

# CAPITULO 2:

## VALORACION DE LA ADHERENCIA ARIDO LIGANTE TEST DE LOTTMAN AASHTO T 283

---

### 1. INTRODUCCIÓN

El efecto de la humedad en las mezclas asfálticas es un tema de interés, dado a que gran parte de los deterioros observados en las capas de rodamiento y en capas de base es debido al efecto que la humedad causa en las mismas. Desprendimientos, peladuras, fisuras, baches e hinchamientos son algunas de las manifestaciones más comunes por exposición de las mezclas asfálticas durante su vida útil.

En realidad, la presencia de agua pone de manifiesto los problemas que se suscitan de adhesión entre los agregados y el asfalto, y la interacción entre ellos. Este problema se estudia desde hace muchos años, pudiéndose citar que en el año 1934, Kindscher describe la importancia y necesidad de investigar sobre lo que ocurre cuando entra en contacto el asfalto y el agregado a nivel de superficies límites, recomendando fijar la atención de estos fenómenos físico-químicos que indudablemente inciden sobre la calidad y duración de las mezclas. Años más tarde Langmuir, Hardy y otros, demostraron que si en la superficie de contacto entre el árido y un hidrocarburo de cualquier naturaleza, se logra formar una finísima película de ácido graso, alcoholes, etc., ocurrirá un fenómeno de disminución de la energía interfásica como consecuencia de la orientación molecular en la superficie de separación del sistema, cuando se interpone una película de agua.

En un alcohol, amina, amida o ácido orgánico que posea un elevado peso molecular, se pueden diferenciar dos grupos en sus moléculas, a saber: un grupo hidrocarbonado de ninguna o escasa polaridad y un segundo grupo funcional que puede ser oxidrilo, amina, amida, carboxilo, etc., de elevada polaridad, siendo de utilidad a los fines descriptos, encargándose de disminuir la acción del agua en estos sistemas.

Así planteado el problema, se puede decir que se encuentran mayores o menores dificultades en lograr que un tipo de asfalto pueda recubrir adecuadamente un determinado tipo de árido; pero también una vez logrado un cierto grado de recubrimiento se puede producir un descubrimiento posterior, ligado no solamente a los fenómenos vinculados con el equilibrio físico-químico de las fases presentes (agregado-asfalto-agua-polvos arcillosos), sino también a los fenómenos relacionados con la cinética físico-química, donde desempeñan un papel importante las acciones mecánicas debidas al tránsito, la viscosidad del asfalto y las relaciones volumétricas de la mezcla diseñada.

Para un adecuado comportamiento de una mezcla asfáltica en caliente frente a la acción combinada del agua, tránsito y temperatura, se tendrán que optimizar los desempeños individuales y en grupo de los áridos, los asfaltos y de las relaciones volumétricas que se establezcan entre ellos. En los asfaltos una de las propiedades más importantes, en las diferentes etapas de elaboración de la mezcla, será la viscosidad; en los áridos será su origen mineralógico y en las relaciones volumétricas serán los vacíos y/o compacidad de la mezcla.

## 2. EL SISTEMA ASFALTO - ÁRIDO

Es un sistema complejo, debido a la cantidad de variables que encierran los procesos de caracterización de cada uno de sus componentes, entre las cuales se pueden citar el ligante asfáltico y los áridos. En el Capítulo 1 “Caracterización de Materiales. Diseño Marshall de las Mezclas” se expresaron conceptos de los ligantes asfálticos y de los áridos, en este capítulo se los mencionará brevemente pero se enfocará en el Sistema Asfalto-Árido con mayor profundidad.

### Ligantes Asfálticos

Los ligantes asfálticos provienen del petróleo. Están formados por compuestos de alto peso molecular. Poseen una estructura muy compleja, siendo hidrocarburos y hetero compuestos formados por carbono e hidrógeno acompañados de pequeñas fracciones de nitrógeno, azufre y oxígeno, y frecuentemente de níquel (Ni), vanadio (V), hierro (Fe), magnesio (Mg), cromo (Cr), titanio (Ti), cobalto (Co), etc.

