



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

1/19  
ZEJ

FACULTAD DE INGENIERIA

MICROAGLOMERADOS ASFALTICOS EN LA  
REVITALIZACION Y PROTECCION DE LOS  
PAVIMENTOS FLEXIBLES.

FALLA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

EMILIO ADAM ORTIZ GONZALEZ



MEXICO, D. F.

1996

1995

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-105/95

Señor  
**EMILIO ADAM ORTIZ GONZALEZ**  
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. ALEJANDRO PONCE SERRANO**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.


**"MICROAGLOMERADOS ASFALTICOS EN LA REVITALIZACION Y PROTECCION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES"**

- INTRODUCCION**
- I. ANTECEDENTES**
  - II. MICROAGLOMERADOS ASFALTICOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE UNA VIA DE ACCESO CONTROLADO. (CD. DE MEXICO)**
  - III. MICROAGLOMERADOS ASFALTICOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE UNA AEROPISTA**
  - IV. MICROAGLOMERADOS ASFALTICOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE UN CAMINO CARRETERO**
  - V. COMPARACION DE MORTEROS ASFALTICOS CON SELLOS A BASE DE ASFALTOS REBAJADOS**
  - VI. OTRAS APLICACIONES DE MICROAGLOMERADOS ASFALTICOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES**
  - VII. CONCLUSIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria, a 6 de septiembre de 1995.  
EL DIRECTOR.

  
ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLÍS  
JMCS/GMP\*nl

## **AGRADECIMIENTOS**

**Agradezco Infinitamente a:**

**Mis padres y hermano.  
Por la gran confianza que depositaron en mí.**

**Mis Tíos:**

**Jorge H. Tadillo Martinez  
Ma. del Carmen Ortiz de Tadillo.  
Por sus palabras de aliento y apoyo incondicional**

**QUIERO AGRADECER A LOS INGENIEROS:**

***Ing. Edgar Montes***  
***Gerente General de PROBICA.***

***Ing. Julian Sanz Liebana***  
***Gerente Técnico de PROBICA.***

***Ing. Raymundo Caro.***  
***Gerente de Planta de PROBICA.***

***Ing. Guillermo Rodriguez.***  
***Gerente de Control de Calidad de PROBICA.***

***Ing. Honorio Terrazas***  
***Superintendente Gral. de Obra de PROBICA.***

***Ing. Alberto Ramírez.***  
***Superintendente Gral. de Obra de PROBICA.***

***Porque sus consejos siempre fueron de gran utilidad en la elaboración de ésta tesis.***

**GRACIAS A:**

***Ing. Alejandro Ponce Serrano.  
Porque sus directrices siempre contribuyeron a mi  
formación profesional.***

***Ing. Carlos Edgar Rivas Mendoza.  
Un gran amigo.***

## INDICE

INTRODUCCION .....	1
DIFERENTES TIPOS DE ASFALTOS .....	2
ASFALTO DE LA DESTILACIÓN DEL PETRÓLEO .....	2
ASFALTOS NATURALES .....	2
CAPITULO I .....	7
ANTECEDENTES .....	8
I.1. CONCEPTO GENERAL DE LOS MICROAGLOMERADOS ASFALTICOS .....	8
I.1.1. CARACTERISTICAS Y USOS DE LOS MORTEROS .....	9
ASFALTICOS .....	9
I.2. EMULSIONES ASFALTICAS .....	11
I.2.1. GENERALIDADES .....	11
I.2.2. CONCEPTO DE EMULSION ASFALTICA .....	12
I.2.3. COMPONENTES DE LAS EMULSIONES .....	15
I.2.4. PROCESO DE FABRICACION DE LAS EMULSIONES .....	22
ASFALTICAS .....	22
I.2.5. ESTABILIDAD EN EL ALMACENAMIENTO .....	27
I.2.6. ESTABILIDAD DE LA EMULSION FRENTE A LOS ARIDOS .....	30
I.2.7. CONTROL DE CALIDAD EN LAS EMULSIONES ASFALTICAS .....	31
I.2.7.1. ENSAYOS SOBRE LA EMULSIONES .....	32
I.2.8. ADHESIVIDAD Y ACTIVACION .....	35
I.3. AGREGADOS PETREOS A USAR EN LOS MICROAGLOMERADOS .....	39
ASFALTICOS .....	39
I.3.1. GRANULOMETRIA Y CONTROL DE CALIDAD DE ARIDOS .....	41
CAPITULO II .....	43
MICROAGLOMERADOS ASFALTICOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE UNA VIA DE ACCESO CONTROLADO (CD. DE MEXICO) .....	44
II.1. ELECCION DE LOS MATERIALES A UTILIZARSE .....	44
II.1.1. TIPOS DE SLURRY-SEAL .....	46
II.1.2. SELECCION DEL DISEÑO OPTIMO .....	46
II.2. PROCESO CONSTRUCTIVO .....	47

<b>II.3. PRINCIPALES DEFECTOS DEL MICROAGLOMERADO</b>	
<b>ASFALTICO .....</b>	<b>56</b>
<b>II.3.1. DEFECTOS ORIGINADOS POR LOS MATERIALES .....</b>	<b>56</b>
<b>II.4. CONTROL DE CALIDAD .....</b>	<b>56</b>
<b>II.4.1. CONTROL DE CALIDAD EN EL LABORATORIO.....</b>	<b>56</b>
<b>II.4.2. CONTROL DE CALIDAD EN OBRA.....</b>	<b>61</b>
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>63</b>
<b>MICROAGLOMERADOS ASFALTICOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES</b>	
<b>DE UNA AEROPISTA .....</b>	<b>64</b>
<b>III.1. GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS DE UNA AEROPISTA.....</b>	<b>64</b>
<b>III.1.1. GENERALIDADES DE LA CARPETA ASFALTICA EN UNA</b>	
<b>AEROPISTA .....</b>	<b>65</b>
<b>III.2. SELECCION DEL MICROAGLOMERADO A UTILIZARSE .....</b>	<b>66</b>
<b>III.2.1. DISEÑO DE LA MEZCLA.....</b>	<b>66</b>
<b>III.3. PROCESO CONSTRUCTIVO.....</b>	<b>67</b>
<b>III.4. PRINCIPALES PROBLEMAS QUE PUEDEN PRESENTARSE.....</b>	<b>69</b>
<b>III.4.1. ORIGINADOS POR DEFECTO DE LOS MATERIALES .....</b>	<b>69</b>
<b>III.4.2. ORIGINADOS POR DEFECTOS DE LA DOSIFICACION</b>	
<b>DE LA MEZCLA.....</b>	<b>70</b>
<b>III.5. CONTROL DE CALIDAD .....</b>	<b>70</b>
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>71</b>
<b>MICROAGLOMERADOS ASFALTICOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES</b>	
<b>DE UN CAMINO CARRETERO .....</b>	<b>72</b>
<b>IV.1. BREVE DESCRIPCION DE CARRETERAS Y SU CLASIFICACION .....</b>	<b>72</b>
<b>IV.2. SELECCION DEL MORTERO ASFALTICO A UTILIZAR.....</b>	<b>73</b>
<b>IV.3. DISEÑO DE LA MEZCLA A UTILIZAR.....</b>	<b>74</b>
<b>IV.4. PROCESO CONSTRUCTIVO .....</b>	<b>75</b>
<b>IV.5. PRINCIPALES PROBLEMAS QUE PUDIERAN PRESENTARSE.....</b>	<b>75</b>
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>81</b>
<b>COMPARACION DE LOS MORTEROS ASFALTICOS CON SELLOS A</b>	
<b>BASE DE ASFALTOS REBAJADOS.....</b>	<b>82</b>



<b>CAPITULO VI.....</b>	<b>85</b>
<b>OTRAS APLICACIONES DE LOS MICROAGLOMERADOS</b>	
<b>ASFALTICOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.....</b>	<b>86</b>
<b>VI.1. CAMPOS DE ACCION DE LOS MICROAGLOMERADOS.....</b>	<b>86</b>
<b>VI.2. MICROAGLOMERADOS PARA IMPERMEABILIZACION.....</b>	<b>87</b>
<b>VI.3. RECICLADO DE LA CARPETA ASFALTICA CON TECNICAS EN</b>	
<b>FRIO.....</b>	<b>88</b>
<b>CAPITULO VII.....</b>	<b>91</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>92</b>

**I N T R O D U C C I O N**

## **PRESENTACIÓN**

Este trabajo quiero comenzar haciendo un repaso muy general acerca de los pavimentos flexibles, para ello iniciaremos con una conceptualización muy sencilla, así como un pequeño recorrido a través de la historia del uso de los asfaltos en la revitalización y protección de los pavimentos flexibles.

Comenzando según el orden arriba expuesto diremos que:

Debo iniciar diciendo que es el asfalto. Los asfaltos son componentes naturales de muchos petróleos en los cuales se encuentra disuelto y su historia data de hace más de 5000 años.

## **DIFERENTES TIPOS DE ASFALTOS**

### **ASFALTO DE LA DESTILACIÓN DEL PETRÓLEO**

La mayoría del asfalto empleado en la América proviene de la refinación del petróleo. El asfalto refinado se produce en una gran variedad de tipos, desde los sólidos, duros y quebradizos hasta los fluidos casi tan líquidos como el agua. La forma semisólida conocida como *cemento asfáltico* es el material básico y puede considerarse como una combinación de asfalto duro y aceites no volátiles del petróleo.

### **ASFALTOS NATURALES**

Estos se han formado en la naturaleza por un fenómeno de migración de determinados petróleos naturales hacia la superficie terrestre a través de fisuras y rocas porosas, seguido o combinado con una volatilización de sus componentes más ligeros y la consiguiente concentración de los componentes asfálticos ya existentes en el mismo. En sí el proceso de los asfaltos naturales en su formación es muy similar a la de los de destilación sólo que a temperaturas más bajas y tiempo infinitamente más largo.

Los principales asfaltos naturales son:

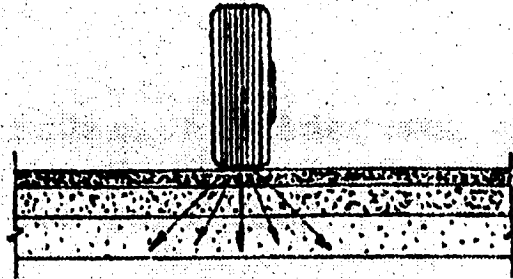
- a). Asfalto de Trinidad. (Venezuela).
- b). Rocas asfálticas. (Minerales en combinación con el asfalto).

- c). Gilsonita.
- d). Asfaltites.

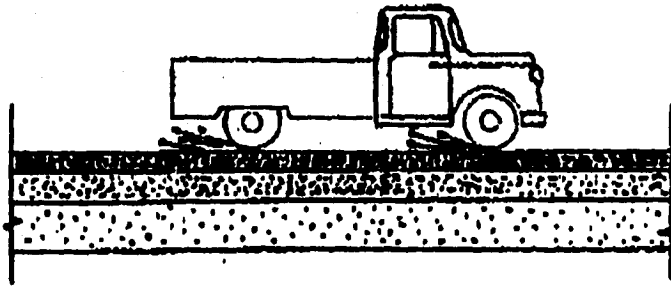
Ya teniendo en cuenta un termino más claro de la conceptualización de lo que es un asfalto podremos en sí entrar en términos propios de lo que se desarrolla en ésta tesis iniciando con un encuentro con lo que es un pavimento flexible y su función.

El pavimento de asfalto pavimento flexible, es una estructura formada por varias capas (sub base, base y carpeta asfáltica) con el fin de satisfacer los siguientes propósitos:

1. Resistir y distribuir adecuadamente las cargas producidas por el tránsito. Es decir que el pavimento flexible debe de tener el espesor suficiente para el fin arriba mencionado.

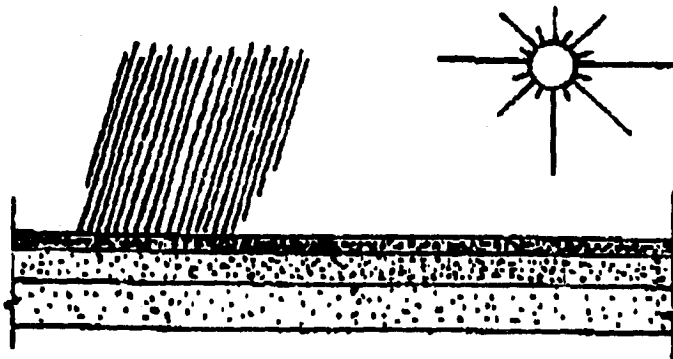


2. Tener la impermeabilidad necesaria. Esto es que impida la infiltración de agua de lluvia ya que si ésta penetra en exceso provoca la lubricación de las partículas con su consiguiente pérdida en la capacidad de soporte.
3. Resistir la acción destructora de los vehículos. La acción abrasiva de las llantas de los vehículos provoca desgaste de la superficie desprendimiento de partículas de pavimento.



**Acción destructora de los vehículos**

4. **Tener resistencia a los agentes atmosféricos.** Los agentes atmosféricos actúan continuamente sobre la superficie de los pavimentos provocando la meteorización y alteración de los materiales que lo forman.



**Agentes Atmosféricos**

5. **Tener la superficie de rodamiento adecuada** que permita en todo tiempo un tránsito cómodo y fácil de los vehículos.
6. **Presentar cierta flexibilidad para adaptarse a algunas fallas de la base o sub base.** En no pocas ocasiones, por una u otra circunstancia, generalmente controlables, se presentan pequeños asentamientos ya sea de la base o de

la sub base, los cuales no son en extremo perjudiciales, de ahí que convenga que el pavimento tenga cierta flexibilidad que la haga capaz de adaptarse a esas pequeñas fallas sin necesidad de reparaciones costosas.



### Deformación de la subrasante

La estructura de un pavimento flexible puede proyectarse para que resista, sin romperse o deformarse en forma perjudicial, cualquier densidad de tránsito y cualquier carga por eje que se le aplique, existiendo una gran variedad de combinaciones que permiten un proyecto económico para tales condiciones.

El asfalto una vez que es colocado va (con el paso del tiempo) "envejeciendo", es decir, que va perdiendo sus propiedades químicas y físicas, haciéndolo en consecuencia más vulnerable a la acción de los agentes atmosféricos y a los esfuerzos provocados por su propia función. Aunque las especificaciones modernas para materiales y procedimientos de construcción nos conduce ven a pavimentos asfálticos densos y durables, la larga exposición al intemperismo reduce su flexibilidad y capacidad de contracción bajo cambios de temperatura y movimientos de la base, los cuales junto a la acción del tráfico son los responsables del agrietamiento del pavimento. De ahí la importancia en el desarrollo de nuevas técnicas económicas y eficientes en la protección y revitalización de las superficies de rodamiento.

El uso del asfalto en los procesos constructivos no es algo nuevo, ya que hay indicios arqueológicos de su utilización en Mesopotamia alrededor del año 3000 a.C. y en el Valle del Indo, sólo que en aquel entonces se ocupaba como un ligante en algunos trabajos de albañilería, construcción de caminos, e

impermeabilización de estanques y depósitos de agua. Posteriormente tenemos que el asfalto se usaba en los procesos de momificación alrededor de los años 300 a.C. En el año de 1802 se usa en Francia la roca asfáltica para formar pisos y banquetas.

A finales del siglo pasado y principios del presente se comenzó a utilizar el asfalto en los términos que hasta hoy conocemos, en 1876 se construye el primer pavimento de lámina asfáltica en Washington haciendo uso del asfalto de lago importado. A finales de 1902 ya se habían refinado en los E.E.U.U alrededor de 20,000 barriles de asfalto de petróleo. Pero invariablemente la constante en los procesos de utilización del asfalto siempre fue el método más eficiente para reducir su viscosidad sin que perdiera sus propiedades originales; lo primero que se les ocurrió a los ingenieros constructores de la época era reducirla a base de calor, lo cual no fue conveniente ya que su manejabilidad era muy difícil; después surgió la idea de reducir la viscosidad a base de una dilución en un hidrocarburo como lo es el diesel. Posteriormente con el avance de la tecnología se logró el objetivo por medio de una dilución en agua la cual lo hacía más manejable y económico, y de ahí surgen las emulsiones asfálticas como las conocemos en la actualidad y en las cuales apoyaremos la elaboración de ésta tesis.

La posibilidad de aplicar recubrimientos asfálticos a agregados pétreos sin tener primero que reducir la viscosidad del asfalto o disolverlo en un hidrocarburo como lo es el diesel se hizo realidad hace alrededor de 55 años, cuando inicio el desarrollo de las emulsiones de asfalto en agua.

Los métodos para fabricar emulsiones estables y la obtención de las características deseadas se acrecentaron lo suficiente a lo largo de 25 años para animar a los investigadores a ensayar y ver que obtendrían al mezclar agregados graduados con emulsiones asfálticas.

**CAPITULO I**

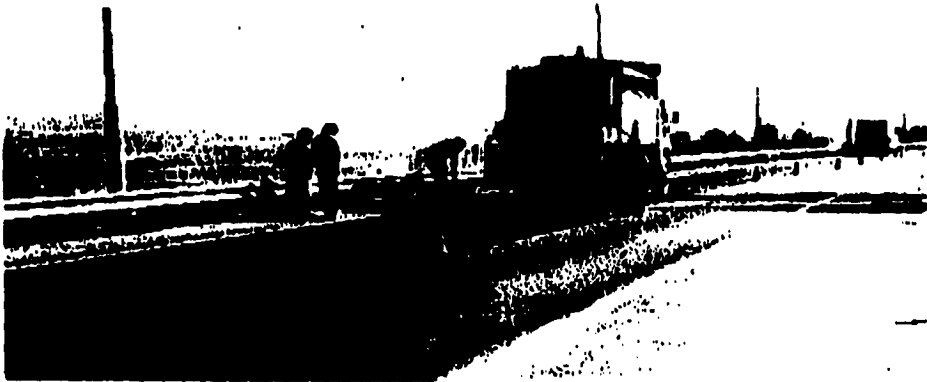


## ANTECEDENTES

### I.1. CONCEPTO GENERAL DE LOS MICROAGLOMERADOS ASFALTICOS

En éste capítulo entraremos en la idea general de lo que es en sí un microglomerado asfáltico o como se les conoce de distintas formas como morteros asfálticos, lechadas bituminosas o más comúnmente con el anglicismo de :slurry seal.

Primero que nada quisiera definir el término; ahora podemos decir que el microglomerado asfáltico es una "mezcla asfáltica compuesta por emulsión lo suficientemente estable, árido fino bien graduado, filler y agua, en proporción tal que se pueda conseguir una consistencia adecuada para una buena extensión en capa continua, usando cepillo o maestra de goma". La mezcla debe resultar fluida, homogénea, no debe tener grumos y, una vez que rompa la emulsión y eliminada el agua, se puede conseguir una capa de mortero bituminoso estable, resistente a la abrasión del tráfico e impermeable.



