

## AGREGADOS PETREOS

### 4.- AGREGADOS PETREOS

Existen tres elementos importantes que deben ser considerados al establecer el tipo o clase de pavimento bituminoso:

- a) Los tipos de graduación de los agregados pétreos.
- b) El tipo de material aglutinante.
- c) El proceso constructivo.

Estos tres elementos son interdependientes y cualquiera de ellos influirá en la selección de los otros dos. Hay quienes clasifican las mezclas asfálticas por la graduación de sus agregados pétreos que puede ser abierta o densa entre otras; otros por el tipo de material asfáltico que puede ser cemento asfáltico, asfaltos rebajados o emulsiones y, finalmente, algunos las clasifican por el procedimiento constructivo a ejecutar, ya sea por mezcla en el lugar o en planta dosificadora.

Los tres grupos mencionados nos pueden llevar a malinterpretaciones y confusiones si no nos queda bien claro que la elección de cualquiera de los elementos afectará automáticamente a los otros dos. Por lo anterior es recomendable tener cuidado en el uso de estos conceptos.

Se ha expuesto en una forma amplia lo concerniente a los tipos de materiales asfálticos en la construcción de pavimentos flexibles. Nos dedicaremos ahora a tratar lo relativo a los materiales pétreos y sus graduaciones. Más adelante abordaremos el tema de procedimientos constructivos.

#### 4.1 TIPOS DE AGREGADOS PETREOS

La manera más comúnmente empleada para hacer uso del asfalto en la elaboración de carpetas para caminos, es mezclándolo con un agregado pétreo de características conocidas. Sin embargo, no cualquier tipo de agregado puede emplearse de la manera adecuada para formar carpetas; de ahí la necesidad de conocer sus características físicas para saber si es apto o no.

Los agregados constituyen del 88 al 96% del peso de un pavimento bituminoso y algo más del 75% del volumen del mismo. Contribuyen a la estabilidad mecánica, soportan la carga del tráfico y al mismo tiempo transmiten la carga a la subbase a una unidad de presión considerablemente reducida. Estos materiales deben de ser de calidad uniforme, triturados a tamaño según sea necesario, deben estar compuestos de piedras sólidas y duraderas o fragmentos de roca o escoria, con o sin arena u otro agregado mineral inerte y cuidadosamente dividido. Todo el material debe

## AGREGADOS PETREOS

estar libre de arcilla, materia orgánica y otras sustancias perjudiciales que afecten la estabilidad del pavimento. El exceso de material fino debe separarse antes de ser triturado.

Los tipos de agregados granulares utilizados en la construcción de carpetas asfálticas se pueden clasificar de la siguiente manera:

Arena	Escoria
Grava	Relleno Mineral
Piedra Triturada	

### 4.1.1 ARENA

Es el material granular fino resultado de la desintegración natural de rocas o del triturado de agregado grueso. Existen varias definiciones de tamaños para partículas de arena. La más común en nuestro medio define a la arena como aquel material granular que pasa la malla #4 (malla con abertura de 1/4"), y se retiene en la malla #200.

Existen varios tipos de arenas, cada una de las cuales con características de graduación diferentes. En la figura 4.1 se muestran las definiciones de diferentes arenas en función de su tamaño.

Comúnmente es necesario mezclar dos o más tipos diferentes de arena para obtener la graduación deseada para mezclas asfálticas.

AGREGADOS PETREOS

TIPO DE ARENA	% MATERIAL QUE PASA LA MALLA:								
	3/8"	#4	#10	#20	#40	#50	#80	#100	#200
Arena producto de viento	---	---	---	---	80 a 100	---	35 a 50	0 a 5	---
Arena de lago o de mar	---	---	---	---	80 a 100	---	---	25 a 65	0 a 15
Arena de río	100	60 a 90	---	20 a 40	---	0 a 30	---	0 a 5	---
Arena gravosa	---	85 a 100	---	40 a 60	---	15 a 25	---	3 a 15	0 a 10
Arena de banco	100	98	85	78	52	---	14	---	3
Arena artificial	Sus tamaños varían de acuerdo al proceso de trituración al que sea sometida. Es un material que por lo general pasa la malla #4.								