Geológicamente considerados como antiguos depósitos que contienen productos de elevado peso molecular. Han sufrido en forma progresiva procesos de polimerización y condensación, que han dado lugar a la formación de una diversidad de compuestos de hidrocarburos, ya sea de estructura lineal, ramificada o cíclicos, o bien formando anillos aromáticos.

Químicamente son una mezcla heterogénea de los compuestos químicos bajo un sistema coloidal.

Los tipos de hidrocarburos que intervienen en su composición son del tipo parafínicos, nafténicos y aromáticos. Conviven en general en dos fases, asfaltenos y maltenos. Los primeros a temperatura ambiente son un cuerpo negro, frágil y con punto de reblandecimiento elevado, ejercen una influencia muy fuerte sobre las características adhesivas y aglomerantes del ligante. Su contenido varía entre el 5 y el 25 % dependiendo del crudo y del proceso de obtención. Los segundos, los maltenos, son solubles en heptano y poseen un aspecto resinoso. Entre ellos se encuentran los maltenos aromáticos; son los de menor peso molecular en el asfalto y representan entre el 40 y el 60 % del ligante. Su clasificación involucra hidrocarburos polares aromáticos y naftenos aromáticos.

La caracterización de un asfalto involucra ensayos tales como cromatografía, a fin de valorar su composición química; viscosidad y ductilidad, a fin de evaluar sus propiedades reológicas. Para determinar sus propiedades físico-mecánicas se considerarán ensayos más rutinarios, como los son los ensayos de penetración, punto de ablandamiento, peso específico, entre otros.

El ligante asfáltico a temperatura ambiente es un material negro, pegajoso, semi-sólido y altamente viscoso. Es caracterizado como termoplástico porque se ablanda cuando es calentado y se endurece cuando se enfría, pudiendo repetirse estas operaciones indefinidas veces. Para poder ser usado en la elaboración de mezclas en caliente, es condición fundamental reducir su viscosidad, o sea, llevarlo temporalmente a una consistencia de fluido (licuarlo) permitiendo su manipulación durante las operaciones de construcción,

como ser el bombeo a través de cañerías, transporte en tanques, distribución a través de picos rociadores y el mezclado con los agregados.

### **Áridos**

Se denomina como árido a aquellos fragmentos de rocas que proceden de canteras y/o yacimientos en explotación comercial. Estas canteras y/o yacimientos son explotaciones a cielo abierto, situadas ya sea en cauces de ríos actuales o más antiguos, o bien en afloramientos de macizos rocosos donde se utilizan voladuras para fragmentar las rocas y poder extraerlas.

Existe una gran variedad de rocas que presentan características diferentes y que condicionan el comportamiento de los áridos. Los tipos de rocas que pueden encontrarse en una cantera dependerán de su emplazamiento geográfico. En el caso de las canteras ubicadas en cauces y paleocauces (cauces abandonados), los componentes líticos (fragmentos de rocas poligranulares) estarán directamente relacionados con los tipos de rocas presentes en la cuenca hidrográfica. Desde el punto de vista geológico un árido se puede caracterizar y clasificar realizando un examen petrológico de las rocas y minerales que lo componen. Estudiar y clasificar específicamente los tipos litológicos que componen un árido es relevante, ya que permite predecir su comportamiento en función de la aplicación en la que se utilice el mismo. Esto es debido a que las propiedades físicas de las rocas dependen de su composición mineralógica, textura (en términos petrográficos), historia geológica, procesos de deformación y ambientales, también alteraciones químicas y meteorización.