### **I.1.1. CARACTERISTICAS Y USOS DE LOS MORTEROS ASFALTICOS**

En un principio la mezcla de agregado, agua y emulsión asfáltica fue hecha en mezcladoras de concreto hidráulico, vaciándose de golpe en un cajón que remolcado por un camión o tractor, depositaba la mezcla sobre el pavimento existente. Después del fraguado, sólo ocasionalmente el resultado era satisfactorio por lo cual no se daban garantías. Sin embargo, con éstos experimentos quedó demostrado que, con un desarrollo del proceso, los Morteros Asfálticos tendrían un enorme potencial de trabajo.

El gran adelanto se logró cuando se descubrió que era perjudicial para la mezcla, el ser fabricada de golpe en un mezclador para concreto hidráulico.

No fue sino hasta el año de 1960 cuando se patentó la primera máquina mezcladora de mortero asfáltico de mezclado continuo, lo que hizo posible transportar ingredientes separados, mezclarlos y tenderlos sólo unos segundos después del mezclado.

Conforme se ganaban experiencias, resultó evidente que algunos materiales eran superiores a otros, se desarrollaron emulsiones más estables con mejor distribución de tamaños de partículas. Se acento la importancia de la granulometría y el contenido de arcillas expansivas, las ventajas de adicionar fillers y se mejoraron las especificaciones para materiales aceptables.

Recientemente se ha incrementado la confiabilidad y el uso de mortero asfáltico para pavimentos. Se han escrito especificaciones más rígidas para la aceptación de materiales, se han esforzado en el diseño de mezclas apropiadas, de fórmulas para emulsiones, de aditivos, de pruebas y controles, se han acumulado experiencias en cuanto al comportamiento y operación de las mezclas, etc.

El deterioro evidente por la aparición de grietas por contracción puede ser contrarrestado mediante un sellado a tiempo.

Como el mortero asfáltico es semilíquido es muy efectivo ya que no solamente penetra en las grietas del pavimento y las rellena sino que deja una nueva superficie expuesta la cual protegerá la capa inferior de la humedad y el intemperismo.

El mortero asfáltico hecho con los materiales apropiados y bien graduados, es también antiderrapante, su elaboración y fraguado no contaminan la atmósfera y no hay peligro de que quede material suelto en el camino. Cuando es aplicado de manera correcta da una apariencia agradable, de color y textura uniformes.

Es una capa tan delgada que no forma bordes, acanalamientos ni refleja huellas.

En caminos de tráfico ligero, varias capas de Mortero Asfáltico sobre una base adecuada proporcionan un pavimento de calidad. Los Morteros Asfálticos pueden aplicarse sobre carpetas de concreto asfáltico, concreto hidráulico y enladrillado. Se recomienda poner capas múltiples de Microaglomerado Asfáltico sobre el concreto hidráulico y sobre el adoquín. En caminos importantes el uso de los microaglomerados puede prolongar la vida de los pavimentos.

En resumen, el uso de los microaglomerados asfálticos para sello proporciona:

- a) Impermeabilización a carpetas deterioradas.
- b) Rellena vacíos, grietas y depresiones del pavimento.
- c) Retarda la oxidación del pavimento existente.
- d) Proporciona una superficie antiderrapante a bajo costo.
- e) No causa bordes, acanalamientos, pérdida de agregados, sangrado de asfalto, contaminación de la atmósfera.
- f) Liga bien con grava convencional, arenas y mezclas en caliente.
- g) El costo del equipo necesario es bajo y pequeños constructores y gobiernos municipales pueden adquirirlo.

Como hemos dicho los microaglomerados asfálticos se componen de un agregado pétreo bien graduado, emulsión asfáltica, agua y en ocasiones de un filler mineral y/o aditivo. Es preferible usar materiales de la localidad, su selección deberá hacerse con anterioridad por un laboratorio calificado así como la proporción adecuada. Dependiendo de la porosidad del material, la mezcla ya rota (fraguada) deberá tener de 84% a 94% de pétreos con 16% a 6% de residuo asfáltico.

Cabe hacer mención en éste espacio que las lechadas bituminosas se denominan aniónicas o catiónicas según el tipo de emulsión que contengan. Aparte de la emulsión pueden utilizarse aditivos que, incorporados al árido o al ligante, retrasen o anticipen el tiempo de rotura, actuando por tanto como reguladores de la misma y, en algunos casos como agentes de adhesividad.

A continuación hablaremos de una manera específica de los materiales que integran a un microaglomerado asfáltico. (mortero asfáltico o slurry seal).

## **I.2. EMULSIONES ASFALTICAS**

### **I.2.1. GENERALIDADES**

Actualmente, el empleo de las emulsiones asfálticas o bituminosas se ha generalizado lo suficiente en la mayor parte de los países para que se trate de un producto habitual recogido en todos los pliegos de condiciones.

En España y Francia, una importantísima proporción de los asfaltos se utiliza en forma de emulsión, y en el resto del mundo existe un interés creciente debido, por un lado a la indiscutible mejora de la tecnologías y por otro, a las ventajas ecológicas y de ahorro energético que se derivan del empleo de éstos ligantes.

Las primeras emulsiones de asfalto se emplearon en carreteras a principios de éste siglo en plan experimental. Fundamentalmente, se hicieron con ellas tratamientos superficiales, tratamientos por penetración, y algunos

intentos de mezcla in situ o en central. Un nuevo desarrollo espectacular de las emulsiones asfálticas se está produciendo a partir de 1974, en que la crisis del petróleo obligó a los investigadores a optimizar todos los procesos productivos.

### **1.2.2. CONCEPTO DE EMULSION ASFALTICA**

Suspensiones y emulsiones son casos particulares de las dispersiones. Una emulsión está formada por la dispersión homogénea de un líquido en forma de gotitas de pequeñas dimensiones dentro de otro que no es miscible con el primero. El conjunto de éstas pequeñas gotas constituye la llamada fase discontinua, mientras que el medio en el cual están dispersas se denomina fase continua.

El diámetro de las partículas de una emulsión asfáltica empleada en carreteras está comprendida entre 3 y 8 (micras); con diámetros mayores la dispersión es muy grosera y tiende a sedimentar; con diámetros menores la estabilidad es muy alta, ya que empieza a manifestarse el movimiento browniano de las partículas.

Hay dos tipos de emulsiones directas e inversas. Las directas son aquellas en las que la fase continua es del tipo acuoso y la discontinua del tipo aceitoso (bituminoso); para nuestro fin analizaremos las del tipo directas ya que para pavimentos flexibles son las que se usan exclusivamente.

El agua de la emulsión no sirve más que para facilitar la puesta en obra, haciendo que con su baja tensión superficial pueda mojarse fácilmente las superficies de los áridos. Cuando las partículas del ligante bituminoso se vuelven a juntar para constituir una película continua de betún, se dice que la emulsión rompe (visualmente, el ligante cambia de color marrón que tenía la emulsión por el negro del betún). Este proceso de rotura depende de varios factores: composición y tipo de emulsión, naturaleza de los áridos, temperatura exterior, etc.

Es tradicional llamar rotura por reacción química a aquella que se debe a una reacción de éste tipo entre los conceptos químicos que se encuentran en la superficie del árido y los radicales orgánicos que, procedentes del emulgente, rodean la película de betún; y rotura por evaporación a la que se debe a una evaporación del agua hasta que las micelas establecen contacto. Realmente es imposible disociar ambos fenómenos, ya que en todas las emulsiones se presentan combinados con mayor o menor preponderancia según la polaridad de éstas.

Atendiendo a su estabilidad, las emulsiones se clasifican en emulsiones de rompimiento lento, medio y rápido. En principio las primeras deben de mezclarse con cemento o con un filler tipo sin romper, y las segundas con agua en cualquier proporción.

Cabe aclarar que el proceso de rotura no debe de confundirse con el curado de los betunes fluidificados.

El tiempo de rotura de la emulsión es decisivo a la hora de la aplicación en campo para cada tipo de tratamiento, según la resistencia que se quiera obtener en las primeras horas con vistas a la apertura al tráfico, la compactación, la insensibilidad a la lluvia, etc.

Las emulsiones para pavimentos flexibles son aniónicas o básicas y catiónicas o ácidas según la polaridad que el emulsionante proporciona a la partículas del betún.

Las emulsiones aniónicas son las más antiguas. En principio presentan una buena adhesividad y resistencia al desplazamiento frente a los áridos calizos (que se ionizan positivamente al estar húmedos) y una escasa adhesividad y resistencia al desplazamiento de los áridos silíceos (que se ionizan negativamente al estar húmedos). Además de la naturaleza de los áridos hay que tener en cuenta otros factores de éstos como son su textura, limpieza, temperatura, etc.

Las emulsiones catiónicas son mucha más recientes. Su rotura es mucho más rápida, generalmente, que la de las emulsiones aniónicas, ya que en las

catiónicas se produce repentinamente, al atraerse químicamente las micelas de betún ionizados con la superficie del árido también ionizado, mientras que en las aniónicas la evaporación del agua es el factor dominante para el rompimiento de la emulsión.

En la figura de la página siguiente podemos visualizar en un esquema y darnos una mejor idea de como están formadas las partículas de emulsión de los dos tipos tanto aniónicas como catiónicas.



Emulsión aniónica



Emulsión catiónica

También se ha combinado en ocasiones el empleo de emulsión con la utilización de aditivos sobre el árido para mejorar su adhesividad o regular el tiempo de rotura de aquella.

### 1.2.3. COMPONENTES DE LAS EMULSIONES

Los componentes básicos de las emulsiones asfálticas son:

- a) El ligante asfáltico.
- b) Los emulsionantes.
- c) El agua.
- d) Los aditivos, los cuales bien sean empleados sobre la propia emulsión o bien sobre los áridos.

#### A).- LIGANTE ASFALTICO

Las emulsiones más extendidas son las fabricadas con betún de penetración o bien con betún fluidificado.



Hay betunes más fácilmente emulsificables que otros. En principio los betunes que tienen más ácidos libres, es decir, más índice de acidez se emulsionan más fácil por vía aniónica y presentan muy buenas características de adhesividad con respecto a los áridos calizos. Por el contrario, los betunes con bajo índice de acidez se emulsionan fácilmente por la vía catiónica, pero presentan malas condiciones de adhesividad con los áridos silíceos y, después del rompimiento de la emulsión, se tarda en alcanzar una cohesión final y una expulsión franca y rápida del agua.

En algunos países se han modificado éstos betunes añadiéndoles proporciones de ácidos determinados para corregir éstos problemas de emulsificación y mala adhesividad.

El empleo de fluidificantes influye en las características de la emulsión:

- Pequeñas cantidades de fluidificantes disminuyen la viscosidad y aumentan la estabilidad.
- Los derivados del petróleo producen emulsiones más viscosas.
- Los aceites de alquitrán usados como fluidificantes producen emulsiones menos viscosas y con granulometría más continua.

Independientemente de lo anterior pueden producirse en la emulsión numerosas variaciones de sus características, en función de la contaminación o de las impurezas que contenga el ligante bituminoso.

En la práctica se pueden indicar cuales son las características más importantes para conseguir una buena emulsificación:

## TIPOS SOL Y SOL-GEL:

Contenido de:

<b>Componentes</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Asfaltenos	18 - 26
Resinas	30 - 42
Aceites	44 - 50
Resinas cálcicas	15 % del contenido de resinas.
Parafinas	Bajo
Ácidos nafténicos	Índice > 1
Salas	Bajo contenido

### B).- EMULSIONANTES O EMULGENTES.

Los emulsionantes desempeñan la triple misión dentro de las emulsiones, tal como las indicamos a continuación.

- Conservar la emulsión como tal, protegiendo superficialmente las partículas de betún con cargas eléctricas, que provocan que las mencionadas partículas se repelan entre sí y, por tanto no rompa la emulsión.
- Activar iónicamente el ligante bituminoso, favoreciendo la posible cubrición de los áridos al emplearse en obra, y hacer que una vez rota la emulsión y cubierto el árido por el ligante, éste continúe manteniendo a lo largo del tiempo unas condiciones aceptables de resistencia al desplazamiento por el agua.
- Aparte de todo ello, el emulsionante tiende a facilitar en el momento de fabricación la dispersión del betún en agua tal como se desea.

Los emulsionantes son, fundamentalmente, de tipo aniónico o catiónico (según su carga eléctrica se desplace al ánodo o al cátodo). Su molécula consta de una parte que tiene gran afinidad por el ligante bituminoso y que queda firmemente anclada a él, y de otra parte cargada iónicamente, que es la que da lugar a la formación de la micela de betún con sus cargas eléctricas alrededor.

los cuales generan unas fuerzas repulsivas, responsables de la estabilidad de la emulsión.

La caracterización de la eficacia o poder emulsionante de los distintos productos que existen en el mercado es compleja; pequeñas variaciones en las formulaciones de éstos pueden acarrear un diferente comportamiento en la emulsión final.

Los emulsionantes no sólo se quedan en la emulsión tapizando a las partículas del betún, sino que cierta parte de ellos permanece en la fase acuosa. La proporción de ambas cantidades puede influir notablemente sobre las propiedades de la emulsión.

La mezcla de dos emulsionantes de características distintas no proporciona necesariamente unas características medias a las emulsiones resultantes, sino que crea unas emulsiones de características típicas.

La función de un emulsionante como agente tenso activo y como estabilizante no puede optimizarse simultáneamente, ya que, en cierta medida, la mejora de una propiedad va en detrimento de la otra. Por consiguiente, hay que llegar a soluciones de equilibrio para optimizar ambas funciones.

Los emulsionantes, aún cuando estén presentes en concentraciones muy bajas, poseen la propiedad de alterar la energía de la superficie de sus solventes a un grado extremo. Estos productos químicos se caracterizan por tener una cola larga hidrofóbica hidrocarbónica (que repudia el agua), y una cabeza polar hirofilica (que le agrada el agua).

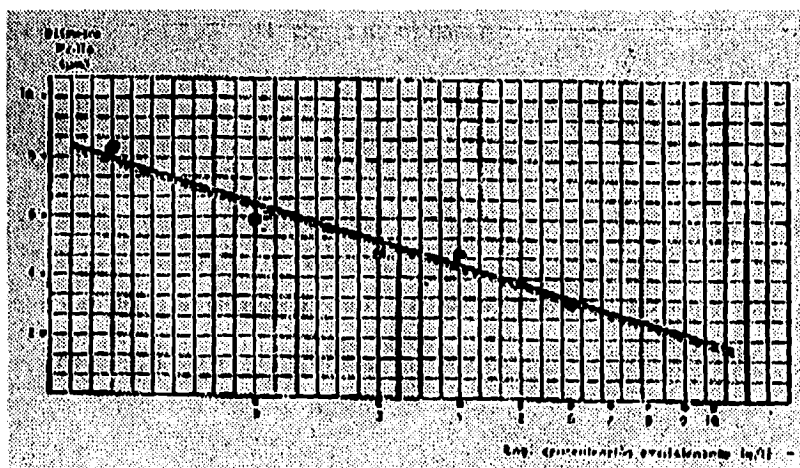
Los emulsionantes asumen ésta forma polarizada cuando están disueltos en agua se ionizan o se disocian.

En la interfase entre el asfalto y la fase de agua de cualquier emulsión, la cabeza hidrofílica de la molécula emulsionante se orienta así misma hacia el medio polar, tal como el agua.

La cola hidrofóbica de la molécula del emulsionante se orienta hacia el medio polar como el asfalto. La molécula, activa de la superficie, actúa como un puente entre las dos fases, bajando la energía de la superficie y haciendo una transición entre fases menos abrupta.

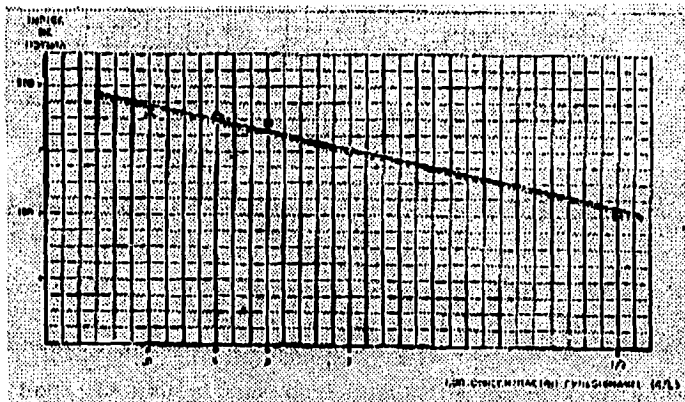
La influencia de la cantidad de emulsionante en las propiedades de una emulsión se pone de manifiesto en distintos aspectos:

- Un aumento en la cantidad del emulsionante disminuye el tamaño medio de la partícula de la emulsión.



Variación del diámetro medio en función de la cantidad de emulsionante

- Un aumento en la cantidad del emulsionante hace, en general, emulsiones más estables, al menos hasta un cierto límite. Cantidades excesivas de emulsionantes pueden producir grumos, formados por racimos de partículas de ligante.

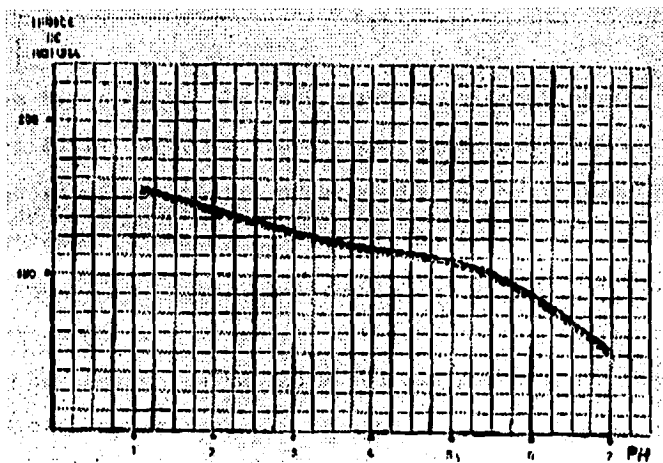


Variaciones del índice de rotura en función de la cantidad de emulsionantes

- La adhesividad de la emulsión a los áridos depende en gran manera del contenido de emulsionante y del pH de la misma.

C).- AGUA.

La influencia de la dureza del agua es poco importante en las emulsiones catiónicas, pero puede ser un gran inconveniente para las aniónicas.



Variación del índice de rotura con el pH de la fase acuosa

Existen diferentes procedimientos para combatir el problema de la dureza del agua a la hora de emulsionar un betún determinado. En general, los sistemas son caros y pueden ser de dos tipos:

- Tratamiento de las aguas para disminuir su dureza.
- Variación de la formulación de las emulsiones, aumentando la concentración de emulsionante o variando la naturaleza del mismo para compensar los efectos de la dureza.

#### **D).- ADITIVOS.**

Además de los componentes fundamentales que se han expuesto anteriormente, los emulsionantes pueden venir acompañados por una serie de aditivos introducidos con el fin de mejorar alguna característica concreta de la emulsión bituminosa (viscosidad, adhesividad, etc.).

En algunos tipos de mezclas bituminosas (slurry, mezclas densa), pueden emplearse, para la envuelta de los áridos (agregados pétreos) una emulsión con estabilidad insuficiente sí, previamente, se ha tratado el árido con aditivos que retrasen la rotura de la emulsión.

La naturaleza química de éstos aditivos es también la de clorohidratos de aminas y, generalmente, están constituidas por clorohidratos de poliaminas grasas o de mezclas de poliamina y diamina.