Figura 4.1

4.1.2 GRAVA

Es el producto de la desintegración de grandes rocas. Son partículas más grandes que las de las arenas; el punto de división generalmente es el de la malla #4. A continuación describiremos los diferentes tipos de grava:

a) Gravilla:

Se le nombra así a cualquier grava libre de impurezas con un diámetro aproximado entre 1/4" y 1/2". Puede ser de banco o de río.

## AGREGADOS PETREOS

### b) Grava de río:

Se le puede encontrar en casi cualquier río o arroyo y está formada principalmente por fragmentos de textura suave y forma redondeada revueltos con arena de río generalmente libre de arcilla e impurezas. La porción de partículas con tamaño mayor a 1/4" se clasifica como grava de río; el resto es arena de río.

### c) Grava de banco:

Este material se puede encontrar en depósitos naturales. Es un producto granular de textura suave y forma redondeada revuelto con arenas finas y arcillas. Los depósitos difieren ampliamente entre sí como la proporción existente entre material fino y grueso y generalmente se clasifican de la siguiente manera: Grava arcillosa, grava arenosa, arcilla gravosa y arena gravosa.

## 4.1.3 PIEDRA TRITURADA

La piedra triturada es el resultado del machaqueo mecánico de roca sólida de varios tipos. Como ejemplos podemos citar: Piedra caliza triturada, granito, cuarcita, etc.

### a) Piedra triturada graduada:

Puede ser producida en cualquier graduación deseada por medio del uso de varios tipos de máquinas trituradoras y cribas. El objetivo al triturar una piedra es el de obtener partículas cúbicas, aunque algunos tipos de roca, especialmente las sedimentarias que se forman por estratos, al quebrarse forman lascas largas las cuales hacen su uso cuestionable.

### b) Piedra triturada no graduada:

Se refiere al producto de una planta trituradora que no es cribado y/o separado en varios tamaños. Sin embargo, normalmente se utiliza una criba para desechar material de tamaño mayor que el especificado.

### c) Material producto de triturado final:

Este material es la parte de la piedra o grava triturada que pasa a través de la malla #4 (1/4"), el cual varía considerablemente en su angularidad y en su graduación dependiendo del tipo de roca triturada. La mayoría de estos materiales varían en su graduación desde 1/4" hasta un 0 a un 6 por ciento pasando la malla #200. Son generalmente bien graduados, aunque en muchos casos presentan escasez de material de tamaños de la malla #40 a la #100.

## AGREGADOS PETREOS

### 4.1.4 ESCORIA

Es un material no metálico producto del triturado a altas temperaturas de caliza constituida esencialmente por silicatos y aluminio-silicatos. Una escoria de buena calidad puede ser un excelente material para pavimentos bituminosos y puede ser triturada a casi cualquier graduación, aunque no está por demás decir que la mayoría de las escorias son porosas y absorben más material bituminoso que los demás agregados.

### 4.1.5 RELLENO MINERAL

#### a) Limo:

Es un material fino y poroso depositado por el viento. Los tamaños de sus partículas son más pequeños que los de las arenas y más grandes que las partículas de arcilla.

#### b) Polvo granular:

Es el polvo resultado de la pulverización de ciertos tipos de roca como la caliza, cemento Portland o algunos otros polvos obtenidos de forma artificial o natural. El porcentaje de este material que pasa la malla #200 varía del 80 al 100 por ciento. Este material fino es utilizado en mezclas asfálticas para llenar pequeños huecos y así incrementar la estabilidad del pavimento. Estos productos no son muy utilizados debido a su alto costo.

En muchos casos, algunos de los tipos de agregados aquí mencionados, se combinan para obtener una graduación con ciertas características deseadas o requeridas para un uso en particular. En otros casos, un solo agregado puede tener una graduación satisfactoria. La graduación del agregado es importante, pues determina, en la mayoría de los casos, la estabilidad mecánica de una mezcla asfáltica.

## AGREGADOS PETREOS

### 4.2 GRADUACIONES UTILIZADAS PARA MEZCLAS ASFALTICAS

Habiendo discutido los tipos básicos de agregados utilizados en la construcción de pavimentos bituminosos, el siguiente paso a considerar será el de las combinaciones de estos tipos de la manera en que se encuentran en depósitos naturales o por medio de medios mecánicos de sistemas de alimentación en modernas plantas de asfalto.