Para poder realizar una clasificación desde el punto de vista geológico del material, es necesario ejecutar observaciones tanto a macro escala como a escala microscópica. El uso del microscopio óptico permite conocer la composición mineralógica, textura (relación entre tamaños y formas de los cristales), grado y tipos de alteración presente entre otras características. Muchas veces es necesario complementar estos estudios con otros más complejos tales como la difracción de rayos X y la microscopía electrónica. De acuerdo a su origen las rocas pueden clasificarse como ígneas, metamórficas o sedimentarias. Dependiendo de cuál es el origen de la roca, sus componentes minerales serán diferentes, también su textura y estructura. Así, las propiedades como dureza, resistencia, peso específico, porosidad, durabilidad serán diferentes en cada caso.

Los agregados pueden ser del tipo ácido (su superficie tiende a cargarse negativamente) o básico (su superficie tiende a cargarse positivamente). Los agregados ácidos contienen sílice, mientras que los agregados básicos contienen carbonatos. De acuerdo al contenido de Oxido de Sílice el material se puede clasificar como ácido, básico o neutro. Así, por ejemplo, si el material contiene  $\text{SiO}_2 > 66 \%$  se está en presencia de un agregado ácido o negativo; si el contenido de  $\text{SiO}_2$  se encuentra entre 55 y 66 % el agregado se denomina neutro y si contiene  $\text{SiO}_2 < 55 \%$  será considerado como básico.

Los áridos están compuestos por minerales, los cuales son sólidos inorgánicos de origen natural, que presentan una composición química más o menos constante y una estructura cristalina definida. Cada mineral está caracterizado

por un conjunto de propiedades físicas y químicas que permiten su identificación.

Más allá de estas apreciaciones de origen, deberán observarse propiedades físico-mecánicas tales como limpieza, textura, absorción, peso específico y valoraciones de forma (índice de lajas, de agujas, cubicidad).

En general en las mezclas asfálticas deberán diferenciarse tres fracciones: gruesa, intermedia y fina. A esta última se le sumará además la valoración de las propiedades de los finos mediante el ensayo de equivalente arena y contenido de materia orgánica.

El aporte de finos pasante el tamiz IRAM N° 200, filler, podrá estar dado naturalmente en los áridos utilizados en la mezcla y/o podrá ser considerada la incorporación de filler de aporte. Estos producirán cambios en la adherencia y en la resistencia al envejecimiento de la mezcla asfáltica.

Los áridos naturalmente se dejan mojar por el agua, más que por los ligantes asfálticos. Esta situación, que se fundamenta más adelante, hace que no sólo la acción del agua sea importante durante el proceso de mezclado del árido con el ligante, sino a posteriori cuando la mezcla entra en servicio, sometida a la acción de la temperatura que provocará cambios de consistencia en el ligante, a la acción del tránsito que provocará esfuerzos de despegue entre el ligante y el árido, y a la acción del agua que por el fenómeno de tensión superficial, intentará desplazar en forma continua la película de asfalto adherida al árido.

Si se trata de un material calizo, se está ante una agrupación de moléculas de carbonato de calcio, con una disposición más o menos geométrica la cual dependerá del proceso de formación de la roca. Pero siempre se tendrán superficies minerales que, en presencia de humedad, se ionizan en el Ion Carbonato ( $\text{CO}_3^-$ ) con dos cargas negativas y el Ion Calcio  $\text{Ca}^{++}$  con dos cargas positivas.

Si se trata de material de origen silíceo o materiales ácidos, éstos están formados por átomos de silicio trivalentes en general, rodeado de grupos de oxígeno y cationes metálicos, por lo que en presencia de humedad estos agregados también se ionizan cargándose negativamente. Estas cargas eléctricas de las superficies tendrán una fuerte incidencia en la capacidad de mojado de cualquier sustancia que lo intente hacer, sea agua, asfalto o algún aditivo.

