó, ya que los tiempos de descarga eran más cortos; mejorando de ésta forma la eficiencia de drenaje en las mismas realizando una comparación entre la tabla 4.10 y 4.11.
- Para las briquetas de diseño con los 5 porcentajes se pudo evidenciar que el desgaste fue en función del contenido de cemento asfáltico; a mayor contenido de cemento asfáltico menor fue el desgaste, ninguna superó el 25% de pérdidas, lo que implica que hubo una buena adherencia entre agregados pétreos y ligante asfáltico. Para las muestras modificadas con PVC las pérdidas fueron aún muchos menores, permitiendo mayor adherencia y consistencia de la mezcla.
- Al realizar el análisis y comparación de la mezcla de diseño y la modificada con PVC se verificó que existió una mejora y aumento en la porosidad de la mezcla drenante, incrementándose considerablemente, debido a que el porcentaje de vacíos y poros creció, comparando los resultados obtenidos de la tabla 4.8 y 4.9.
- Los tiempos de evacuación del agua se redujeron a gran medida, convirtiéndola más eficiente al drenaje. Sabiendo que la drenabilidad del agua a través de la mezcla asfáltica es horizontal, pero como la misma tiene que ser uniforme en toda su dimensión el drenaje se hizo verticalmente simulando esta condición.
- Se llegó al objetivo deseado desde un principio porque lo que se quería fue mejorar la eficiencia del drenaje en una mezcla de estas características.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para el diseño de una mezcla asfáltica drenante se debe cumplir con todas las exigencias que pide la norma, tanto para agregados pétreos como el ligante a utilizar.
- En el caso del mezclado de la preparación asfáltica se debe tener cuidado y utilizar siempre protección debido a que uno se encuentra en contacto directo con el fuego.
- Se debe verificar en todo momento que la temperatura de mezclado no sobrepase los rangos, al preparar la mezcla asfáltica que es de 140°C, ya que éste puede influir más adelante en los valores de fluencia y estabilidad de las briquetas al llevarlos a romper a la prensa Marshall.
- Las briquetas, antes de llevarlas a correr en la prensa, tienen que estar en un lugar aislado, fuera del contacto de la humedad y el calor, porque estos factores pueden afectar considerablemente a las lecturas al llevarlas a la prensa.
- Se debe tener cuidado al realizar los pesajes de los agregados pétreos y bituminosos porque influye directamente al determinar los pesos y dimensionamiento de las briquetas.
- Se recomienda realizar un estudio químico de la estructura de la mezcla modificada, para comprobar con más detalle el por qué hizo que la mezcla se vuelva más porosa.
- Realizar con mucho cuidado el ensayo de permeabilidad, porque es de suma importancia para los cálculos y análisis realizados al medir los tiempos de evacuación del agua a través de las briquetas.
- El PVC es un material tóxico al calentarse, por que desprende gases nocivos a la salud, usar protección al momento de manipuleo con el fuego.