Para el uso de los agregados en mezclas bituminosas, se habla en términos de su graduación. Se usan tres amplias clasificaciones:

- a) Agregado de graduación densa con tolerancia estrecha.
- b) Agregado denso de graduado económico
- c) Agregado seleccionado de graduación abierta

El agregado no solo debe clasificarse en base a su graduación, la forma y dureza de las partículas juegan un papel importante en la estabilidad de la carpeta. Las partículas de forma cúbica, angulosa y de consistencia dura son las óptimas; las partículas de textura suave y forma alargada son poco deseables en una mezcla. La densidad de las partículas de diferentes tamaños en una mezcla debe de variar lo menos posible, ya que las gráficas granulométricas consideran los porcentajes en peso de las mismas.

Las primeras dos clasificaciones listadas arriba tienen el mismo objetivo: Una carpeta densa y hermética con una máxima resistencia mecánica. Varían, sin embargo en llegar al mismo objetivo; la segunda sacrifica un poco la resistencia mecánica para poder reducir los costos en agregados, materiales aglutinantes y métodos constructivos.

La tercera clasificación cubre una variedad de tamaños selectos de agregados que tienen como objetivo, algo más que una carpeta densa y hermética. El proceso incluye un riego de sello, piedra macadam de graduación abierta, etc. En este grupo, lo más importante es la dureza y angulosidad de las partículas de agregados.

#### 4.2.1 AGREGADO DE GRADUACION DENSA CON TOLERANCIA ESTRECHA

Aunque existen diferentes opiniones de lo que constituye la graduación "ideal" para un agregado de graduación densa, y a pesar de que los requerimientos y las prácticas varían, la graduación establecida está sujeta a un estrecho control de tolerancia en las especificaciones de caminos principales a base de pavimentos bituminosos. Los pavimentos que encuadran dentro de esta graduación son por lo general llamados concretos asfálticos y asfaltos laminados.

## AGREGADOS PETREOS

Se controla la tolerancia de graduación de diferentes maneras: 1) Las fuentes de los agregados individuales son seleccionadas cuidadosamente, 2) El procesamiento de cada agregado es cuidadosamente regulado en su lugar de origen, 3) La revoltura de los diferentes agregados en el lugar del mezclado se controla mecánicamente y, 4) Los agregados combinados son recibidos y reproporcionados (cuando la combinación incluye tamaños que pueden ser económicamente cribados) después de secarse y antes de mezclarse con el aglutinante. Las plantas dosificadoras de asfalto modernas han sido adaptadas para estos requerimientos. Los tamaños de los agregados en la combinación final de la mezcla se sujetan a una tolerancia de  $\pm 5$  por ciento en los agregados gruesos y una tolerancia menor en las arenas y los finos.

Algunas veces se mezclan de cuatro a cinco agregados separados para obtener una graduación final que quede dentro de la curva granulométrica deseada. En la práctica es común revolver tres agregados diferentes constituidos por dos tipos de arena y un material triturado. Generalmente, el material triturado se criba y su propia graduación se establece en la planta trituradora.

Por lo anterior se observa que es necesario un largo proceso y el uso de maquinaria compleja para obtener un agregado denso de tolerancia estrecha lo que ocasiona grandes gastos. Muchas veces es necesario acarrear agregados de una distancia considerable para asegurar el tipo de graduación especificada; así, el transporte puede traducirse en un elemento muy costoso dentro del proceso. Sin embargo, muchos ingenieros consideran que este gasto adicional se justifica en carreteras importantes, calles muy transitadas, y caminos que requieran de una máxima estabilidad.

### 4.2.2 AGREGADO DENSO DE GRADUADO ECONOMICO

Al principio de este documento, se expuso algo acerca del factor de compromiso en la construcción de pavimentos flexibles. Frecuentemente, se pueden sacrificar ciertos factores, lo que afectará la graduación "ideal". Además de el ahorro económico que se puede conseguir, se puede utilizar un procedimiento constructivo más práctico y económico. En muchas ocasiones, gracias a que esta graduación resulta más económica, se puede tender una carpeta más gruesa para compensar una posible reducción de estabilidad. Un resultado final de todo esto puede ser un mejor pavimento flexible en relación al costo del mismo. Se pueden obtener más kilómetros de pavimento de calidad con el mismo presupuesto utilizado para la clasificación antes descrita.