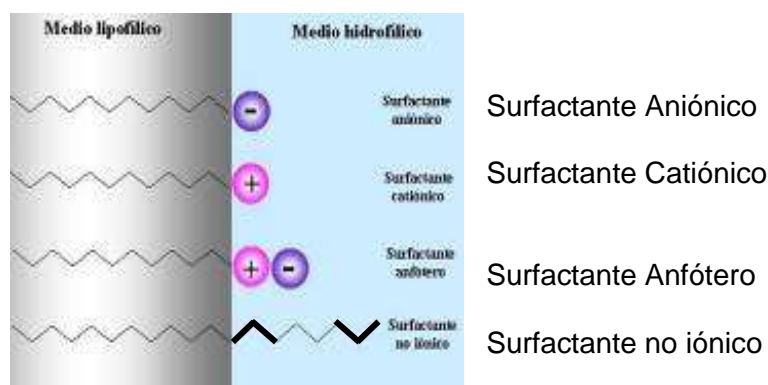
### 3. MEJORADORES DE ADHERENCIA

#### Definición y clasificación

Los mejoradores de adherencia son productos tensioactivos, llamados también surfactantes. Constituyen especies químicas de naturaleza o estructura polar-no polar, que se adsorben preferentemente en la superficie de un líquido, en la interfase entre dos líquidos no miscibles o bien entre un líquido y un sólido, formando generalmente una capa monomolecular; éstos poseen la propiedad de disminuir la tensión interfacial favoreciendo el contacto entre las diferentes fases.

Los tensioactivos contienen en su molécula uno o varios grupos hidrofílicos (que tiene afinidad con el agua) que pueden ser de tipo iónico o no iónico, y además una estructura hidrocarbonada hidrofóbica (que tiene repelencia por el agua). Como consecuencia de ello y desde el punto de vista físico-químico, se pone de manifiesto el carácter anfifílico esto es, una molécula con un extremo hidrofílico y otro hidrofóbico, es decir una molécula que tiene un final que atrae el agua y un final que repele el agua.

La clasificación de los agentes tensioactivos se fundamenta en el poder de disociación en presencia de un electrolito y de sus propiedades fisicoquímicas; de este modo, según la dirección de transferencia del ion activo se constituyen en dos grandes grupos: agentes iónicos y no-iónicos. En la siguiente figura se pueden ver, graficado sintéticamente, los medios y las cargas eléctricas correspondientes a cada tipo. En general, además, se deberá considerar la acción de mojado de la superficie y la neutralización de la formación de espumas.



### Clasificación de los Agentes Tensioactivos

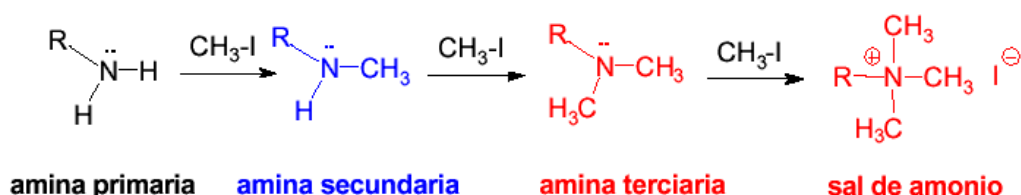
Para distinguir los diferentes tipos de tensioactivos, se puede considerar que los *Tensioactivos Iónicos* tienen gran afinidad electrostática con los dipolos del agua. Pueden ser: aniónicos, catiónicos o anfóteros.

- *Tensoactivos aniónicos:* Están formados por una cadena alquílica (formada por hidrógeno y carbono) lineal o ramificada que va de 10 a 14 átomos de carbono, y en su extremo polar de la molécula se encuentra un anión. Representantes de este grupo son los derivados del ión sulfato o de sulfonato, como es el dodecil sulfato de sodio o el dodecil bencen sulfonato de sodio.
- *Tensoactivos catiónicos.* Están formados por una cadena larga de sales de amonio cuaternarias o sales de alquilaminas. La cadena larga constituye el grupo hidrofóbico y en el extremo polar de la molécula se encuentra el catión constituido por nitrógeno tetravalente en forma de sales de amonio cuaternario. Su importancia reside en su eficiencia bactericida, germicida y alguicida. Representantes de este grupo son el cloruro de aquil dimetilbencilamonio y el cloruro de cetil trietil aminio.
- *Tensioactivos anfotéricos:* Presentan en su molécula a grupos aniónicos y catiónicos. Son productos estables en sistemas ácidos y alcalinos.