A la hora de emplear algunos de éstos aditivos, hay que tener muy en cuenta tanto su naturaleza como la del emulsionante contenido en la emulsión, pues en caso contrario se puede producir un grave deterioro en la calidad de la mezcla.

## **I.2.4. PROCESO DE FABRICACION DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS**

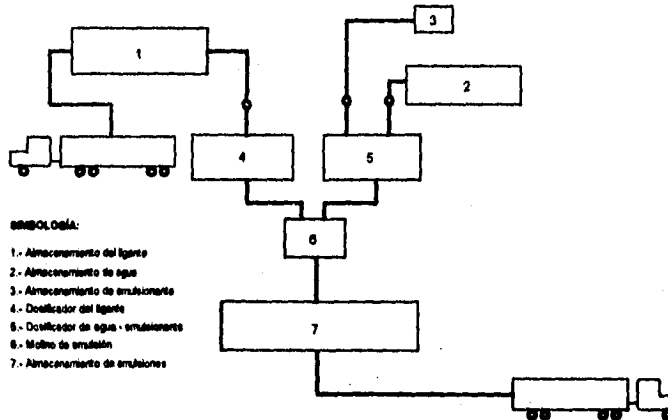
Las emulsiones bituminosas se fabrican en instalaciones especiales, que pueden ser muy sencillas o que pueden tener un alto grado de complejidad. En cualquier caso, la pieza básica de todas las instalaciones o plantas de emulsiones es el aparato que sirve para dispersar el betún en el agua. Los aparatos más extendidos de éste tipo son los molinos coloidales, aunque también emplean difusores, agitadores, etc.

La calidad final del producto depende, de unos pocos elementos mecánicos que son relativamente independientes de la calidad de la planta.

En general una planta de emulsiones consta de los siguientes elementos:

Sistema de almacenamiento de las materias primas (ligantes, emulsionantes, fluidificantes, aditivos, etc.).

- Sistema de bombas y tuberías para el trasvase y a veces, incorporación, mezcla y dosificación de componentes.
- Sistema de calentamiento: fuego directo con quemadores de petróleo o gasolina, vapor de agua y aceite térmico. El primer sistema tiende a eliminarse en la mayor parte de las plantas fijas. También se estudian otros sistemas como la energía solar para el calentamiento del agua.
- Sistema de fabricación: homogeneizadores, difusores y molinos coloidales. De la máquina elegida para la fabricación dependen gran parte de las propiedades finales de la emulsión.



**Esquema de una fábrica de emulsiones**

La desintegración mecánica es uno de los procedimientos más utilizados en la obtención de partículas de magnitud próxima a la coloidal. Para la preparación de emulsiones asfálticas se utiliza éste mismo principio, existiendo en el mercado cuatro máquinas distintas que son:

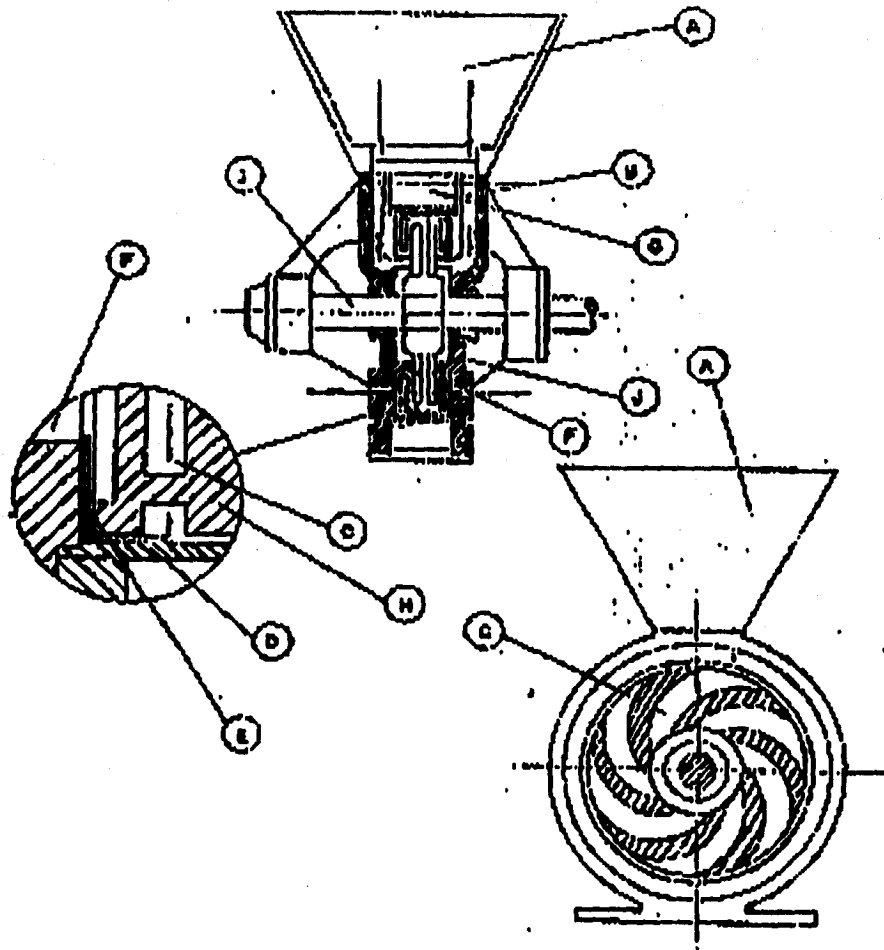
- Turbo mezcladores.
- Molinos de Conos.
- Difusores.
- Agitadores.

A continuación describiremos los dos tipos más usuales, turbomezcladores y molinos de conos.

### **TURBOMEZCLADORES**

Su principio no sólo se basa en el empleo de la fuerza centrífuga sino, sobre todo, en la sucesión de una serie de laminaciones intensas y de choques violentos y repetidos, que aseguran una desintegración completa y una mezcla homogénea de los componentes.





Esquema de un turbomezclador

En la figura anterior podemos ver que los productos a tratar se admiten en una tolva (A) y, simultaneamente por cada uno de los orificios (B),son atraídos por succión, llenando sucesivamente las cavidades (C) existentes entre la paletas curvas del rotor (H). Como consecuencia de la gran velocidad

de rotación (del orden de las 3000 rpm) la fuerza centrífuga proyecta los productos con gran violencia contra la cara interna del estator y los obliga a atravesar el espacio existente entre el estator y el rotor (de 0.3 a 0.5mm).

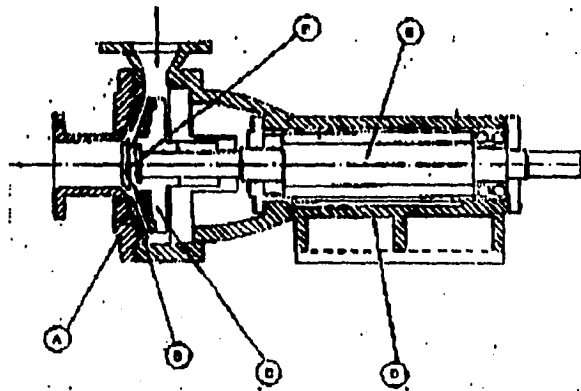
Este paso por el espacio de laminado es facilitado y determinado por el perfil especial de los canales del rotor que van ejerciendo ésta influencia sucesivamente, sometiendo las partículas a una división mecánica intensa, hasta la expulsión de los productos por los canales de salida (F).

Técnicamente éstos molinos están formados por los siguientes elementos:

Una tolva receptora(A). Un bastidor o un cuerpo (G) donde va alojado el estator intercambiable (D), un rotor acanalado en su interior, que es el que imprime velocidad a los elementos a dispersar, atravesando por un eje (I) y apoyado en dos cojinetes laterales, dos tapas laterales (E) que cierran el conjunto (J) y un motor de arrastre conectado por transmisión de correas.

#### MOLINOS DE CONOS:

Su principio técnico se basa en el trabajo efectuado sobre los fluidos en unas zonas de aceleración o de desaceleración radial.



Molino de conos

Por éste sistema, las sustancia que deben de ser emulsionadas son sometidas a grandes y rápidas variaciones de presión.

Los molinos de conos pueden ser de eje vertical u horizontal y están constituidos por una carcasa o tapa (A) con alojamiento de entrada de líquidos que hace a la vez de estator, éste estator en su parte interna de forma cónica, y fresado en su cara externa formando dientes (B), dependiendo el perfil del fresado del producto que se vaya a tratar, un rotor (C) también de forma cónica que ajusta con el estator y fresado a su vez en forma de dientes en su cara externa, un elemento de soportes (D) de todo el conjunto donde se apoya el eje de transmisión (E) y los cojinetes de rodadura de dicho eje.

Para los productos sensibles a la temperatura éstos molinos suelen ir equipados de una doble pared para su calefacción.

Para alimentar la zona de molienda en productos muy viscosos o con objeto de hacer una preenvuelta, lleva colocado un bi sin fin (F) en la boca de la entrada y solidario al eje de rotación.

Existen algunos tipos que, mediante un tornillo de precisión, permiten la regulación de la separación de los conos para poderlos ajustar al trabajo que se está realizando o al desgaste producido por el propio trabajo.

El tipo de molido y la fuerza de corte desarrollada influyen en la calidad final de las emulsiones.

La temperatura del betún tiene una gran importancia en la calidad de la emulsión fabricada. Por razones elementales, la suma de temperaturas del agua y el betún no debe pasar de los 195°C, ya que de ser así el agua empezaría a hervir originando problemas de vapor, y se podrían producir cavitaciones dentro del molino que redundarían en una malísima calidad de la emulsión y en una pequeña producción. Pues bien, se ha podido comprobar que la temperatura del agua puede oscilar entre los 30° y los 60°C, según los tipos de ligantes utilizados, y que subir más ésta temperatura no proporciona ninguna ventaja en la calidad de la emulsión, ya que la única manera de mantener ésta calidad es

de fabricarla con un ligante suficientemente caliente y poco viscoso. Es decir, es preciso subir más la temperatura del betún a costa de mantener la temperatura del agua más baja.

Algunos autores han demostrado que las características de la emulsión son favorecidas si se pueden someter a un proceso rápido de enfriamiento, por ejemplo mediante un intercambiador de calor, una vez terminada la fabricación. En ciertas emulsiones catiónicas, cuando se fabrican con exceso de emulsionantes buscando una alta estabilidad, se pueden formar grumos de betún, constituidos por verdaderos racimos de miscelas. Esto se traduce en un alto residuo en el ensayo de tamizado. Pues bien, se ha podido detectar, según las condiciones de fabricación de la emulsión, temperatura, forma de enfriamiento, etc., que éstos grumos pueden producirse o no, y que su cantidad puede ser muy variable.

Las plantas de emulsión más primitivas dosifican los componentes mediante sistemas volumétricos, en depósitos y calderas previamente cubicadas.

Hoy en día se usan para la dosificación bombas, las cuales dosifican los productos antes de la entrada en los molinos, eliminando las calderas. Las bombas dosificadoras más usadas para éste fin son las alternativas y las rotativas.

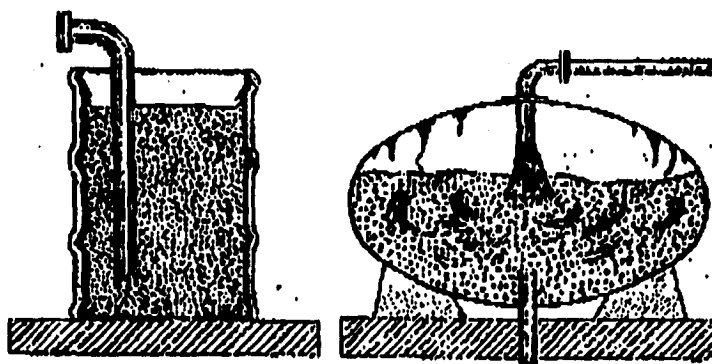
### **1.2.5. ESTABILIDAD EN EL ALMACENAMIENTO**

Las emulsiones de betún están sometidas a ciertas limitaciones en su manejo y almacenaje si se pretende que no se modifiquen sus propiedades. Los problemas más frecuentes que se pueden producir en relación a ésta característica son los siguientes:

## A).- ESPUMAS:

Los emulsionantes que se utilizan en éstas fabricaciones, por su misma naturaleza, son capaces de formar espuma y, por tanto, se debe de tener cuidado de no mezclar aire con éstas emulsiones, es decir, no se deben de agitar violentamente, ni verter en cascada, etc. Para ello, el transporte debe de hacerse en cisternas con rompeolas o tabique que compartimentan el interior. El llenado de cisternas debe de hacerse prolongando la tubería con una manguera flexible hasta unos 10 o 20 cm. del fondo de la cisterna.

Si se desea homogeneizar no se hará con agitadores muy revolucionados; se utilizaran bombas de reciclado suficientemente herméticas, con objeto de que no aspiren aire. En principio, no se deben utilizar antiespumantes sin antes consultar con el fabricante, pues la mayor parte de éstos productos efectos contrarios a los emulsionantes.



ALMACENAJE CORRECTO

ALMACENAJE DEFECTUOSO

Forma de almacenaje

## B).- NATAS Y SEDIMENTOS:

Durante el almacenamiento se producen dos fenómenos perturbadores que se acentúan al transcurrir el tiempo. Por un lado en la zona de contacto con el aire, se forma una película endurecida que protege el resto de la emulsión; para que se mantenga es aconsejable el almacenamiento en depósitos cilíndricos de eje vertical alimentados desde el fondo. Por otro lado, se produce una decantación, aumentando la viscosidad en las zonas inferiores del depósito.

Existen diversos procedimientos, tales como utilizar agentes estabilizantes, aumentar la concentración de la emulsión o bien lograr una mayor finura de la dispersión. Mientras no se produzca la rotura de la emulsión, el fenómeno de la decantación es perfectamente reversible, llevándose a cabo mediante sistemas de agitación y trasvase.

## C).- MEZCLAS

Las emulsiones, según los tipos, tienen carácter ácido o básico y sólo son estables en éstos medios. Por otra parte, sus micelas, según sean catiónicas o aniónicas, están cargadas positivamente o negativamente.

Si una emulsión básica se mezcla con un medio ácido o se ponen en contacto con cargas positivas, la emulsión se coagulará (es decir que romperá) por reacción electroquímica. Es pues muy importante no mezclar emulsiones aniónicas con emulsiones catiónicas, ya que tienen cargas opuestas. Si se trata de diluir las emulsiones, deberá de tenerse en cuenta que el agua de dilución sea básica o ácida, aunque no sea más que ligeramente, y que no tenga cargas opuestas a las de la emulsión con la cual se va a mezclar. Un caso común es el de las aguas duras (  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  ) que provocarán la rotura, aunque no sea nada más que parcial (formación de coágulos), de las emulsiones aniónicas. Es muy importante la limpieza de los bidones cuando han contenido emulsiones de distintos tipos a los que se van a utilizar en un momento determinado.

#### **D).- ADITIVOS**

Es frecuente pretender activar las emulsiones porque no se han comportado bien con un determinado árido. Normalmente éste problema se resuelve utilizando otro tipo de emulsión. Aunque en la actualidad se investiga la mejora de las emulsiones asfálticas en cuanto a su compatibilidad con los áridos, sin embargo, en principio la idea de activar añadiendo los activantes normales de betunes y cut-backs es una técnica que no aporta ventajas, y que además puede provocar la rotura de las emulsiones por la incompatibilidad de los activantes con la emulsión.

#### **E).- TEMPERATURA**

Los productos de los que estamos tratando son estables y conservan todas sus propiedades a temperaturas comprendidas, aproximadamente, entre los 5°C y los 80°C. Por debajo de los 5°, las micelas de las emulsiones se endurecen excesivamente, aumentando la viscosidad del betún residual y, por tanto, disminuyendo la adhesividad propia del mismo. Además, disminuye el volumen de las micelas, aumentando su densidad y favoreciendo finalmente la sedimentación.

El aumento de la temperatura produce dos efectos importantes. Por una parte, aumenta la energía cinética de las moléculas del emulsionante, por lo que fácilmente "abandonan" las micelas de asfalto, disminuyendo la estabilidad de la emulsión. Por otra parte, a estas temperaturas la evaporación del agua es tan grande que se forman "natas" de betún en la superficie del líquido, las cuales obstruyen las bombas, los difusores de riego, etc.

#### **1.2.6. ESTABILIDAD DE LA EMULSION FRENTE A LOS ARIDOS**

Se trata de un problema complejo, relacionado con la forma de rotura al entrar en contacto la emulsión con los áridos. Depende por ello tanto del tipo de

emulsión como del tipo de árido; cuanto más fino sea éste último más rápida será la rotura, también dependiendo ésta última de la humedad que contenga el árido, de la climatología de la zona, del tipo de emulsionante, el tipo de ligante del pH.

Las emulsiones más estables son las llamadas de rotura lenta y se caracterizan por poderse mezclar con un filler sin que rompa. Según la experiencia que se posee actualmente, una emulsión es de rotura rápida cuando, mezclada con 100g. de filler tipo, puede admitir hasta 80 g. de éste último. Una emulsión es de rompimiento lento si se puede añadir más de 120g. de fillertipo sin que ésta rompa.

La estabilidad de una emulsión ante los áridos es determinada para su empleo en distintos tipos de obras:

- Tratamientos tales como los de imprimación o mezclas con suelos de grano fino, esto sólo puede hacerse con emulsiones que tengan gran estabilidad con los áridos.
- Una falta de estabilidad de la emulsión ante los áridos determina una mala envuelta, aunque la adhesividad de la emulsión sea excelente. Tal es el caso de las mezclas en frío, que por suciedad de los áridos o por falta de estabilidad, no se llegan a obtener unas condiciones correctas.

### **I.2.7. CONTROL DE CALIDAD EN LAS EMULSIONES ASFALTICAS**

En éste apartado desarrollaremos los ensayos de las emulsiones. En primer lugar los ensayos con la emulsión en sí y, a continuación, los ensayos con el residuo de la destilación.

Antes de comenzar debemos de tener presente que es de vital importancia la adecuada toma de muestras, los cuales ya se encuentran normalizados y pueden catalogarse como de fácil realización.



### 1.2.7.1. ENSAYOS SOBRE LA EMULSIONES

NOMBRE DEL ENSAYO	OBJETIVO	MODO OPERATIVO
<b>DESTILACION</b> <b>NLT-139/72, ASTM D 244-8</b>	Tiene por objeto el conocer la cantidad de asfalto, fluidificantes y agua contenidos en la emulsión. Además dá una idea de la volatilidad de los fluidificantes usados.	Se pesan 200 gr. de emulsión en una retorta y se monta en un aparato de destilación. Se eleva la temp. hasta los 260°C y se mantiene durante 15 min. Como resultado del ensayo se obtienen los porcentajes del residuo asfáltico, de fluidificantes y de agua referidos al total de la emulsión.
<b>VISCOCIDAD SAYBOLT-FUROL</b> <b>NLT-138/72.</b> <b>ASTM D 244-22/24</b>	Determina de manera cuantitativa la viscosidad, propiedad fundamental en los pavimentos flexibles.	Se usa el viscosímetro Saybolt con orificio de calibrado Furol. Se realizan medidas a 25°C y 50°C según el tipo de emulsión. El proceso consiste en llenar el tubo con 60 cm.3 de emulsión y se mide el tiempo que tarda en fluir. El resultado se expresa en seg. Saybolt.
<b>SEDIMENTACION</b> <b>NLT-140/72.</b> <b>ASTM D244-28/32</b>	Determina los cambios de concentración del ligante que tiene lugar a diferentes alturas del tanque en el que se encuentra almacenada la emulsión.	Se llena una probeta con 500cm.3 de emulsión y se mantiene durante 5 días en un lugar donde no sufra golpes ni vibraciones. Pasado ese tiempo se extrae una muestra de la parte superior y otra de la parte inferior y se calcula el porcentaje de asfalto residual por evaporación de ambas. La diferencia en valor absoluto entre los porcentajes de éstos es el resultado del ensayo.