Algunos estudios han revelado que el exceso de vacíos en las graduaciones o desbalanceos exagerados en tamaños de partículas de agregados pueden afectar la estabilidad mecánica hasta un punto peligroso. Sin embargo, para casi todos los requerimientos de tráfico, existe un factor de seguridad considerable en la graduación, y este hecho puede ser un factor importante en la economía.

## AGREGADOS PETREOS

A continuación se citan algunas recomendaciones para hacer más económica la selección de agregados y los costos de preparación teniendo cuidado de no excederse en estas pues puede resultar contraproducente y en perjuicio de la calidad de la carpeta. El fin de los puntos abajo mencionados es el de reducir el costo de producción sin disminuir considerablemente su resistencia por lo que hay que establecer ciertos criterios de tolerancia al llevarlos a cabo:

- 1) La piedra triturada no graduada puede ser utilizada aunque no siempre cumpla con la tolerancia de la graduación "ideal".
- 2) El costo de la separación de tamaños en la fuente de obtención del agregado y su re-graduado en el lugar de mezclado puede ser eliminado, a pesar de se tenga el efecto de segregación en el manejo y transporte del material.
- 3) Se puede prescindir del uso de arenas y materiales finos caros, aunque se tenga una graduación deficiente en los tamaños más pequeños.
- 4) El costo y las complicaciones del cribado y dosificado después del secado pueden eliminarse sin que esto represente un problema serio en el control de la graduación del agregado.

No existen curvas granulométricas "típicas" de significancia en esta segunda clasificación. La curva "ideal" es la más deseable, pero, en contraste con la primer clasificación, se permite un grado adicional de variación para hacer el proceso más económico con los agregados disponibles en la localidad o región.

### 4.2.3 AGREGADO SELECCIONADO DE GRADUACION ABIERTA

Los agregados que caen dentro de esta clasificación normalmente no son susceptibles de ser adaptados a un tipo de pavimento denso con excepción de los procesos donde se aplican sucesivamente agregados más pequeños. Generalmente se emplean en recubrimientos y en tratamientos superficiales y son siempre utilizados en los tipos Macadam. La estabilidad de la superficie de rodamiento depende más del acomodo de las partículas de similar tamaño que de la resistencia ligante del material bituminoso. En aplicaciones sucesivas, la estabilidad se incrementa por la acción "clave" de partículas de menor tamaño colocadas en los vacíos superiores entre los agregados gruesos.

Por lo anterior, esta clasificación puede ser dividida en dos subclasificaciones: 1) Agregados que son aplicados en un riego y 2) Agregados que son aplicados en riegos sucesivos.



## AGREGADOS PETREOS

En forma general, se aplican las siguientes limitaciones:

El porcentaje máximo que pase la malla #8 no debe ser mayor de 5 cuando el tamaño máximo del agregado es mayor de 1/2".

El porcentaje máximo que pase la malla #8 no debe ser mayor de 8 cuando el tamaño máximo del agregado se encuentre entre 1/2" y 1/4".

El porcentaje máximo que pase la malla #8 no debe ser mayor de 10 cuando el tamaño máximo del agregado sea menor de 1/4".

El porcentaje máximo que pase la malla #200 no debe ser mayor de 2 para cualquier agregado.

### 4.3 LIMITES ESTABLECIDOS PARA GRADUACIONES DE AGREGADOS QUE DAN COMO RESULTADO MEZCLAS ASFALTICAS DE BUENA CALIDAD

Estudios realizados en graduaciones prácticas basadas en el análisis de un número de caminos (de buena y mala calidad) han arrojado como resultado la gráfica de la figura 4.2 en donde los tamaños de los agregados se expresan en función del tamaño máximo de los mismos. Se pueden comparar varias graduaciones con la figura mostrada graficándolas de la misma manera.

Es difícil establecer una regla estricta y universal en los límites de graduación, pero los estudios han indicado que cuando las graduaciones de los agregados caen dentro de las curvas continuas de la gráfica, los pavimentos han funcionado satisfactoriamente; mientras que aquellas que se encuentran fuera de estas curvas y dentro de las curvas punteadas, el pavimento tiene una tendencia a mostrar la debilidad indicada.