Estos tensoactivos actúan dependiendo del medio en que se encuentren, en medio básico son aniónicos y en medio ácido son catiónicos. Representantes de este grupo son las betaínas y los derivados de imidiazolinas como por ejemplo aquil dimetil betaína.

Los *Tensioactivos no iónicos*, no se ionizan en agua como su nombre lo indica. El grupo hidrofóbico está formado por una cadena larga que contiene una serie de grupos débilmente solubilizantes tales como enlaces etéreos o grupos hidroxilos. La repetición de estas unidades débiles, tiene el mismo efecto que un hidrófilo fuerte pero sin ionización. Son estables con la mayoría de los productos químicos en las concentraciones usuales de empleo. Representantes de este grupo son los derivados de los polioxietilenados, polioxipropilenados y anhídridos del sorbitán. Los productos que confieren el efecto de cambio de capacidad de mojado del ligante asfáltico a la superficie del árido son muy diversos y su modo de acción tendrá con certeza la misma diversidad.

Intervienen ligaduras covalentes, ligaduras hidrogenadas, ligaduras iónicas y fuerzas de Van der Waals. En general se admite, por ejemplo, que la acción de los mejoradores aminados (o amonio cuaternarios) sobre las arcillas se efectúa fundamentalmente por intercambio de cationes. Los tensoactivos más eficaces son, por regla general, los de tipo aminado. Las aminas son compuestos nitrogenados equivalentes, en cierto modo, a los alcoholes, fenoles y éteres, en los compuestos oxigenados. Pueden suponerse formalmente como derivados del amoníaco, en el que se ha sustituido uno, dos o los tres átomos de hidrógeno por radicales hidrocarbonados. Resultan así, tres clases diferentes de aminas: primarias, secundarias y terciarias respectivamente, como se puede observar en la figura:



### Clases de Aminas

Los tres tipos de aminas pueden formar enlaces de hidrógeno con el agua. Como resultado las aminas menores son de alta solubilidad en agua y poseen como limitación el tomar unos seis átomos de carbono. Las metil y etilaminas huelen muy semejante al amoníaco. Las alquilaminas superiores tienen olor a pescado en estado de descomposición. Las aminas aromáticas suelen ser muy tóxicas ya que son absorbidas por la piel con resultados a menudo fatales.

Un ejemplo de monoamina es la esterealina cuya formulación es: C18- H17- H2, para que no sean solubles en agua necesitan estar conformadas por cadenas largas.

Las Diaminas se obtienen a partir de grasas animales o vegetales, de amoníaco y de acrilonitrilo. Ejemplo de diamina es el alquil propilen diamina cuya formulación es: R – NH – CH2 – CH2 – CH2 – NH2.

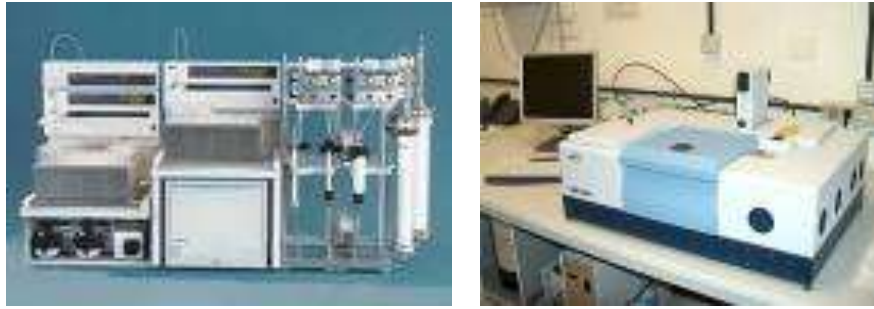
Las amido-aminas se obtienen por condensación de la dictrilentiamina (obtenida a partir del acetileno) con un ácido graso. Su síntesis puede efectuarse con una instalación simple pero se obtienen con una pureza menor. Son emulsificantes mediocres pero son buenos mejoradores de adherencia. Las amido-aminas son del tipo: R – CONH – CH<sub>2</sub> – CH<sub>2</sub> – NH – CH<sub>2</sub> – CH<sub>2</sub> – NH<sub>2</sub>.