NOMBRE DEL ENSAYO	OBJETIVO	MODO OPERATIVO
<b>DEMULSIBILIDAD</b> <b>NLT-141/72,</b> <b>ASTM D244-25/28</b>	Este ensayo pretende prever el comportamiento de las emulsiones catiónicas frente a los pétreos calizos.	A 100gr. de emulsión aniónica se le añaden 35 cm <sup>3</sup> de solución Cl <sub>2</sub> Ca 0.02 N empleando en ello 2 min. agitando mientras tanto. Posteriormente continua la agitación durante otros 2 min. Se filtra por un tamiz 1.25 UNE y se calienta a 163°C hasta peso constante. El resultado es (%) de asfalto separado de la emulsión respecto al (%) de asfalto de la emulsión obtenido en el ensayo de destilación.
<b>INDICE DE ROTURA</b>	Mide cuantitativamente el grado de rotura de una emulsión. $C = (P/E) \times 100$ P: peso del filler introd. E: peso de la emulsión. Este ensayo realizado por L.C.P.C. francés se evalúa la estabilidad química de las emulsiones.	En 100 gr. de emulsión se introduce un filler normalizado a una vel. de 0.2 a 0.3 gr./seg. agitando al mismo tiempo para garantizar la homogeneidad. El filler se agrega hasta la rotura completa de la emulsión. Se pesa entonces la cantidad de filler introducido y se calcula el índice de rotura "C".
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO</b>	Determina el tamaño de la micela de la emulsión.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Método por microscopio y conteo de las micelas.</li> <li>• Método de relación entre el tamaño de la micela y la opacidad de la emulsión.</li> <li>• Aparato de Coulter. Se basa en la diferencia de conductividad eléctrica entre el electrolito y las micelas del betún asfáltico.</li> </ul>

NOMBRE DEL ENSAYO	OBJETIVO	MODO OPERATIVO
<b>TAMIZADO</b> <b>NLT 142/72.</b> <b>ASTM D 244-38/41</b>	Se determina la cantidad de ligante dispersado en forma desordenada en la muestra lo cual puede radicar tanto en la mala fabricación como en la baja estabilidad.	El ensayo se realiza mediante el cernido por tamiz 0.80 UNE de 1000 gr. de emulsión. El residuo que queda en el tamiz después de lavarlo con una solución acuosa aniónica o catiónica según corresponda se seca en estufa a 105°C durante un lapso de 2 hrs. El resultado se expresa en (%) del residuo respecto al total de la muestra.
<b>DETERMINACION DEL AGUA DEAN SATARRK</b> <b>NLT 147/72.</b> <b>ASTM D244-3/7.</b>	Con éste ensayo se determina el porcentaje de agua con respecto al peso total de la muestra.	Se pesan 50gr. de emulsión en un matraz de vidrio de 500 cm <sup>3</sup> y se añaden 50 cm <sup>3</sup> de disolvente (xileno). Se monta el matraz en un aparato de destilación provisto de un refrigerante de reflujo que descarga en un colector y se aplica calor, recogiendo el destilado en dicho colector. Posteriormente por decantación se separa el agua del xileno y se calcula el porcentaje de ésta.

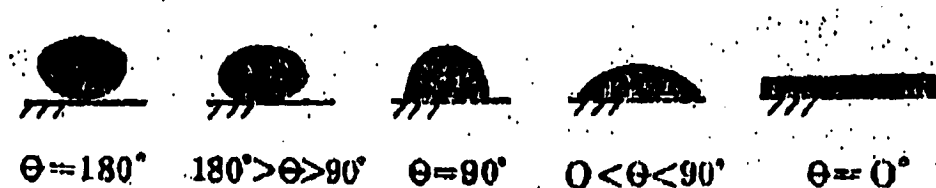
## 1.2.8. ADHESIVIDAD Y ACTIVACION

El tratar aparte y detalladamente la adhesividad se debe a su gran importancia y a la clara relación que existe con toda la tecnología en "frio" (llámese así a la técnica de elaboración de concretos asfálticos a base de emulsiones que no necesita dicho proceso de calentamiento) basada en el empleo de emulsiones.

Podemos definir a la adhesividad como la capacidad de un ligante residual para quedar fijo en el agregado, al cual recubre sin peligro de desplazamiento, incluso en presencia de agua y tráfico y como consecuencia, la activación de un ligante consiste en la adición de un producto llamado activante que tiene como fin mejorar la adhesividad del ligante frente al agregado que se utiliza. Y, por fin, activante es un producto que añadido al ligante mejora su adhesividad frente a un árido determinado.

Para que exista adherencia entre los materiales, la primera condición es que estén en contacto. En el caso de un ligante y un árido, como aquél es un líquido, la condición se concreta a que el ligante "moje" al árido. En segundo lugar, como la adherencia es un fenómeno que se produce en las superficies en contacto dependerá de las características de dichas superficies. Y por tanto, hay que estudiarlas a ambas para poder deducir su comportamiento cuando se produce el contacto.

Al depositar una gota de ligante sobre la superficie de un pétreo, se podrían, teóricamente, dar dos casos extremos, y toda una serie continua de intermedios, según se presenta en la figura:



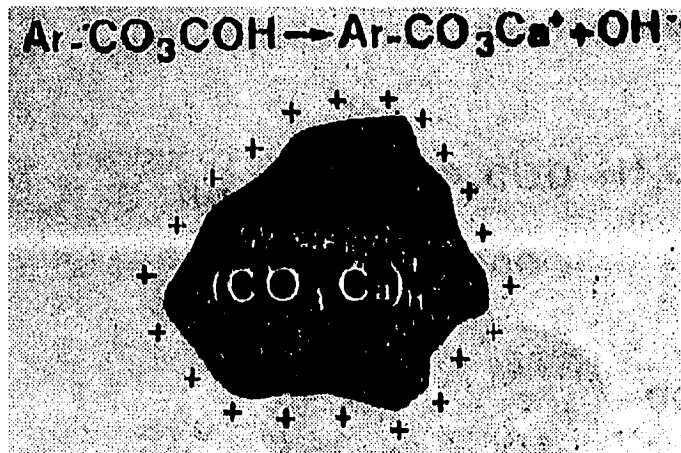
Esquema de gota de ligante

La experiencia muestra que el caso real que se produce cuando se trata de un ligante de carretera (alquitrán, betún, cut-back) y un pétreo, es un caso intermedio.

En los betunes, normalmente el ángulo de contacto está comprendido entre 90° y 180°, lo que indica que el agua tiende a desplazarse y que la adhesividad sólo puede basarse en circunstancias mecánicas, tales como son la textura superficial del pétreo, la porosidad del mismo, la ausencia de humedad, etc. Solamente cuando el ángulo de contacto es menor a 90° el ligante desplaza al agua.

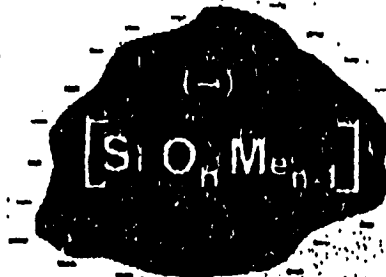
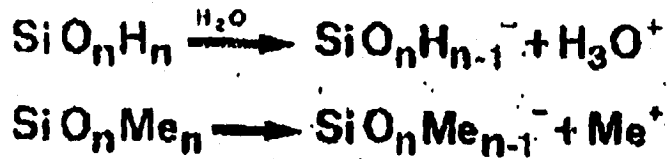
Para conseguir una buena adherencia se necesita añadir activantes al ligante, ya que éstos productos son capaces de disminuir la tensión interfacial ligante - agua, resultando una disminución del ángulo & por debajo de los 90°.

La reacción química de las superficies que se ponen en contacto provoca la ionización de los materiales que intervienen. Si se trata de un material calcáreo, estaremos ante una agrupación de moléculas de carbonato de calcio con una disposición más o menos geométrica, que dependerá del proceso de formación de la roca, pero siempre se tienen superficies minerales que, en presencia de la humedad natural, se ioniza de forma indicada en la siguiente figura.



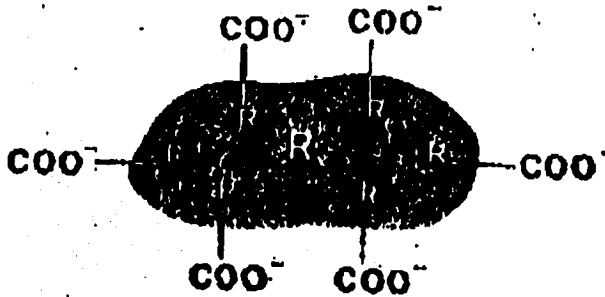
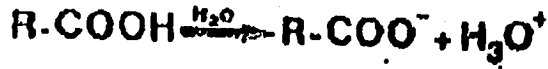
Ionización calcárea

A su vez los áridos silíceos o ácidos están formados por átomos de silíceo tetravalente, rodeado de grupos de oxígeno y cationes metálicos, y por tanto, un silicato con su humedad natural el cual puede esquematizarse de la siguiente manera:



Ionización negativa

Finalmente el betún asfáltico está constituido por grandes moléculas muy complejas, entre los que se encuentran grupos ácidos del tipo R-COOH, de forma que éstos grupos ácidos dan un cierto carácter negativo al betún asfáltico; se podría representar muy esquemáticamente como sigue:



Representación química del asfalto

Por tanto vemos que si se pone en contacto el betún asfáltico con un árido calizo se producirán fuerzas atractivas, ya que en sus superficies tienen cargas opuestas y éstas originan las fuerzas intermoleculares de adhesión fundamentalmente de tipo electrostático. En el caso de los áridos silicos y betún asfáltico, puesto que sus superficies están cargadas negativamente, se producirá una repulsión electrostática y, por tanto, la adhesión será muy problemática.

Es importante hacer notar que no todos los betunes asfálticos presentan la misma composición química. En general, los de origen americano tienen un contenido en oxígeno mayor que los de Oriente Medio, así como un mayor valor ácido, por lo que es presumible que sus cualidades adherentes frente a los ácidos calcáreos sean mejores.

Las características de los betunes anteriormente indicados no sólo tienen importancia cuando éstos se emplean puros en carreteras, sino también en los casos en los que se utilicen emulsiones. El proceso de emulsificación se ve favorecido o dificultado según las características propias del betún, y asimismo las cualidades posteriores de almacenabilidad, viscosidad y adhesividad de las emulsiones. Naturalmente, la influencia del tipo de betún es distinta según se trate de emulsiones aniónicas o emulsiones catiónicas.

### **I.3. AGREGADOS PETREOS A USAR EN LOS MICROAGLOMERADOS**

#### **ASFALTICOS**

En la mayor parte de los pliegos de prescripciones, las especificaciones de los agregados pétreos para utilizar en los morteros asfálticos son análogas a las incluidas para otro tipo de mezclas. Dada la peculiaridad de las lechadas y de los complejos mecanismos químicos que en ellas se desarrollan, conviene tratar al árido, sin embargo, como un material un tanto singular. Como existen de una manera operativa tres grandes familias de lechadas bituminosas (aniónicas, catiónicas rápidas con aditivo y catiónicas lentas), las exigencias con respecto a los áridos deben de estar condicionadas por el tipo de mortero que se vaya a utilizar, aparte de las condiciones del uso del pavimento y del tráfico de la misma. Otros tipos de mortero con carácter más experimental podrán tener exigencias diferentes de las que a continuación se detallan.

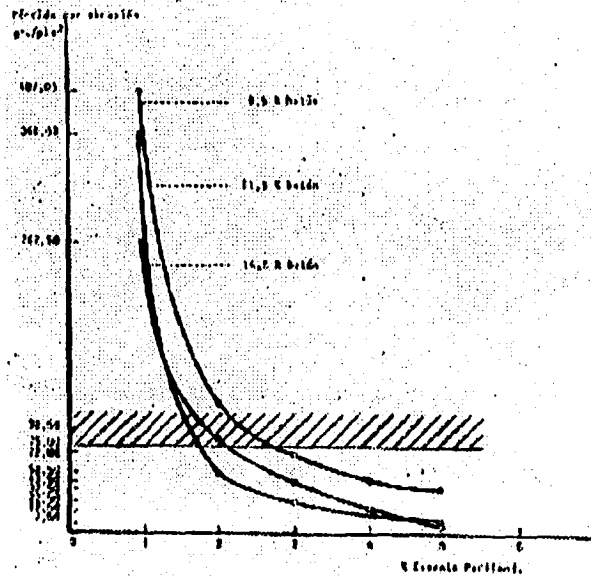
Las condiciones de buena calidad del árido fino que se exigen en las mezclas bituminosas deben de extremarse ya que los áridos están destinados a proporcionar una capa de rodadura con una microtextura importante. Debe de exigirse dureza, una proporción elevada de árido procedente de triturado y un contenido en sílice apreciable dentro del árido en conjunto.

La fracción más fina del árido, en la cual incluimos al filler, debe de tener una clara afinidad con la emulsión de que se trate. En éste sentido, hay que recordar las clásicas reglas de árido calizo con emulsión aniónica y árido silíceo, en principio, con emulsión catiónica. Sin embargo, la utilización de distintos aditivos y la propia naturaleza compleja de las lechadas bituminosas hacen que no baste simplemente, en la mayor parte de los casos, una caracterización apriorística del árido a base de ensayos normalizados, sino que se debe recurrir además a algunos ensayos de laboratorio de la lechada completa, generalmente éstos son ensayos de abrasión por vía húmeda desarrolladas principalmente en los Estados Unidos.

Se puede decir que el árido para la lechada bituminosa debe ser tal que, al fabricar y ensayar en el laboratorio unas probetas de abrasión, los valores obtenidos en el ensayo estén dentro de unas determinadas tolerancias.



Con lechadas bituminosas aniónicas, deben de emplearse áridos calizos; sin embargo, cuando se desea proporcionar a la superficie de rodadura una textura áspera y duradera, no se puede prescindir de áridos que contengan una proporción importante de sílice. En éstos casos, se ha podido demostrar, que añadiendo un filler adecuado, por ejemplo filler calizo o cemento, las condiciones de abrasión pueden ser adecuadas a partir de un cierto contenido de éste filler de aportación.



Gráfica de variación de la pérdida por absorción con el contenido de filler de cemento

En general con las lechadas bituminosas aniónicas se puede ser algo más tolerante con la actividad del filler y con el equivalente de arena del árido fino. Pueden considerarse como valores adecuados del equivalente de arena, en gran parte de los casos, los comprendidos entre 30 y 50, según el tipo de uso al cual se vaya a destinar, pero haciendo hincapié en que la bondad de éste árido deberá de comprobarse en un ensayo de abrasión. La mayor tolerancia en

los valores del equivalente de arena se justifica por la acción beneficiosa de los emulsionantes aniónicos sobre la fracción plástica del árido.

Los problemas de limpieza y calidad del árido son especialmente importantes cuando las condiciones climatológicas se alejan de las ideales. Para temperaturas muy altas, la velocidad de reacción, esto es, la velocidad de rotura de la emulsión, crece exponencialmente con dicha variable; por tanto, pueden presentarse serias dificultades de puesta en obra si, además el árido no reúne las condiciones necesarias de limpieza. Por el contrario, con temperaturas muy bajas es preciso recurrir a modificaciones en la emulsión, acortando la velocidad previsible de rotura, y al empleo de fillers adecuados para que la rotura se vea favorecida. También hay que tener presente la humedad del ambiente y la porosidad o absorción del árido.

### **1.3.1. GRANULOMETRIA Y CONTROL DE CALIDAD DE ARIDOS**

Generalmente cualquier tipo de árido utilizado para mezclas en caliente es utilizable en morteros asfálticos, se deberá eliminar todo el retenido en la malla 3/8" (9.5 mm.) y para el mortero fino, 98% o más del retenido en la malla del # 4 (4.76 mm.) o en la # 8 (2.38 mm.).

Es aconsejable el mezclar de varias granulometrías para dar una graduación requerida, para reducir el equivalente de arena o para reducir costos. Esta mezcla sólo deberá de hacerse si se puede controlar la granulometría, aún en el banco de almacenamiento.

**PRUEBA DE LABORATORIO:** Un estudio completo de laboratorio consiste en las siguientes pruebas:

- a) Prueba del equivalente de arena (AASHO-T176 ó ASTM D2419) para determinar el contenido de arcillas expansivas y limos.
- b) Cribado (AASHO-T27 ó ASTM C136) para determinar la granulometría usando 6 ó 8 muestras al azar.

- c) **Peso específico aparente (AASHO-T84 ó ASTM C128) para hacer la corrección de densidad del agregado.**
- d) **Prueba Centrífuga (California Highway Dept. T303 B) para determinar contenidos de asfalto.**
- e) **Peso Unitario (AASHO-T 19 ó ASTM-C29) y el efecto de varias proporciones de humedad con el objeto de encontrar la óptima para el correcto fraguado.**
- f) **Abrasión (ASTM-C131) y desgaste (AASHO-T104 ó ASTM-C88) por intemperismo.**

De entre todas las pruebas de laboratorio, sólo la de equivalente de arena no contribuye a establecer la correcta proporción durante el mezclado. Con el aumento de arcillas y limos, decrece la calidad del mortero. Cuando el equivalente de arena baja del 45% y pueden darse las siguientes situaciones:

1. **Se incrementa el contenido de asfalto.**
2. **Hay contracciones durante el fraguado.**
3. **Disminuye la resistencia a la abrasión.**
4. **Algunas emulsiones rompen prematuramente.**

Son éstas razones más que suficiente para nunca utilizar materiales con equivalente de arena menor al 45%.

**CAPITULO II**

## **MICROAGLOMERADOS ASFÁLTICOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE UNA VÍA DE ACCESO CONTROLADO (CD. DE MEXICO)**

### **II.1. ELECCION DE LOS MATERIALES A UTILIZARSE**

Hemos visto en el capítulo anterior los tipos de morteros asfálticos, que son dos básicamente los aniónicos y los catiónicos, debiéndose el rompimiento de los primeros a la acción puramente de la evaporación del agua y el de los segundos a la reacción química de los emulgentes que contiene la emulsión.

En la ciudad de México, el cual es el caso que trataremos en ésta tesis los agregados pétreos que predominan son neutros y silíceos por tanto recordando la regla que vimos en capítulos anteriores la emulsión que le acomoda es de tipo catiónica. Por otro lado las necesidades que predominan en obra nos dictarán el tipo de mortero a utilizar.