AGREGADOS PETREOS

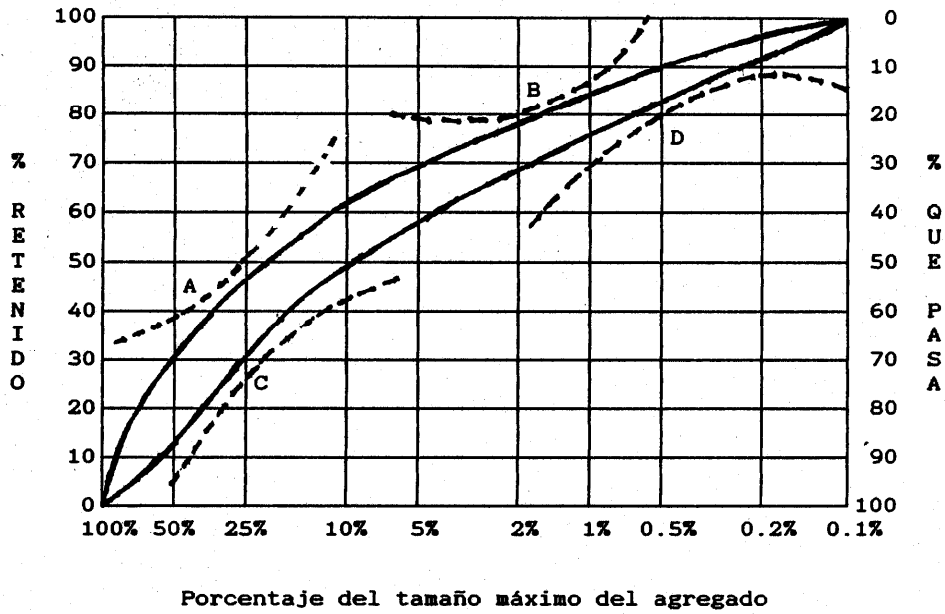


Figura 4.2

- (A) Mezclas ásperas con tendencia a segregarse. No son críticas.
- (B) Mezclas porosas. Pierden resistencia a la tensión cuando son mezclados con asfaltos rebajados. Mejores resultados si se utiliza cemento asfáltico.
- (C) Agregado más costoso de producir. Superficie fácil de terminar.
- (D) Mezclas críticas. Tienden a perder estabilidad si se mezclan con más asfalto del especificado.

## AGREGADOS PETREOS

### 4.4 REQUISITOS DE LOS MATERIALES PETREOS UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCION DE CARPETAS ASFALTICAS SEGUN EL INGENIERO CRESPO VILLALAZ

En general, los materiales pétreos para carpetas asfálticas deben llenar los siguientes requisitos:

- a) No deben emplearse agregados pétreos que presenten más del 35% en peso, de fragmentos en forma de lajas o que tengan marcada tendencia a romper en forma de lajas cuando se les tritura. Generalmente se consideran como lajas las que tengan una longitud mayor de tres veces la dimensión menor del agregado.
- b) No deben emplearse agregados pétreos que contengan materia orgánica o arcilla en grumos.
- c) Los agregados pétreos deben emplearse de preferencia secos o con una humedad máxima igual a la de absorción de los mismos (excepto cuando se utilizan emulsiones).
- d) No deben tener más del 20% de fragmentos de textura suave.
- e) El tamaño máximo no deberá ser mayor que las 2/3 partes del espesor de la carpeta proyectada.
- f) Tener resistencia suficiente para soportar, sin romperse, las cargas del equipo de compactación.
- g) La porción que pase por la malla #40 debe tener una contracción lineal menor al 3%.
- h) Deben de llenar las características granulométricas dependiendo del proceso constructivo a seguir.
- i) El desgaste determinado con la máquina de Los Angeles debe ser menor de 40%.
- j) La absorción del material debe ser menor de 3%.
- k) La densidad aparente del material debe ser mayor de 2.3.
- l) El material pétreo debe tener una adherencia satisfactoria con el asfalto.
- m) El material pétreo debe resistir la prueba de intemperismo acelerado.