Las Imidazolininas se obtienen de la deshidratación de algunas amido-aminas.

### **Propiedades de los mejoradores de adherencia**

A la hora de observar las propiedades del mejorador de adherencia, a efectos de evaluar su potencial desempeño, se recomienda proceder a realizar las siguientes determinaciones:

- **Contenido de Amina:** Se evalúa con el ensayo de dosaje de la función amina por potenciometría y se efectúa con un pH metro (peachímetro). Con este ensayo se puede obtener el contenido de aminas totales sin distinguir el tipo de amina. Si se utilizan aminas en estado de base o de acetato se realizará por potenciometría en medio de ácido acético puro, neutralizando con ácido perclórico. Cuando la amina está como clorhidrato, se agrega acetato mercúrico que fija los iones cloro desprendidos durante la neutralización.
- **Tipos de Aminas:** El dosaje de las funciones aminas totales, permite distinguir las aminas de cadenas largas correspondiente a ácidos grasos (activas), de las aminas livianas (tales como la dietilentiamina inactiva) que se hallan presentes en las amido-aminas, principalmente cuando la síntesis no se efectuó bien. Éstas se pueden determinar aprovechando que son más solubles en agua o en medios polares que las aminas grasas y procediendo a su extracción fraccionada. Cualitativamente, se las puede evidenciar por electroforesis sobre papel (o por simple cromatografía sobre papel). Esta última técnica permite un fraccionamiento cualitativo muy completo. Las distintas aminas se revelan por las distintas coloraciones obtenidas por medio de un revelador adecuado (Ninhidrina).
- **Estructura química:** Se puede utilizar la espectrografía infrarroja, donde los espectros de absorción del infrarrojo, presentan bandas características de los grupos químicos presentes en la molécula. En la figura se observan los equipos señalados.



**Vista de Cromatógrafo y Espectrofotómetro infrarrojo**

A efectos de valorar las propiedades físicas se realizan las determinaciones indicadas en el siguiente cuadro

Punto de fluidez		Densidad	
Punto de inflamación		Determinación del pH	
Viscosidad		Solubilidad En agua, naftas, alcoholes.	

**Equipos para la determinación de propiedades físicas de los tensioactivos**

### **Efectos de la temperatura en los tensioactivos**

Todos los tensioactivos iónicos presentan una temperatura por encima de la cual se registra un brusco aumento de la solubilidad. A esta temperatura se le llama temperatura de Krafft. Las micelas no se forman por debajo de la temperatura de Krafft, porque termodinámicamente es más barato mantenerse como fase sólida que como micelas.

Los tensioactivos no-iónicos no presentan temperatura de Krafft, porque obedecen a un mecanismo diferente de disolución; sin embargo, su solubilidad también depende de la temperatura. En ciertos casos, a cierta temperatura, el tensioactivo se separa como una fase distinta, lo cual produce una suspensión lechosa. A esta temperatura se le llama punto de nube (cloud point).