Sabemos que en la ciudad es casi imposible trabajar de día en una avenida de importancia, sin que el cierre de la vía (que va intrínseco en éstos trabajos) nos trastorne el flujo vehicular en las zonas aledañas. Supongamos simplemente que se cierre el Periférico circulación de sur a norte en un tramo comprendido entre Av. San. Antonio y Viaducto Miguel Alemán en horas pico Desquiciáramos la circulación de gran parte de la ciudad, provocando sobrecargas en vías alternas que nos llevarían a embotellamientos incontrolables en las mismas.

Para seleccionar el tipo de materiales adecuados, debemos establecer nuestras necesidades. A continuación presentaremos los factores que influyen en la selección de los materiales; pero cabe aclarar, que ninguno tiene más peso que el otro:

1. Vía en la que se va a trabajar. Consultaremos el aforo vehicular de la avenida en cuestión así como un plano de avenidas alternas para determinar rutas de desfogue que podrán ser utilizadas por el usuario durante el tiempo que duren los trabajos.

2. **Horario de trabajo.** Con el aforo vehicular del punto anterior podremos determinarlo, aunque como hablamos de una vía de acceso controlado casi damos por asentado que tendremos que trabajar en un tiempo muy restringido el cual comprenderá según las normas del D.D.F. de las 11:00 p.m. a las 5:00 a.m.
3. **Datos meteorológicos de la zona.** Generalmente en el D.F. la autorización para éste tipo de proyectos se realiza cuando ya es época de lluvias, por tanto, debemos de considerar la humedad ambiente y las temperaturas que predominan en esa época y en ese horario. Para ello nos auxiliaremos de los registros del Servicio Meteorológico Nacional sobre éstos dos factores con una antigüedad suficiente al período semejante del año anterior.
4. **Estado del Pavimento flexible a tratar.** Con esto, quiero dar a entender que si presenta grietas en exceso, necesitaremos que nuestro mortero penetre perfectamente en éstas, para ello tendremos que utilizar un slurry seal de granulometría que tienda a ser fina. Por el contrario si las condiciones de la carpeta nos indican que requerimos de una textura rugosa, en consecuencia tendremos que fabricar un microaglomerado de granulometría gruesa.

Con todos éstos puntos podemos darnos cuenta del tipo de mortero a diseñar, en nuestra ciudad podemos asignar que haremos un microaglomerado asfáltico tipo catiónico; que tendremos que controlar perfectamente el rompimiento de la emulsión, para lo cual lo más seguro es que tengamos que hacer uso de un aditivo para el rompimiento de la emulsión y otro para la expulsión del agua.

Debemos considerar que la dosificación de las lechadas bituminosas consiste, igual que en todas las mezclas, en la determinación de una fórmula de trabajo que establezca las proporciones adecuadas de árido, filler, ligante bituminoso y aditivos que sean necesarios. Esta fórmula debe asegurar un buen comportamiento en obra respecto a la estabilidad, textura y durabilidad. En caso de las lechadas bituminosas, no basta con determinar dicha fórmula, sino que es necesario, además, indicar la cantidad de agua idónea que facilite la puesta en obra y proporcione la consistencia adecuada para una buena trabajabilidad.

### II.1.1. TIPOS DE SLURRY-SEAL

Según la Asociación Internacional de Slurry-Seal, reconoce tres tipos de agregados para la fabricación de éste:

Clasificación	Usos
TIPO I FINO 1/8"	Se usa para máxima penetración en las grietas. Se utiliza generalmente como sello en áreas de poco tránsito.
TIPO II GENERAL 1/4"	Este es el más ampliamente utilizado y se usa para sellar, corregir defectos severos, oxidación y pérdida de aglutinante y para aumentar la resistencia al derrape. Se usa en tráfico moderado y pesado.
TIPO III GRUESO 3/8"	Se ocupa para corregir serio defectos de la superficie, como primer capa de un tratamiento múltiple, para dar resistencia al derrape, para prevenir el patinaje por agua bajo cargas muy pasadas y para extender la vida útil de la carpeta asfáltica bajo, esas condiciones.

### II.1.2. SELECCION DEL DISEÑO OPTIMO

Para la selección del mortero en su fórmula óptima es necesario que hagamos pruebas de ensayo y error en el laboratorio tratando de reproducir en la mayor cercanía posible las condiciones que predominaran en obra.

Debemos entonces establecer los parámetros:

- a).- Límite máximo WTAT ( $0.08 \text{ gr./cm.}^2$ )= contenido mínimo de asfalto.  
b).- Límite máximo LWT = contenido máximo de asfalto.

**Para límites de tráfico:**

Ligero 0 a 500 vehículo/día prom. (0.065 gr./cm.<sup>2</sup>).

Medio 250 a 1500 vehículo/día prom. (0.059 gr./cm.<sup>2</sup>)

Pesado 1500 a 3000 vehículo/día prom. (0.054 gr./cm.<sup>2</sup>).

c).- Tolerancia de trabajo.

## **II.2. PROCESO CONSTRUCTIVO**

La operación del mortero asfáltico incluye muy diversas faces, en éste trabajo trataremos de ordenarlas y dar una explicación a cada una de ellas.

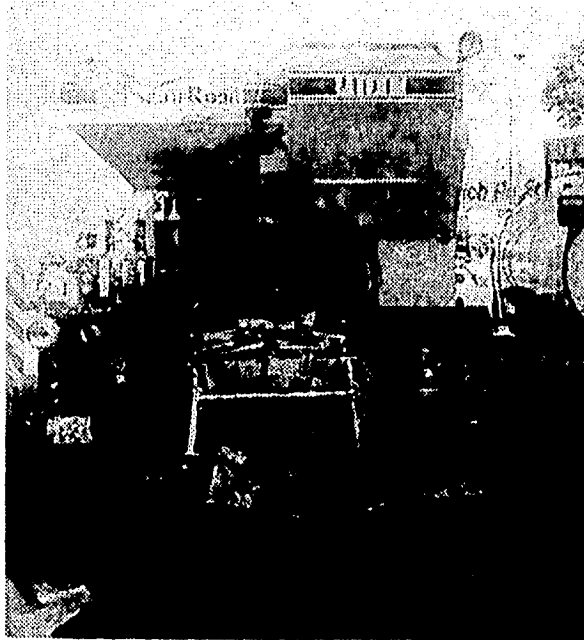
- 1. CONTROL DE TRAFICO:** Muchas personas protestan durante la ejecución de los trabajos. En la mayoría de las avenidas del D.F. se tendrán que cerrar al paso de los vehículos de una manera total o parcial durante el tiempo que dure la jornada de trabajo, éste cierre incluye también el impedir el paso a los peatones y animales domésticos que pueden dañar el mortero que aún se en cuentre fresco. El contratista será el encargado de colocar señalamiento de protección y prevención, tales como barreras, caballetes, conos de plástico, señales luminosas intermitentes, bandereros, etc. y todo lo que disponga la supervisión. En paginas siguientes se muestra esquematizado cierres tipos de cierres a la circulación y las principales señales a utilizar.
- 2. LIMPIEZA DE LA ZONA DE TRABAJO:** Deberá de darse un barrido a la zona a tratar para liberarla de polvos y grasas que pudieran provocarnos una mala adherencia del microaglomerado. Esto podrá llevarse a cabo con maquinaria especial para barrido o con obra de mano.
- 3. TENDIDO DEL SLURRY SEAL:** Para tender el mortero es necesario utilizar la máquina extendedora de la cual omitiremos una explicación de su funcionamiento para no hacer demasiado largo y tedioso éste inciso. Gran parte del éxito de un mortero se debe a los conocimientos y habilidad de la cuadrilla que opera la máquina; éste equipo de obreros consta de un sobrestante, un operador, un chofer de la máquina y dos o más peones;



cada uno de ellos deberá de conocer el programa a seguir en cada tramo. En caso de no contar con un sobrestante el operador estará al mando. El chofer deberá de conocer perfectamente las señales que le mande el operador para los giros y velocidades del camión ya que de ésto depende en gran medida la calidad del trabajo terminado en las juntas. El chofer debe de conocer perfectamente el trabajo de modo que él y el operador puedan periódicamente intercambiar sus puestos. A continuación presentamos una foto de un camión extendedor de lechada bituminosa, trabajando junto con su cuadrilla.

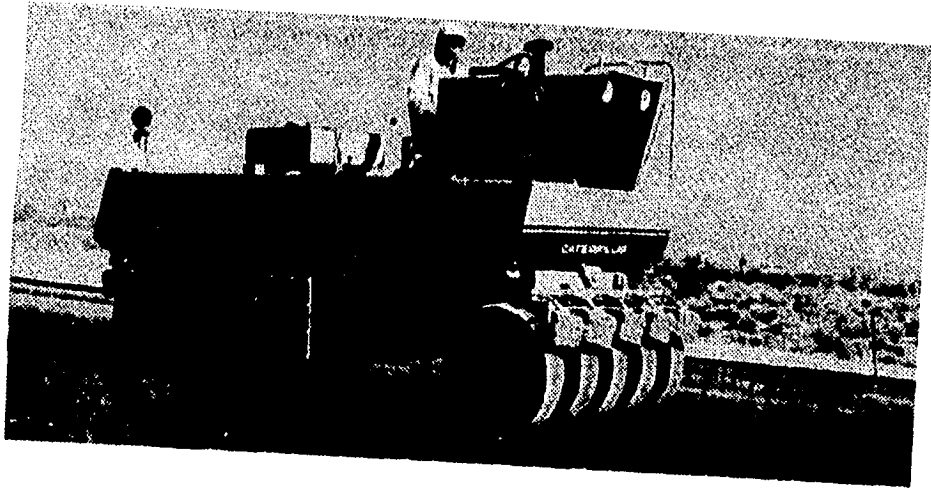


Foto de aplicación de mortero



**Máquina extendedora del mortero**

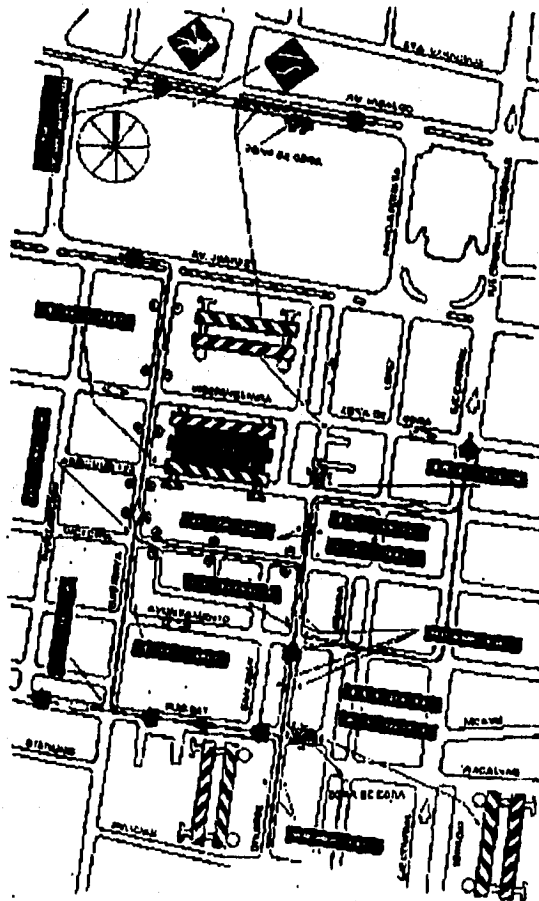
4. En ocasiones es necesario compactar el mortero para que acabe de expulsar el agua que todavía tiene atrapada, para ello se utilizará un compactador de neumáticos. Como ya vimos los morteros asfálticos tiene vacíos después de fraguados. Esta compactación es más efectiva y necesaria en morteros que pierden el agua por expulsión pues resulta al final del fraguado en una superficie más porosa.



Compactador neumático para Slurry



Compactador de rodillos



- ⊙ SEÑAL DE "NO ESTACIONARSE" (PROYECTO)
- ◆ RUTA DE DESVIACION
- ↔ SENTIDO ACTUAL DEL TRÁNSITO
- ➔ SENTIDO DE PROYECTO

Figura 0.19. Señalamiento de protección de obras y desviaciones del tránsito en la zona limitada por las calles de Eje Central, Av. Hidalgo, Luis Moya y Delicias.

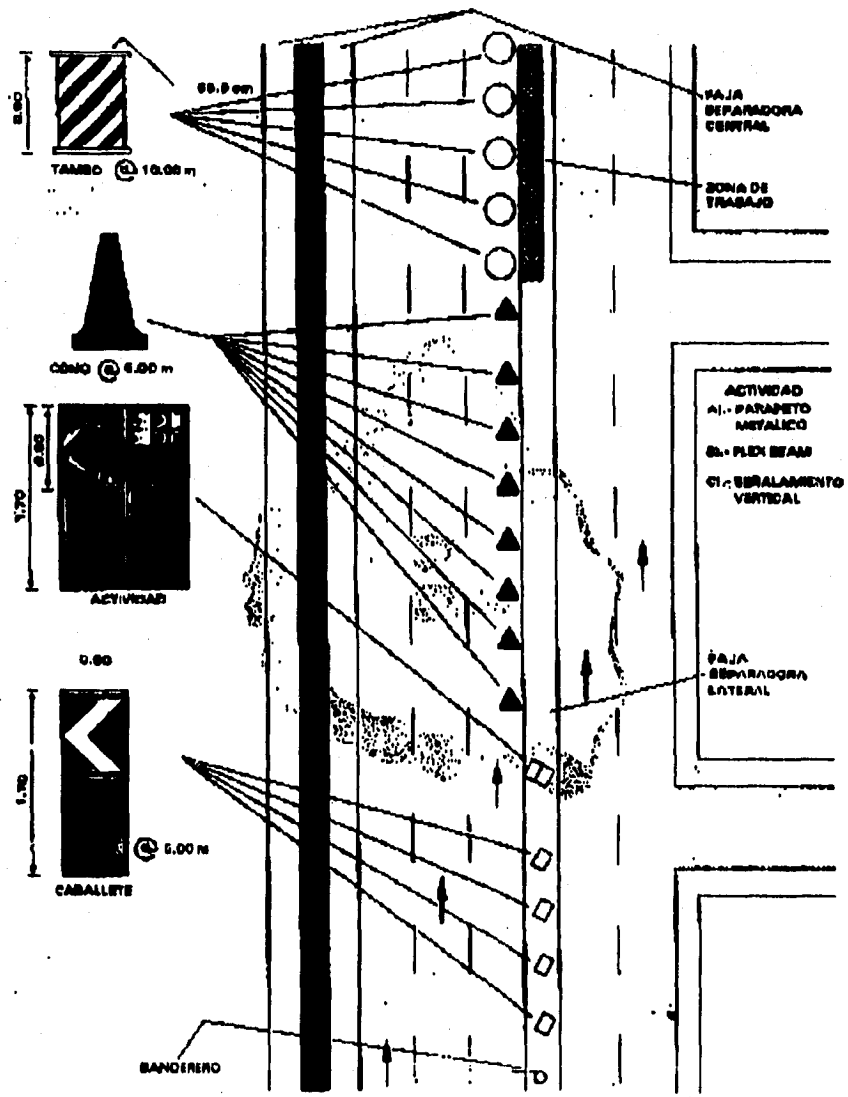


Figura 8.24. Señalamiento tipo para la clausura de uno o más carriles de circulación para efectuar trabajos de limpieza y pintura. (turno diurno).









## **II.3. PRINCIPALES DEFECTOS DEL MICROAGLOMERADO ASFALTICO**

La técnica de las lechadas asfálticas es relativamente delicada y compleja, interviniendo en ella un conjunto de factores que deben de contribuir a un resultado satisfactorio. Cuando se producen defectos, es preciso estudiarlos, analizando las causas, para poder corregirlos debidamente.

### **II.3.1. DEFECTOS ORIGINADOS POR LOS MATERIALES**

*a).- Arido con falta de finos.*

La textura superficial es gruesa observándose como la emulsión, en el caso de los morteros aniónicos, o el agua en el caso de los morteros catiónicos, fluyen libremente entre los granos gruesos.

*b).- Arido con exceso de finos.*

Los contenidos elevados de filler condicionan la aparición de un rizado transversal con grumos, tomando la lechada una pastosidad que dificulta su extensión, y apareciendo en la parte ya extendida un rizado transversal que es característico.

En el caso de las lechadas catiónicas, además de los efectos que dijimos con anterioridad, se observa, al aumentar el filler, un previsible aumento del consumo en aditivo, pudiéndose llegar, si éste es muy acentuado, a la aparición de los defectos inherentes al exceso de aditivo.

## **II.4. CONTROL DE CALIDAD**

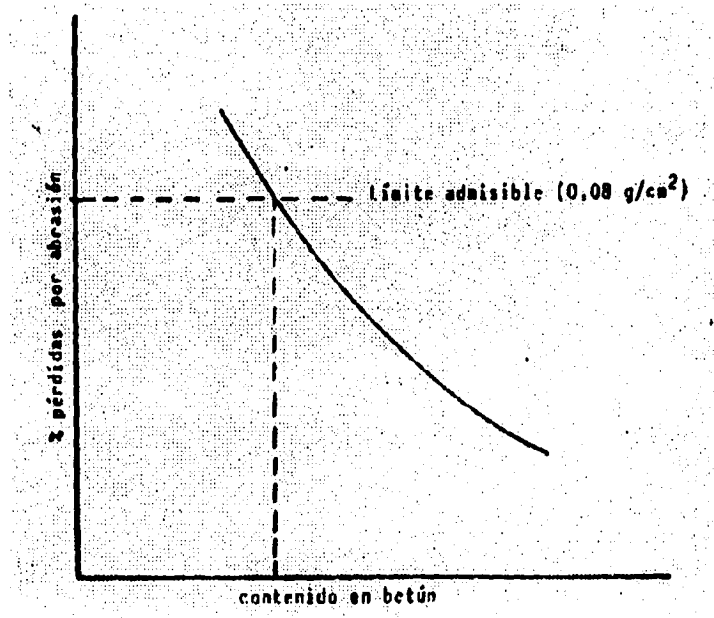
### **II.4.1. CONTROL DE CALIDAD EN EL LABORATORIO**

Como vimos en el capítulo anterior dimos un recorrido a través del control de calidad de los elementos que constituyen un mortero asfáltico pues, además de esos es necesario que hagamos unas pruebas de laboratorio a la mezcla dosificada según nuestro diseño para verificar su correcta funcionalidad aplicada ya en campo.

En los microaglomerados asfálticos, debido al escaso espesor de la capa, la resistencia a la abrasión es una de las características esenciales ya que la fórmula fundamental de resistir a la acción del tráfico consiste en evitar que éste pueda degradar lentamente el mortero eliminando partículas minerales del mismo. Por ello la mayor parte de los procedimientos de control de calidad consisten en la revisión de la puesta a punto de la mezcla por métodos de abrasión por vía húmeda, bajo distintos tipos de acción abrasiva: rueda metálica, elemento de goma, etc. Entre éstos procedimientos se incluyen los dos siguientes: El propuesto por la *International Slurry Seal Association*, en la que el contenido óptimo de emulsión se determina apartir de los ensayos W.T.A.T. y L.W.T. y el propuesto por el departamento de Transportes de California.