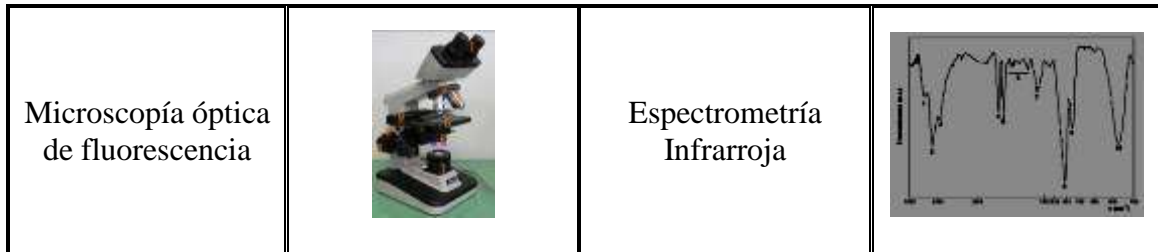
### **Cómo saber si un asfalto posee tensioactivo**

Cuando se quiere determinar si al asfalto seleccionado posee o no mejorador dispersado en forma adecuada en el ligante, se sugiere utilizar:



- Ensayo de microscopía por fluorescencia
- Espectrometría infrarroja

Los picos detectados en estos ensayos permiten observar las longitudes de ondas absorbidas para cada compuesto, características de cada familia de hidrocarburo o amina. En el esquema siguiente se puede ver



### Equipamiento para analizar a los mejoradores de adherencia

## 4. ADSORCIÓN DE LOS MEJORADORES DE ADHERENCIA

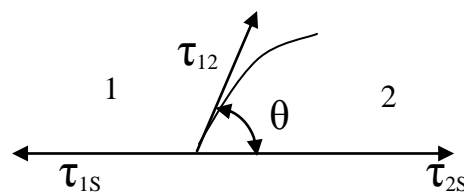
Los fenómenos físicos relacionados con la absorción de los mejoradores de adherencia por los agregados, se pueden explicar de la siguiente manera:

Se define el mojado de una superficie sólida por dos líquidos, por las tensiones interfaciales  $\tau_{12}$  entre el líquido 1 y el líquido 2,  $\tau_{1s}$  entre el líquido 1 y el sólido,  $\tau_{2s}$  entre el líquido 2 y el sólido.

Para que haya equilibrio existe el ángulo  $\theta$ , tal que  $\tau_{1s} - \tau_{2s} = \tau_{12} \cdot \cos \theta$ , que da como resultado la tensión de adherencia.

El análisis de este esquema es el siguiente, el líquido 2 moja mejor al sólido que el líquido 1, si esta tensión de adhesión es positiva, para que el líquido 2 moje más al sólido desplazando al líquido 1, hace falta un trabajo negativo.

La siguiente figura presenta las tensiones entre fases antes descrita.



**Tensiones entre fases**

Desde el punto de vista del trabajo de mojado, es evidente que las cantidades  $\tau_{1s}$  y  $\tau_{2s}$  pueden considerarse como si se expresara energía de mojado por unidad de superficie. En realidad el problema no es tan sencillo, la energía de mojado no depende únicamente de la naturaleza del líquido y del sólido presente, sino también de la evolución de los fenómenos en el tiempo. En particular, si se desplaza el sólido de manera de mojarlo cada vez más con el líquido 2, las energías de mojado y el ángulo de contacto no son los mismos

que si se desplazara el sólido en sentido contrario. En total, un ciclo de desplazamiento del sólido con respecto a los dos líquidos, al término del cual se vuelve al estado inicial, necesita que se suministre energía al sistema. Es un verdadero fenómeno de histéresis, que puede ser estudiado con equipos especiales. Puede que el signo de la tensión de adhesión cambie según que el movimiento inmediato anterior se haya efectuado en un sentido u otro. En este caso, el estado de mojado del sólido podrá modificarse de manera perdurable por aporte de energía exterior (por ejemplo de energía mecánica que resulta del tránsito o la de mezclado).

Para que un mejorador de adherencia sea eficaz, debe modificarse la tensión de adhesión de modo que sea suficientemente grande cualquiera sea el sentido del movimiento anterior. Es lo que se expresa a veces al decir que el mejorador debe permitir una adhesividad activa, es decir el mojado del sólido por el ligante sin aporte de energía exterior. Por oposición, se expresa a la adhesividad pasiva, en la cual el descubrimiento del sólido no puede efectuarse sin aporte de energía exterior.