El primero es un ensaye de abrasión por vía húmeda o "*Whell Track Abrasion Testing*" y consiste en someter a una probetas circulares de mortero de 27cm. de diámetro y 5mm de espesor, curadas previamente a 60°C hasta peso constante y sumergidas en agua, a la acción abrasiva de una goma que actúa sobre ellas mediante un movimiento de giro sobre dos ejes paralelos. El ensayo dura 5 minutos y la probeta se encuentra sumergida en un baño de agua a 25° C. La pérdida en peso define su resistencia a la abrasión, referida a una superficie unitaria.

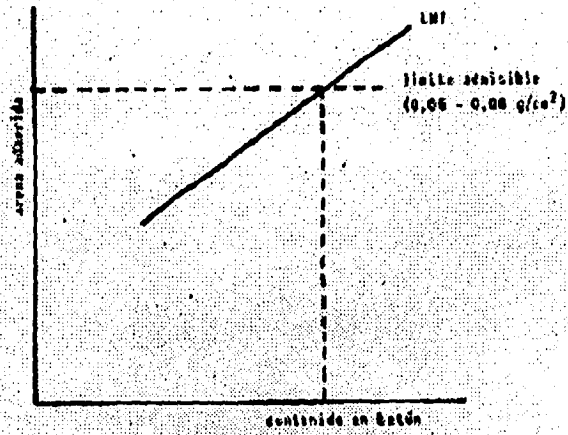
En la siguiente figura podemos ver la forma de la curva que resume el anterior ensayo.



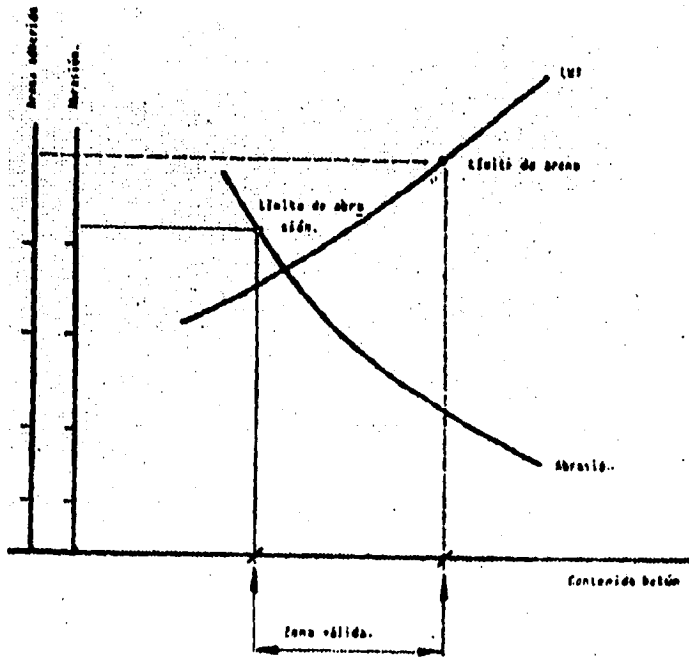
Gráfica de la curva típica obtenida en el ensayo WTAT

Por otra parte la prueba denominada "*Loaded Wheel Tester*" consiste en síntesis, en una rueda de caucho blando de una pulgada de anchura y tres de diámetro que, bajo cargas que pueden ser viables y a razón de 44 ciclos/min. circula sobre una probeta de mortero de 5 cm. de anchura y 35 cm. de longitud.

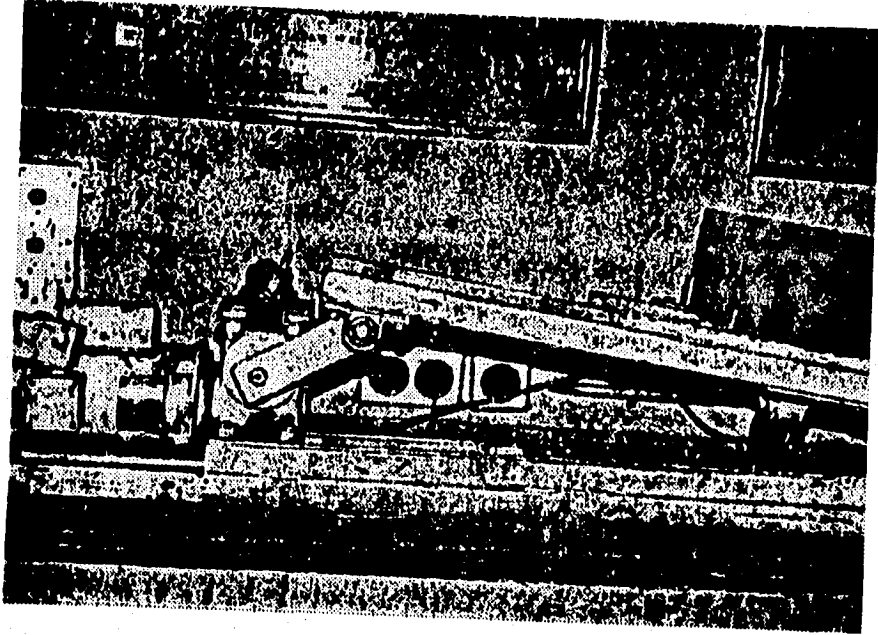
La máquina L.W.T. permite medir el ligante exudado después de someter las probetas de lechada a un proceso de compactación de 1000 ciclos, pesando la arena absorbida por el asfalto excedente en superficie. Este ensayo y el anterior descrito agrupados obtenemos el contenido óptimo de emulsión. Según vemos en la gráfica siguiente:



Gráfica de la curva típica obtenida en el ensayo LWT



Gráfica del contenido óptimo de emulsión



**Figura de la máquina LWT**

## **II.4.2. CONTROL DE CALIDAD EN OBRA**

Este epígrafe lo incluimos en ésta tesis ya que es muy importante el poder tener un control sobre todas nuestras actividades en obra, y entre éstas se encuentra el asegurarnos de que los trabajos al final de su realización cuenten con una calidad muy convincente a los ojos de los demás y para el mismo constructor. En obra se implementan métodos y normas que nos afiancen el alcanzar los resultados óptimos deseados. Para ello enunciaremos algunos de los puntos a seguir por los elementos de obra que se encuentren a cargo de los trabajos.

- 1. Revisar que al momento de suministrar los pétreos a ocupar éstos no vengán contaminados por materia orgánica o arcillas.**
- 2. Al ser suministrada la emulsión ésta deberá de venir a una temperatura ambiente ya que si viene en exceso caliente puede ocasionar problemas al ser utilizada en la mezcla.**
- 3. Se deberá implementar en obra una zona de almacén la cual se pondrá en una zona de preferencia techada, ventilada y sobre todo que se aseguren las condiciones de que los pétreos no se contaminen.**
- 4. Debe asegurarse el almacenamiento de la emulsión en tanques limpios en perfectas condiciones y que en su interior se asegure que no están oxidado (en caso de ser éstos metálicos).**
- 5. Al suministrarse la emulsión cada vez que éstos sean llenados deberán limpiarse previamente al vaciado de la nueva carga, para evitar incompatibilidades de las emulsiones y contaminación de las mismas.**
- 6. El vaciado de la emulsión en los tanques se hará cuidando los aspectos vistos en el epígrafe I.2.5.**
- 7. La aplicación de la mezcla por el camión deberá de estar perfectamente supervisada por el responsable cuidando aspectos de velocidad de la aplicación y acabado con el trabajo de mano.**

8. Si por alguna razón la mezcla rompiese adentro del camión, éste deberá de ser vaciado de inmediato, desechado el material, y limpiado con agua tuberías, zonas de almacenamiento del camión, la parte de mezclado del mismo, y la parte de extendido de la mezcla, para evitar una reacción química con los nuevos materiales.

**CAPITULO III**



## **MICROAGLOMERADOS ASFALTICOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE UNA AEROPISTA**

### **III.1. GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS DE UNA AEROPISTA**

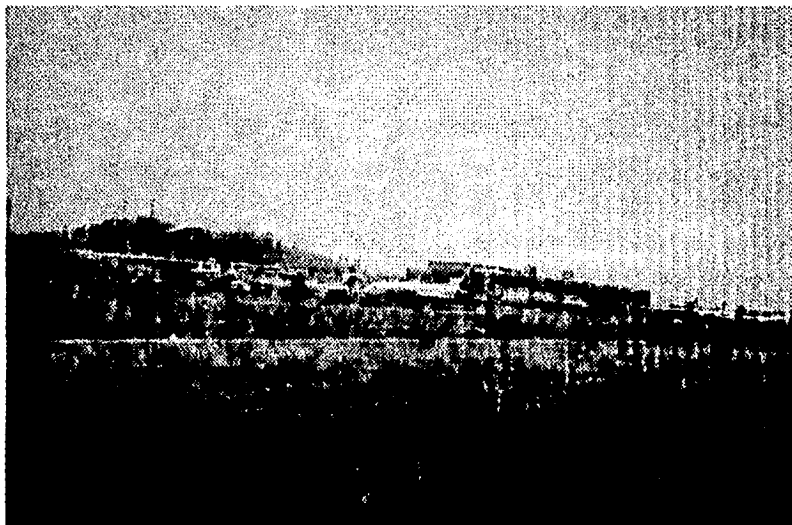
Se denomina *aeropista* o *pista* de un aeropuerto al área rectangular, despejada, libre de obstáculos cuyo eje longitudinal coincide con el de la *franja* de pista y adecuada tanto por su superficie, que puede ser pavimentada o no, como por todas sus características para el despegue y aterrizaje de las aeronaves.

Se llama *franja de pista* al área de terreno, de forma rectangular, alargada, despejada y libre de obstáculos, en el cual se efectúa operaciones aeronáuticas.

Las cabezas de pistas son zonas de 100m. a 150m. en los extremos de las pistas en los cuales, generalmente, los aviones calientan los motores.

Las aeropistas pueden clasificarse en los tipos A,B,C,D,E,F,G, y H según que pertenezcan a su correspondiente tipo de aeropuerto.

Se llama longitud básica de la aeropista a la necesaria para las operaciones de la aeronave a que se destina, en un sitio horizontal, al nivel del mar, en condiciones atmosféricas tipo y con viento en calma.



Detalle de una aeropista

### **III.1.1. GENERALIDADES DE LA CARPETA ASFÁLTICA EN UNA AEROPISTA**

El espesor de la carpeta asfáltica en las aeropistas debe de garantizar la perfecta impermeabilidad de la estructura así como la confiabilidad en la realización del trabajo para el cual fue construida.

Resulta entonces de suma importancia que se garantice tal impermeabilidad y para tal efecto se acopla muy bien el uso de los microaglomerados asfálticos, claro sin descuidar en su diseño que éstos serán la capa expuesta y será la primera en recibir el impacto de las llantas de las aeronaves en su regreso a tierra. Pero esto lo abundaremos más adelante, por ahora daremos un pequeño recorrido a través del diseño de los pavimentos para las aeropistas.

*Los esfuerzos en los pavimentos flexibles . Se estudian únicamente los debidos a las cargas del tránsito.*

Existen hasta nuestros días dos criterios principales para tal estudio, la Teoría de Boussinesq y la de Burmister. Al aplicar la primera de las dos se utiliza en pavimento la condición de área circular uniformemente cargada, representando el contacto entre la llanta y la superficie de rodaje.

### **III.2. SELECCION DEL MICROAGLOMERADO A UTILIZARSE**

Como en el capítulo anterior vimos los diferentes tipos de materiales que pueden formar un microaglomerado asfáltico; debemos de tener muy en cuenta la zona en la que se encuentre nuestro aeropuerto en lo relativo a zona climatológica, temperaturas predominantes en el horario proyectado de trabajo así como la humedad ambiente y los materiales pétreos que predominan en la zona para determinar el tipo de emulsión favorable a nuestra mezcla.

#### **III.2.1. DISEÑO DE LA MEZCLA**

Trataremos en éste epígrafe de resumir en unos cuantos puntos los factores que influyen en el diseño de la mezcla de slurry seal más apropiada dependiendo del lugar en el que se encuentre ubicado nuestro aeropista.

1. Determinar el tipo de agregado pétreo que existe en la zona y aplicar la regla que hemos visto con anterioridad:  
    árido silíceo y neutros = emulsión catiónica.  
    árido calizo = emulsión aniónica.
2. En base a los datos meteorológicos de la zona determinaremos los aditivos a utilizarse dependiendo de las necesidades de rompimiento de la emulsión y de las necesidades de expulsión de agua así como el tiempo disponible de trabajo.
3. Por lo general el tipo de slurry-seal será tipo I fino de 1/8" de gran penetrabilidad en grietas. La elección de éste tipo de mezcla es por consecuencia de la rigurosa medida del mínimo de desprendimiento de los agregados pétreos y por el tipo de frenado de las aeronaves ya que a

diferencia de los transportes terrestres su frenado no es por fricción en las llantas sino por la acción en reversa de las turbinas que provoca una fuerza contraria la sentido del desplazamiento de la nave la tocar tierra.

4. Se deberán hacer pruebas in situ para acercarse lo más posible a las condiciones que predominarán al hacer los trabajos y se harán los ajustes necesarios en el diseño de la mezcla monitoreando con las pruebas los resultados de tiempo de fraguado de la mezcla y de rompimiento de la misma así como la adhesividad a la base de aplicación.

### **III.3. PROCESO CONSTRUCTIVO**

El proceso constructivo es idéntico al explicado en el capítulo anterior por lo que para obviar tiempo no nos detendremos demasiado en la explicación de cada uno de los puntos y trabajos que lo integran.

#### **A) SEÑALIZACION Y CIERRE DEL AREA DE TRABAJO.**

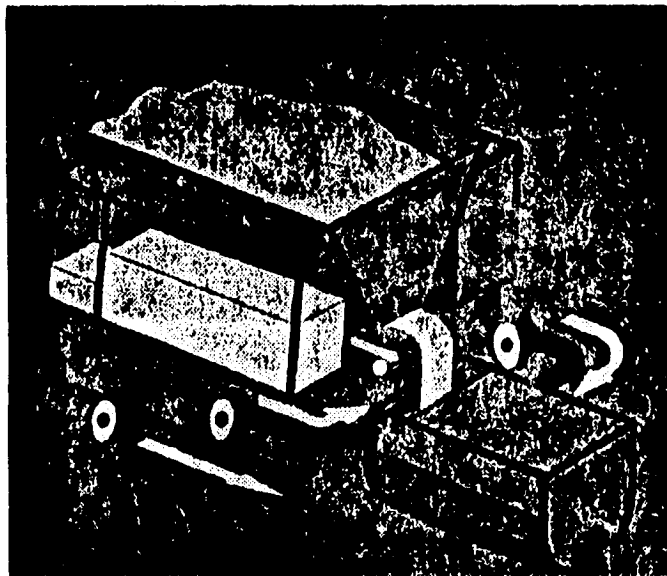
En la pista a trabajar se deberá de cerrar durante el tiempo que duren los trabajos, al tránsito de las aeronaves, de no ser posible ese cierre, se deberá de tener un perfecto control del fraguado del mortero para permitir el uso de la pista al terminar los ciclos de trabajo. La señalización se hará según las normas de A.S.A. (Aeropuertos y Servicios Auxiliares). con la iluminación necesaria en color generalmente rojo en posiciones perfectamente visibles desde el aire, donde la aeronave además de la indicación desde torre de control distinga la pista que se encuentra en trabajos de rehabilitación.

#### **B) BARRIDO Y LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE.**

Es de vital importancia que la superficie a tratar esté libre de tierras y polvos, basura que nos impida que se efectúe una verdadera adherencia del microaglomerado. Este barrido y limpieza se deberá hacer en los momentos previos a la extensión del slurry y se podrá hacer de manera manual o con medios mecánicos según las prioridades en tiempos y recursos humanos.

### **C) TENDIDO DEL MICROAGLOMERADO.**

El tendido de la mezcla para el microaglomerado se hace en la forma idéntica explicada en el capítulo anterior. Por medio del camión extendedor de slurryseal. A continuación daremos una breve explicación del funcionamiento de éste. La máquina de fabricación de mortero asfáltico se ha montado en un chasis de camión normal (dos o tres ejes de preferencia). Estas máquinas constan de una tolva portadora del árido y dos depósitos para el agua de preenvuelta y la emulsión. Un sistema de extracción conduce al árido a un conjunto mezclador, donde se le añaden, por éste orden, agua de preenvuelta, aditivos y emulsión, adecuadamente dosificados según diseño hecho con anterioridad. Dependiendo del slurry seal a fabricar, la máquina lleva depósitos auxiliares para aditivos, bien pulverulentos o bien líquidos, con sus sistemas respectivos de dosificación. En la parte trasera éstas máquinas cuentan con un gusano extendedor de la mezcla que va saliendo después de que ha sido incorporada perfectamente por el molino. Cabe hacer notar que éste tipo de maquinaria poseen dispositivos en la parte delantera del camión para prehumedecer el pavimento antes de que entre en contacto con el slurry seal.



**Esquema de una máquina extendidora de Slurry Seal**

#### **D) COMPACTACION DE LA MEZCLA YA APLICADA.**

En ocasiones es necesario que el microaglomerado asfáltico sea compactado por medios mecánicos con un vibrador de neumáticos para asegurar la expulsión del agua en las moléculas del mismo.

### **III.4. PRINCIPALES PROBLEMAS QUE PUEDEN PRESENTARSE**

Los problemas que se pueden presentar son exactamente los mismos que enunciamos en el capítulo anterior, pero además de ellos nos podemos topar con problemas debido por los materiales y problemas debido a la dosificación.

#### **III.4.1. ORIGINADOS POR DEFECTO DE LOS MATERIALES**

##### **a).- Arido con filler excesivo.**

Sobre todo con áridos calizos, cuando éstos han estado cierto tiempo acopiados bajo lluvias intensas el filler se segrega apelmazándose en terrones. Estos no se rompen en la batidora y sólo se rompen por la acción de la rastra o bien por la acción del tráfico, notándose en el primer caso ya en el pavimento unos rayones blancos en el primer caso o bien unos manchones localizados en el segundo caso.

##### **b).- Contaminación de arcillas.**

Los áridos con filler contaminado por arcillas produce una clara falta de adhesividad, e índices de abrasión muy elevados.

##### **c).- Emulsiones con baja Estabilidad.**

El empleo de emulsiones excesivamente inestables produce la rotura parcial de la mezcla de mortero asfáltico, dando lugar a la formación de pequeños grumos e incluso zonas de la rastra que contienen lechada ya rota.

### **III.4.2. ORIGINADOS POR DEFECTOS DE LA DOSIFICACION DE LA MEZCLA**

Este tipo de problemas se puede dar de diferentes formas, ya sea por defectos propios de la máquina de extensión o por errores debidos los cálculos hechos por laboratorio.

La primera es la irregularidad de batido o mezcla, causada por el desgaste anormal de los tacos rascadores de la espiral batidora, produciéndose una acumulación irregular y excesiva de emulsión ya rota en dichos tacos produciendo que se detenga totalmente en ocasiones la máquina mezcladora.

#### *Exceso o defecto de Aditivos.*

En el caso de las mezclas catiónicas, la inadecuada dosificación o el consumo elevado de aditivo, conduce a graves defectos de calidad de la lechada. En éstos caso la adhesividad es francamente mala y su cohesión es peor.

### **III.5. CONTROL DE CALIDAD**

El control de calidad es exactamente igual al descrito en el capítulo anterior sólo que en ésta caso difieren las especificaciones exigidas por la dependencia contratante ya que el desprendimiento de áridos debe de ser mucho menor.

**CAPITULO IV**



## **MICROAGLOMERADOS ASFALTICOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE UN CAMINO CARRETERO**

### **IV.1. BREVE DESCRIPCION DE CARRETERAS Y SU CLASIFICACION**

Los medios de comunicación por tierra, agua y aire son conocidos como los motores de la vida social, y poderosos instrumentos de la civilización, apareciendo en cada uno de ellos variedades que dependen de la clase de elementos y de la manera de utilizarlos. Así en los transportes por tierra se tienen las carreteras y los diferentes tipos de éstas.

Algunos acostumbran a llamar CAMINOS a las vías rurales, mientras que el nombre de CARRETERAS se lo aplican a los caminos de características modernas, destinadas al movimiento de un gran número de vehículo pero se debe de utilizar ambos términos en forma indistinta.

Existen diversas clasificaciones de las carreteras en diferentes lugares del mundo, pero para efectos de ésta tesis utilizaremos las aceptadas por la práctica vial mexicana siendo ésta la Clasificación Técnica Oficial.

Esta clasificación permite distinguir en forma precisa la categoría física del camino, ya que toma en cuenta los volúmenes de tránsito sobre el camino al final del periodo económico del mismo (15 años) y las especificaciones geométricas aplicadas. La clasificación es como sigue:

**TIPO ESPECIAL:** para tránsito promedio diario anual superior a 3000 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 360 vehículos o más.

- 1) **TIPO A:** para un tránsito promedio diario anual de 1,500 a 3,000 equivalente a un tránsito horario max. anual de 180 a 360 vehículos.
- 2) **TIPO B:** para un tránsito promedio diario anual de 500 a 1,500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 60 a 180 automotores.

- 3) TIPO C: para un tránsito promedio diario anual de 50 a 500 vehículos el equivalente a un tránsito horario máximo anual de 6 a 60 autos.

En la clasificación técnica anterior se ha considerado un 50% de vehículos pesados (igual o mayor a 3.00 ton. por eje). El número de vehículos es total en ambas direcciones y sin considerar ninguna transformación de vehículos comerciales a vehículos ligeros.

Viendo ésta clasificación nos podemos dar cuenta de antemano que no cualquier tipo de microaglomerado asfáltico se acomoda para cualquier tipo de éstos caminos, sino que debemos tener muy en cuenta para el diseño de la mezcla el tipo de automotores que circularán en ella y las condiciones existentes del pavimento actual para poder determinar la finalidad que debe de cumplir nuestro mortero, pero eso lo trataremos de detallar en el epígrafe siguiente.

#### **IV.2. SELECCION DEL MORTERO ASFALTICO A UTILIZAR**

El proceso de selección de mortero asfáltico depende de las condiciones en las cuales se encuentre la cinta asfáltica a tratar y de la cantidad de automóviles que circulen por la misma dependiendo de la clasificación que vimos al inicio de éste capítulo.

Lo anterior lo decimos ya que si por ejemplo la superficie a rehabilitar se encuentra demasiado lisa y es de gran aforo vehicular, entonces le tendríamos que dar rugosidad para esa finalidad haríamos uso de un slurry seal del tipo III en los cuales ya vimos su granulometría en el capítulo II. Si por el contrario lo que nuestra carpeta asfáltica presenta varias fisuras nos convendría la utilización de un mortero del tipo I de gran penetrabilidad en grietas y fisuras.

Podemos inclusive hacer una combinación de los tipos de mortero según las condiciones de la superficie a dar tratamiento. Por ejemplo si tenemos una carpeta asfáltica fisurada pero nuestras necesidades nos requieren dar una superficie de rodamiento de mayor rugosidad entonces podemos proponer:

1. - La aplicación de la primera capa de un espesor pequeño del tipo I.
2. - La aplicación encima de la capa anterior de una de mayor espesor de slurry seal del tipo II o III dependiendo de las necesidades del camino y sin descuidar los elementos técnicos de compatibilidad de las emulsiones con los agregados con sí mismas.

**NOTA:** En éste epígrafe omitiremos la explicación de cada uno de los tipos de slurry seal debido a que ya lo hicimos en el apartado II.1.1. y corresponden exactamente a los mismos.

### **IV.3. DISEÑO DE LA MEZCLA A UTILIZAR**

El diseño de la mezcla se hará en la misma forma que hemos visto en los dos capítulos anteriores.

1. - Dependiendo del tipo de agregado pétreo que se encuentren disponible en el lugar de los trabajos dependerá el tipo de emulsión que utilizaremos haciendo uso de la regla que con anterioridad hemos visto.
2. - Se debe de considerar las condiciones ambientales predominantes en la zona a trabajar para determinar la humedad y temperatura ambiente que gobiernan en las horas establecidas para la ejecución de los trabajos, que en el caso de las carreteras es casi seguro que los trabajos se realizarán de día ya que debido a la extensión de los tramos y a las condiciones de aforo vehicular sería innecesario que se hiciera de noche. Con ésto determinaríamos si hay o no la necesidad de utilizar aditivos para la expulsión del agua y para el acelerar o retardar el rompimiento de la emulsión. Con esto queremos hacer notar que no es lo mismo trabajar en las temperaturas elevadas de Sonora a las temperaturas elevadas de Veracruz, ya que como sabemos la humedad ambiente es muy diferente y por tanto sería un factor determinante para la elección de los aditivos o bien en caso extremo de la elección del tipo de la emulsión.
3. - Es recomendable que antes de empezar los trabajos se compruebe que el diseño de la mezcla es el correcto haciendo pruebas del mortero en el lugar

a rehabilitar para hacer los ajustes necesarios y comprobar la adherencia del microaglomerado así como comprobar que se encuentra dentro de los límites aceptados para el desprendimiento de los agregados gruesos.

#### **IV.4. PROCESO CONSTRUCTIVO**

El proceso constructivo es exactamente idéntico al descrito en los capítulos anteriores, si a caso en éste particular difiere en cuanto a la señalización la cual deberá de hacerse según las normas especificadas por la S.C.T. a través de la dependencia des centralizada denominada Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Conexos.

La señalización se puede hacer cerrando únicamente un carril al acceso de los vehículos y trabajar en el otro si el camino a tratar cuenta únicamente un carril por sentido. No se debe descuidar la colocación de los bandareros para avisar a los conductores de la realización de los trabajos.

Si el camino cuenta con dos o más carriles por sentido entonces se podrá cerrar a la circulación uno de los sentidos y trabajar en ese y el otro se habilitará mediante la señalización correspondiente en una vía de ambos sentidos.

En otro aspecto constructivo en el cual también difiere la ejecución de éste tipo de trabajos en carreteras se basa en la organización de los almacenes los cuales deberán de establecerse con anterioridad para que puedan ser móviles y asentarse en diferentes puntos cercanos a la obra según se vaya avanzando para evitar al máximo los acarreos largos que puedan repercutir en el costo dal microaglomerado.

#### **IV.5. PRINCIPALES PROBLEMAS QUE PUDIERAN PRESENTARSE**

Los problemas que se pueden presentar son exactamente los mismos que describimos en los dos anteriores capítulos pero además de ellos nos podemos topar con problemas originados por el estado del pavimento a tratar.

**a).- Gravillas Sueltas.**

Los riegos de calidad deficiente y los aglomerados faltos de cohesión permiten que el paso de la rastra incorpore al microaglomerado gravillas que, al ser arrastradas por la rastra, producen rayas en el acabado final del mortero.

**c).- Pavimentos Abiertos.**

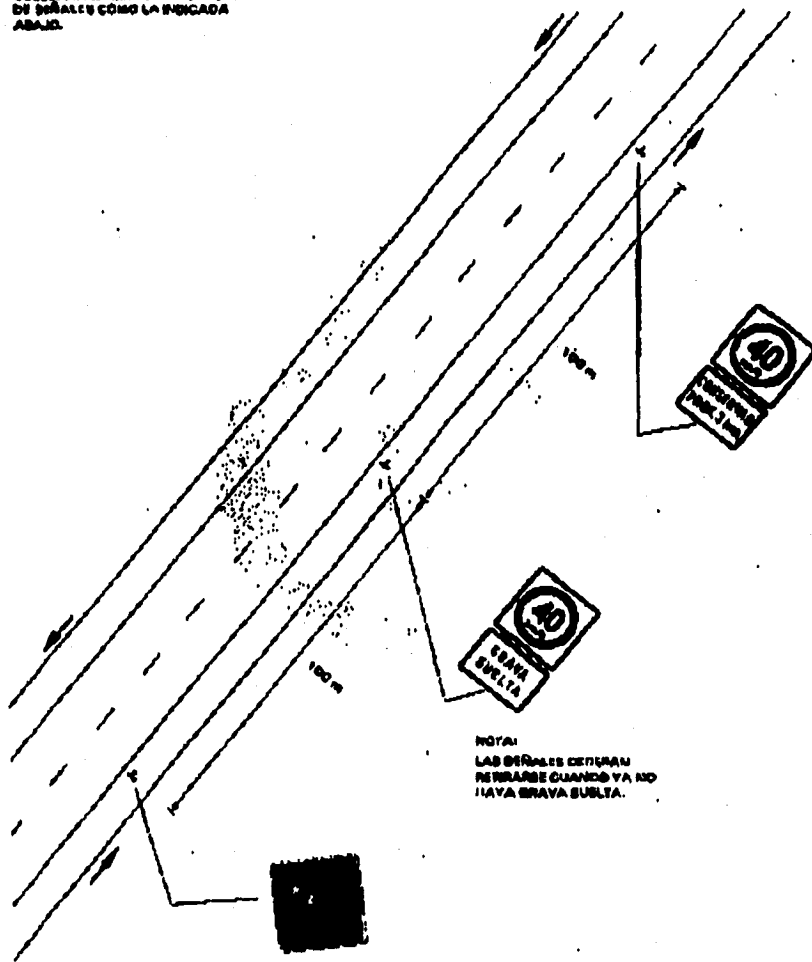
En aquellos casos en los que el pavimento sea muy abierto, total o parcialmente, se produce un fenómeno de infiltrado de la fracción líquida y finos de la mezcla, quedando en superficie sólo la fracción gruesa, pobre en líquidos, con lo que aparecen unos efectos similares cuando falta emulsión y agua de preenvuelta.

**d).- Pavimentos Sucios.**

Los depósitos de arcillas, muchas veces ocasionados por las mismas ruedas de la máquina, así como las manchas de estiércol del ganado, hojas, etc., conducen a una falta de adhesividad del mortero con el pavimento, produciéndose con suma facilidad la separación del microaglomerado.

El control de calidad para evitar éstas fallas se hará exactamente igual a lo descrito en el capítulo II.

EN EL SENTIDO CONTRARIO DE  
COLOCAR LA MISMA SECUENCIA  
DE SEÑALES COMO LA INDICADA  
ABAJO.



NOTA:  
LAS SEÑALES DEBEN  
RETRASARSE CUANDO YA NO  
HAYA GRAVA SUELTA.

Señalización típica para un tramo de carretera en donde se ha ejecutado el bacheo y hay grava suelta.

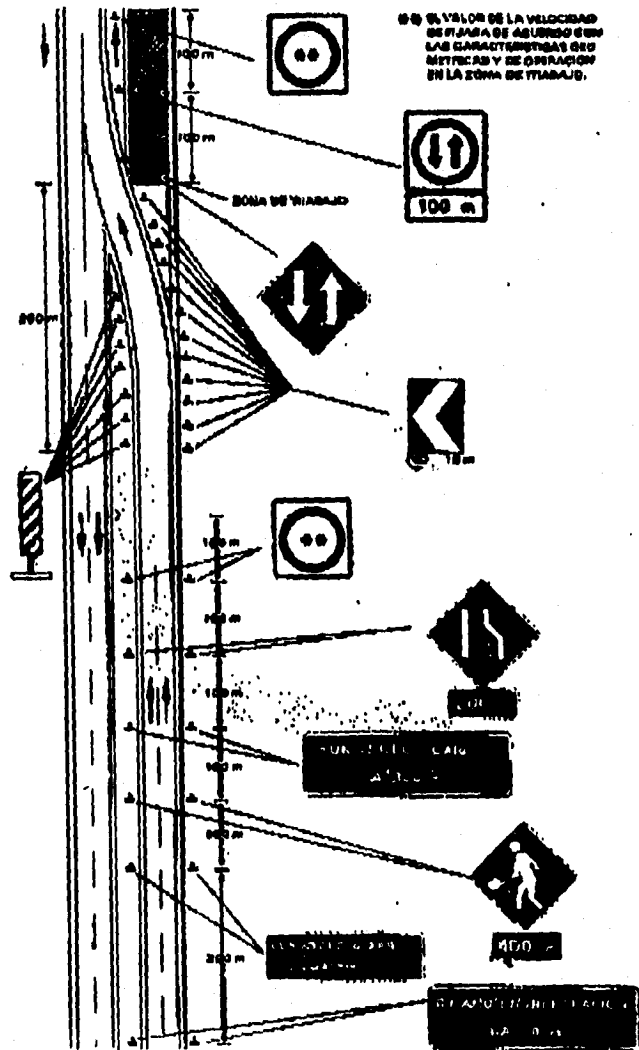


Fig. 1. Señalamiento de protección por reducción de cuatro a 2 carriles por reparación de un tramo de autopista.

**ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA**

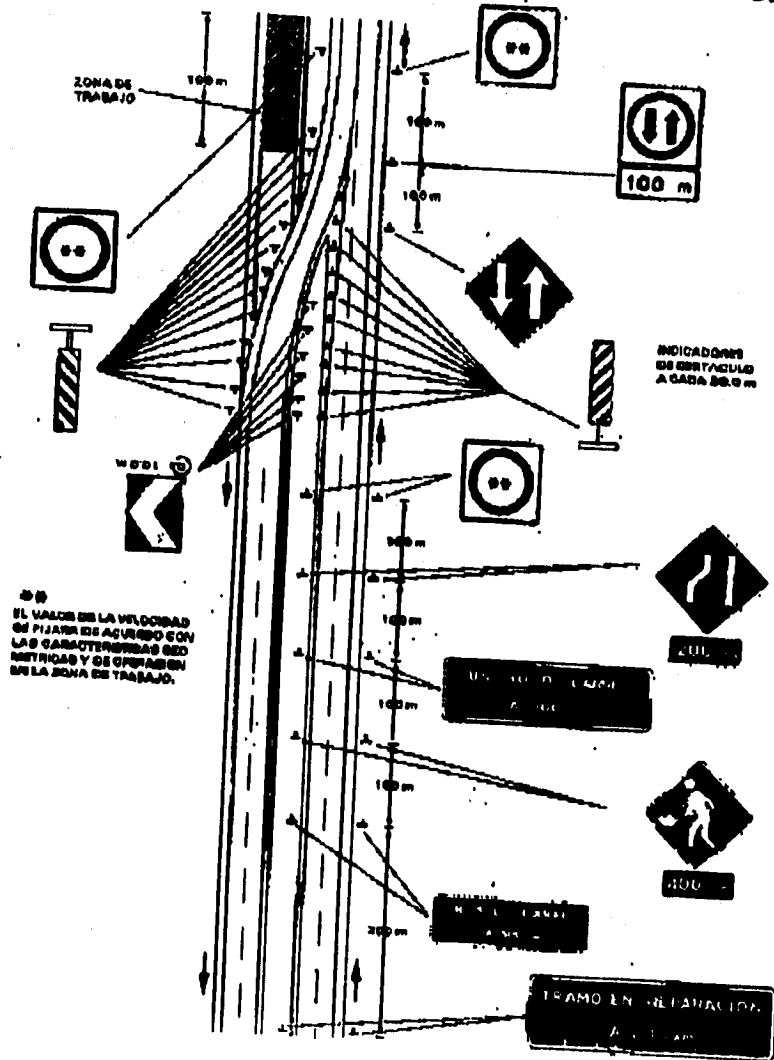


Fig. 2 Señalamiento de protección por reducción de 4 ó 2 carriles por reparación de un tramo de autopista.



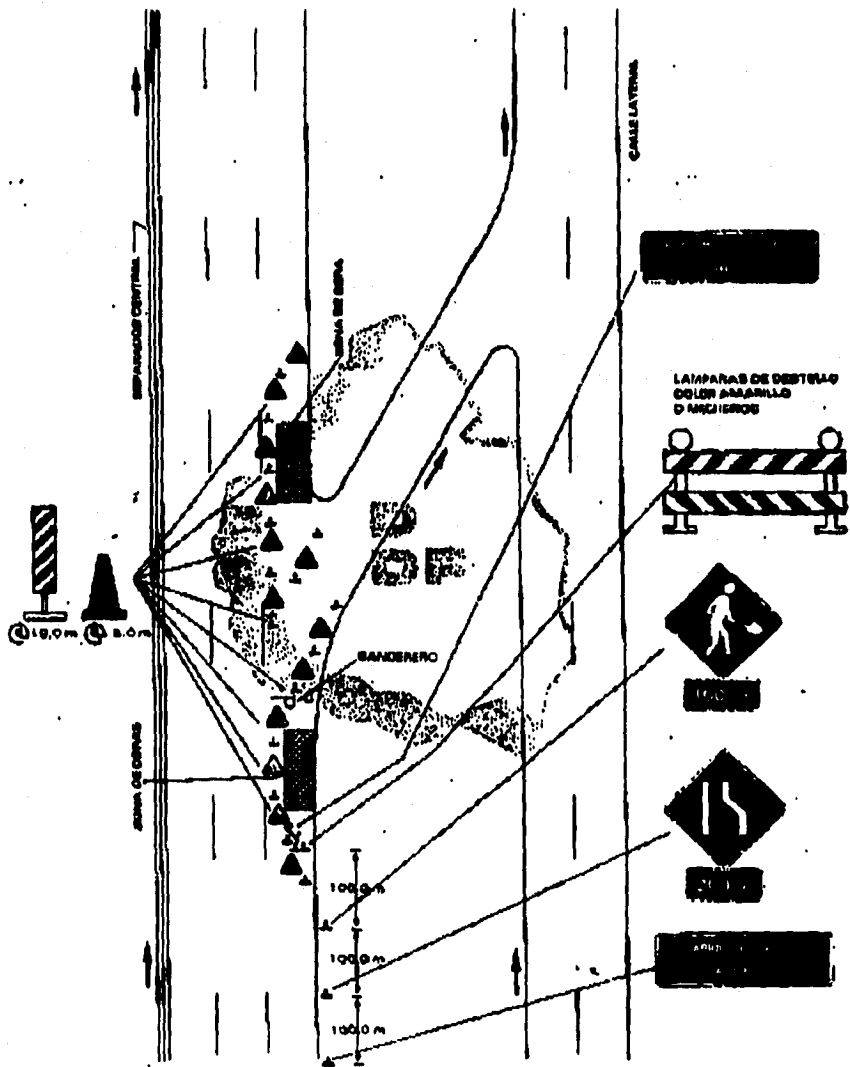


Fig. 1. Dispositivos de control típicos, cuando se cierra un carril por obras cerca de una salida de autopista y esta permanece abierta.

**CAPITULO V**

## **COMPARACION DE LOS MORTEROS ASFALTICOS CON SELLOS A BASE DE ASFALTOS REBAJADOS**

Cómo hemos visto a lo largo de éste trabajo los microaglomerados quedan dentro del concepto de tratamientos superficiales para el mantenimiento y conservación de la cinta asfáltica de rodamiento de los pavimentos flexibles.

El término de tratamiento superficial cubre en general, todas las aplicaciones de asfalto, con o sin áridos, a cualquier tipo de superficie de pavimento. Entran dentro de ésta categoría:

1. - Riegos antipolvo.
2. - Riegos de Imprimación.
3. - Tratamientos superficiales con mezcla in situ.
4. - Tratamientos superficiales simples y múltiples con riego de asfalto y cubrición con áridos.
5. - Tratamientos superficiales con mezclas en instalación fija.
6. - Sellado con microaglomerados asfálticos.
7. - Riegos en negro.
8. - Capas de adherencia.
9. - Riegos de sellado.

El sistema más utilizado en nuestro país es el numero 4 donde se hace uso del asfalto rebajado para su mejor manejo en hidrocarburos como el diesel, lo cual representa ciertas ventajas y desventajas que veremos un poco más adelante, por el momento continuando con la conceptualización generalizada de los tratamientos superficiales para la conservación de los pavimentos flexibles diremos que la gran mayoría de los pavimentos flexibles deben ser objeto periódicamente de tratamientos superficiales, que a la vez de asegurar la impermeabilización de la carpeta, eviten el secado completo de las substancias volátiles que comunican elasticidad a los productos asfálticos y la reviven cuando presente signos de oxidación o de debilitamiento.

Estos tratamientos superficiales pueden consistir de riegos livianos de productos asfálticos solo o con materiales pétreos para darle mayor resistencia y durabilidad a la carpeta.

Como hemos visto de alguna manera los morteros asfálticos también nos pueden ayudar siendo un tratamiento antirresbaladizo, esto es, que en muchos pavimentos flexibles ya sea por exceso de asfalto o por exceso de finos, la superficie de la carpeta se alisa hasta volverse resbaladiza y peligrosa, especialmente en tiempo húmedo. En éstos casos es necesario recurrir a tratamientos que subsane esa situación, que se agrava, aún más, en las fuertes pendientes y en las curvas.

Un método a seguir puede ser el calentamiento de la superficie y el inmediato cubrimiento con el material pétreo clasificado entre las mallas de 1/4" y la # 10, el cual se plancha con rodillo liso liviano a fin de incrustar los áridos en el asfalto sobrante y sin dañar a la carpeta existente. Por otro lado para corregir éste mal se hace un sellado con asfaltos rebajados y pétreos y la otra es la aplicación de un mortero del tipo III.

### **RIEGO 3A.**

El riego de éste tipo corresponde a una mezcla in situ y es la incorporación de áridos mezclados en asfalto rebajado en diesel y después planchado.

Este tipo de tratamiento superficial funciona perfectamente para corregir problemas de derrapes en los caminos y es un buen sellante de las fisuras en los pavimentos además de ser muy económico, pero presenta la gran desventaja de que tiene un gran desprendimiento de los agregados pétreos al contacto con las llantas de los automóviles, por tanto su vida útil definitivamente es muy corta, raras veces llegan a durar un año.

Otra de las grandes desventajas del riego 3A se refiere a que ecológicamente no es recomendable el uso de los asfaltos rebajados ya que al momento en que rompen despiden vapores tóxicos a la atmósfera, vapores que contienen hidrocarburos; a diferencia de los morteros asfálticos que al momento de su fraguado despiden a la atmósfera únicamente vapores de agua.

Una de las ventajas que presenta éste tipo de tratamiento es su costo tan bajo el cual representa alrededor del 50% del costo de los microaglomerados asfálticos pero si lo vemos en contraposición con su vida útil la cual representa

un 30% comparada con la vida útil del slurry seal, y si al costo lo afectamos por el factor de inflación de cada año entonces es muy probablemente que la aplicación constante de riego 3A no sea tan económica comparándola con la duración del mortero asfáltico, implicando que no se tendrían que hacer aplicaciones en forma tan seguida de éstos últimos como los riegos 3A.

Con esto no queremos decir que los riegos del tipo 3A no se deban de utilizar, por que habrá situaciones en las cuales por su comodidad, disponibilidad de materiales y economía se elija el tratamiento con asfaltos rebajados. Lo que aquí queremos hacer notar es que conviene colocar en la balanza las bondades y defectos de las nuevas técnicas en la revitalización y rehabilitación de los pavimentos flexibles como son el uso de los microaglomerados asfálticos (slurry seal).

**CAPITULO VI**

## **OTRAS APLICACIONES DE LOS MICROAGLOMERADOS ASFÁLTICOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES**

### **VI.1. CAMPOS DE ACCION DE LOS MICROAGLOMERADOS**

Los microaglomerados asfálticos usados como tratamiento de impermeabilización y sellado han resultado muy eficaces y de simple aplicación. El tamaño máximo del árido en ésta aplicación debe de ser muy pequeño, especialmente si lo que se trata es de rellenar huecos de mezclas abiertas, sellar firmes, etc. La impermeabilidad total del tratamiento se consigue con el aumento de compacidad debido a la acción del tráfico. Normalmente, para aplicaciones de sellado, con extensión manual o mecánica, suelen ser suficientes dotaciones de 4 a 7 Kg./m<sup>2</sup> sobre superficies no muy rugosas, pero agrietadas y envejecidas.

Tienen importancia algunos trabajos especiales como los tratamientos de arcenes, de zonas de estacionamiento de vehículos o de zonas deportivas o peatonales. En todos éstos casos, la impermeabilidad y la regularidad estética tienen gran importancia. Una buena imprimación sobre las capas inferiores y la correcta adherencia con éstas es muy importante para la durabilidad del tratamiento de mortero asfáltico.

En pavimentos deportivos y zonas escolares es preciso, muchas veces, aplicar microaglomerados asfálticos convenientemente modificados, evitando microtexturas peligrosas que originen el resbalarse de las personas, y utilizando los pétreos adecuados e incluso aditivos como puede ser la fibra de amianto y otros filles especiales.

Otro campo de aplicación de los morteros asfálticos es el de la obtención de superficies antideslizantes, por medio de una textura duradera y suficiente. La textura de un pavimento está relacionado con el tamaño máximo del árido, con la granulometría y con el tipo de tratamiento. La durabilidad de ésta textura depende de la dureza del árido y de que en ningún momento se presenten exudaciones de ligante o de mastic en la superficie. El microaglomerado asfáltico, debido a su composición y ligante, presenta texturas mayores y más

duraderas que una mezcla de granulometría análoga hecha en caliente y extendida y compactada convencionalmente. El tipo de textura, en general microtextura, puede aumentar de rugosidad al emplear el árido de tamaño máximo entre 6 y 9 mm., consiguiéndose con ello valores elevados de resistencia al deslizamiento, incluso a velocidades relativamente elevadas.

## **VI.2. MICROAGLOMERADOS PARA IMPERMEABILIZACION**

Si se trata de impermeabilización de edificios o de obras especiales no sometidas a tráfico, las características del árido y la estabilidad ante las sollicitaciones no tienen ninguna importancia al no existir aquél. Por ello, en general, se trata de fabricar masticos muy ricos en fillers y asfalto, que pueden extenderse con llana, rastra o cepillo.

Tiene especial importancia el mastic en frío formulado para impermeabilizaciones, en una o varias capas, de los tableros de los puentes. Las condiciones de los tableros de los puentes son relativamente críticas, por estar sometidas a un conjunto de requerimientos importantes de cargas y a cambios importantes de temperaturas.

Las primeras formulaciones de éste tipo, se realizaron en el año de 1964, habiéndose empleado desde entonces profusamente un tipo de mastic en frío para puentes que incorporan amianto en su formulación.

La arena empleada para éstas mezclas proviene generalmente de la trituración de rocas calizas sanas, con equivalente de arena superior a 50. En caso de que la proporción de filler resulte escasa en relación con la indicada en la formulación, puede procederse a la sustitución por filler calizo, cemento, etc. La proporción añadida puede variar ligeramente según el filler de aportación elegido, sus características de superficie específica y de actividad, etc.

El ligante utilizado es una emulsión capaz de mezclarse, sin romper, ni formar grumos con los áridos anteriores, siendo miscible con agua en cualquier proporción.



La mezcla plástica (mastic) en frío puede fabricarse en una instalación central y almacenarse en tambores o bidones. En obra mediante un proceso de reamasado y adición de pequeñas cantidades de agua, se consigue la consistencia adecuada para el extendido con rastra o cepillo. Sobre puentes importantes es aconsejable recurrir a la utilización de camiones mezcladores de hormigón ya que los ensayos hechos con camiones de slurry no han sido completamente satisfactorios debido a que el exceso de filler que requiere la fabricación del mastic producen atascos y grumos dentro de la máquina de batido.

La consistencia del mástic debe de ser tal que permita, una vez que llega a su estado final de compacidad e impermeabilidad, soportar sin deformarse las sollicitaciones procedentes del tráfico de obra y del tráfico real, cuyas presiones se transmiten a través del pavimento. Sirven para caracterizar ésta propiedad del mástic los ensayos de indentación y de penetración en cono. En el caso de los mástics para puentes las especificaciones se endurecen al máximo, no permitiendo ni alargamiento ni escurrimiento alguno, pretendiendo garantizar, de ésta forma, su estabilidad ante el calor y el punzonamiento.

Cabe hacer notar en éste apartado que el mástic en su estado inicial no es impermeable. Sin embargo, cuando llega a estados normales de compacidad, se obtiene una mezcla sin huecos y perfectamente adecuada para cumplir su cometido frente al agua.

### **VI.3. RECICLADO DE LA CARPETA ASFALTICA CON TECNICAS EN FRIO**

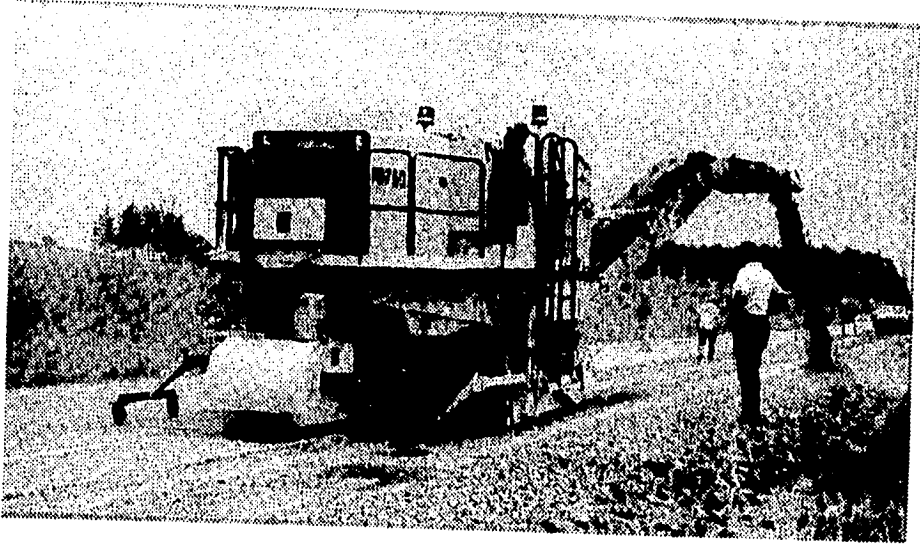
Aunque éste proceso que estamos próximos a ver no es propiamente el uso de un microaglomerado asfáltico resulta muy interesante que lo tratemos ya que en esencia todas las técnicas en frío dependen de los mismos materiales en su fabricación.

Actualmente en la ciudad de México se está haciendo uso de los sistemas de reciclaje de las carpetas asfálticas que ya existen; cuestión por demás económica si lo comparamos con un sistema de mantenimiento de carpetas en el cual se efectúe un sobreencarpetado y un fresado de la

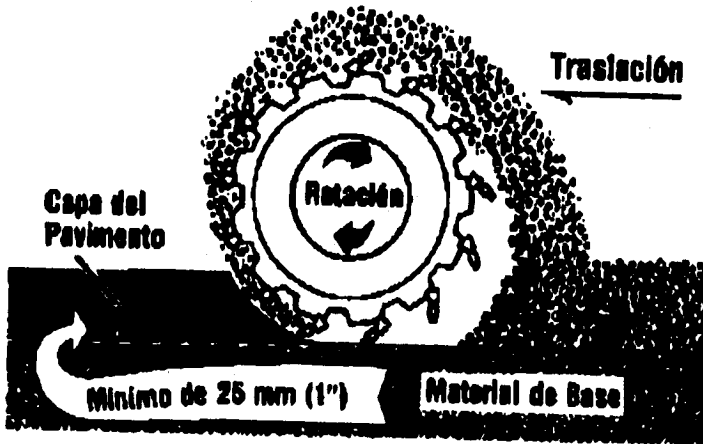
superficie en cuestión. Como se hace tal reciclaje, a continuación daremos unos puntos en secuencia para la elaboración de tan ingenioso trabajo.

1. La superficie dañada de la carpeta a tratar se fresa y el residuo producto del fresado es recogido y transportado en camiones hasta la planta del encargado de los trabajos.
2. Una vez en la planta el residuo es analizado por el laboratorio y mediante pruebas determina la calidad de los pétreos y el porcentaje de asfalto que contienen y el grado de contaminación por impurezas que presentan.
3. Una vez determinado lo anterior por métodos mecánicos se mezcla el residuo del fresado con un ligante asfáltico en éste caso con una emulsión convenientemente establecida y estabilizada. El problema en éste caso del rompimiento previo de la emulsión no es tan predominante como cuando tratamos a los microaglomerados ya que la cantidad de finos en éste caso no es tan grande como en el caso anterior.
4. Ya mezclado se transporta en camiones al lugar de la obra y se aplica en la misma forma que la carpeta asfáltica en caliente, siguiendo los mismos pasos del proceso constructivo de éstas.
5. Es conveniente que una vez que ha sido aplicada la capa de la carpeta ya reciclada se le extienda encima una capa mínima de slurry seal convenientemente dosificado para asegurar la impermeabilidad de la carpeta.

Cabe aclarar que la vida útil de éste proceso no se iguala a la vida de una carpeta completamente nueva pero se acerca en un buen porcentaje. Se justifica el uso de éste proceso debido a la gran economía que representa y desde el punto de vista ecológico es un proceso más limpio ya que nos ahorramos la expulsión de vapores tóxicos a la atmósfera en el proceso de fabricación y en el de aplicación, cuestión muy contrastante con los asfaltos manejados en las técnicas en caliente.



**Máquina fresadora**



**CAPITULO VII**

## **CONCLUSIONES**

Como pudimos ver a lo largo de todo el desarrollo de éste trabajo, los microaglomerados asfálticos representan una buena opción en los tratamientos superficiales para la revitalización y protección en el pavimento de tipo flexible, manteniendo una capa impermeable sobre la carpeta asfáltica además de que cubre las fisuras que se encuentren en ella. Puede proporcionar una superficie antiderrapante y su uso no produce vapores tóxicos que afectan la atmósfera.

Los morteros asfálticos pueden ser de dos tipos dependiendo de la emulsión que los componga y éstos dos tipos son aniónicos o catiónicos y se mezclarán con el tipo de áridos según la carga eléctrica de los mismos.

Arido silíceo o Neutros      = emulsión catiónica.  
Aridos calizos                = emulsión aniónica.

Para el diseño de las mezclas de slurry depende en gran medida la humedad ambiente predominante en el horario de trabajo, la cual nos influirá sobre el proceso de rompimiento del mortero y en la expulsión de agua del mismo.

El proceso constructivo de los microaglomerados asfálticos es idéntico en cualquier superficie de pavimento flexible.

El control de calidad en los materiales que lo componen debe de ser muy estricto al igual del control de calidad en la aplicación y en el laboratorio. Dicho control de calidad dependerá del contratista que ejecute los trabajos.

La técnica de las lechadas asfálticas es relativamente delicada y compleja, interviniendo en ella un conjunto de factores que deben de contribuir a un resultado satisfactorio. Cuando se producen defectos es preciso estudiarlos, analizando las causas, para que éstos puedan corregirse.

Básicamente los tipos de problemas que se presentan en los microaglomerados pueden englobarse en tres tipos:

- 1.- Problemas debidos a los materiales.
- 2.- Problemas a Causa de la dosificación.
- 3.- Problemas debidos a las condiciones de la superficie a rehabilitar.

Los microaglomerados presentan una gran variedad de usos inclusive se utilizan en la impermeabilización de las azoteas de los edificios como productos másticos.

El uso de los morteros asfálticos para sello proporciona:

1. - Impermeabilización a carpetas deterioradas.
2. - Rellena vacíos, grietas y depreciones del pavimento.
3. - Proporciona una superficie antiderrapante a bajo costo.
4. - No causa bordes, acanalamientos, pérdida de agregados, sangrado de asfalto, contaminación de la atmósfera.
5. - Liga muy bien con grava convencional, arenas, y mezclas en caliente.
6. - El costo del equipo necesario es bajo y pequeños constructores y gobiernos municipales pueden adquirirlo.

Los morteros asfálticos presentan una gran opción económica en los tratamientos a carpetas asfálticas; además las nuevas técnicas en frío tienden a desplazar las técnicas en Caliente para el manejo de los betunes asfálticos.

La técnica del reciclaje de la carpeta existente y deteriorada se presenta como una alternativa de solución viable y económica gracias a las técnicas en frío.

A lo largo del desarrollo de éste escrito hemos tratado de dar a conocer las bondades y defectos que presentan las nuevas técnicas en el mantenimiento de los pavimentos flexibles asegurando que es de vital importancia que se le de un mayor impulso a la utilización del slurry seal.

## **BIBLIOGRAFIA**

- **VIAS DE COMUNICACION.**  
Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos  
Autor: Ing. Carlos Crespo Villalaz.  
México 1980  
Editorial Limusa.
  
- **FUNDAMENTOS DE MECANICA DE SUELOS TOMOS I Y II.**  
Autor: Ing. Eulalio Juárez Badillo.  
Ing. Alfonso Rico Rodríguez.  
Editorial Limusa. Tercera edición.
  
- **MANUAL DEL ASFALTO**  
Autor: The Asphalt Institute.  
Con la colaboración de Productos Asfáltico S.A. (PROSA)  
Ediciones URMO. Bilbao.
  
- **SLURRY SEAL**  
Autor: Ing. Mario López Coello  
Ing. Amin P. Jaskille  
CONRASA.
  
- **EMULSIONES ASFALTICAS**  
Autor: Ing. Mario López Coello  
Ing. Amin P. Jaskille.  
CONRASA.
  
- **EMULSIONES ASFALTICAS EN LA SUSTITUCION DE RIEGOS  
CON ASFALTOS FLUIDIFICADOS.**  
Autor: Ing. Juan Torres.  
Apuntes de la D.I.C.T. Y G. Departamento de Construcción.