Estas consideraciones se refieren a estados de equilibrio termodinámico, pero intervienen también tres órdenes de consideraciones que se refieren a estados en los cuales el equilibrio no ha sido alcanzado. El agua que pueda estar presente en un revestimiento se renueva, la fijación del mejorador por el agregado no es absolutamente irreversible, se efectúa de un modo tal que una fracción ínfima pero no nula, puede pasar en solución acuosa. Si el agua se renueva y circula, puede suceder, al cabo de un tiempo prolongado, que la obra tratada pierda completamente su mejorador por lavado. De aquí el interés en verificar que el agregado permanezca cubierto bajo la acción de una corriente de agua.

*Volviendo al árido:* si éste es muy rugoso el descubrimiento no podrá realizarse en forma lenta y continua, habrá en este proceso saltos y velocidades de desprendimiento diferentes. Esto resulta favorable ya que los áridos de superficie rugosa opondrán mayor resistencia al descubrimiento que los áridos lisos. En un árido calizo la combinación con el mejorador puede dar lugar a los siguientes compuestos, en los que se puede observar su carácter insoluble. Se formará así con el mejorador una unión de mayor adhesividad al formarse carbonato de amina insoluble como se puede ver en la figura siguiente:



### Reacción entre sustrato calizo y la amina

Al usar un aditivo sobre un árido silíceo, los glóbulos de asfalto cargados positivamente son atraídos por los iones del agregado silíceo  $(\text{SiO}_4)^{-4}$ , formándose una unión mediante el compuesto químico llamado silicato de

VALORACION DEL DESEMPEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA DENSA  
MODIFICANDO EL TIPO FILLER Y ASFALTO

amina, el cual proporciona una gran adherencia y resistencia a la presencia de agua y a los cambios térmicos.

*Retomando al asfalto:* los más viscosos resistirán en mayor medida al desprendimiento, y una vez separados de la superficie del árido, las fuerzas que hay que vencer para deformarlo son de un orden de magnitud muy superior a las de la tensión superficial vencida. Resulta así más estable el sistema cuanto más viscoso sea el ligante. Como los ligantes asfálticos para la producción de mezclas en caliente se mantienen a temperaturas superiores a los 100 °C, los mejoradores de adherencia pierden muy lentamente su actividad, debido a la reacción alcalina de la amina con los compuestos ácidos del asfalto. Esta actividad se perderá más rápidamente en asfaltos con un alto contenido de acidez como en crudos, por ejemplo, de la región norte de Latinoamérica o con la permanencia del sistema asfalto-mejorador a elevadas temperaturas. De aquí que se recomienda que este sistema no permanezca sometido a procesos de calentamiento por tiempos prolongados.

## **5. INCORPORACIÓN DE LOS PROMOTORES DE ADHERENCIA AL LIGANTE ASFÁLTICO**

Los promotores de adherencia en la planta asfáltica pueden adicionarse en línea a través de una bomba. Para homogeneizar adicionalmente conviene añadir un mezclador estático en línea colocado justo antes de la entrada del asfalto al mezclador. De esta forma, el mejorador de adherencia permanece poco tiempo en contacto con el asfalto caliente y en forma inmediata se incorpora a los áridos.

Un mezclador estático es un conjunto de piezas dentro de una tubería. Las diferentes corrientes del caudal nos dan toda la energía necesaria para una mezcla completa sin piezas en movimiento. Los mezcladores estáticos ofrecen grandes ventajas comparativamente con un motor o con otros mezcladores en línea que resulten competitivos.

Los mezcladores estáticos brindan la posibilidad de mezclar en línea líquidos, gases y sólidos. Genera una mezcla predecible, una buena dispersión y un adecuado tiempo de reacción. La temperatura y velocidad, serán uniformes desde el centro hasta la pared del tubo. Su eficiencia permite, en algunos casos, trabajar por gravedad. Poseen además bajo costo, no necesitan mantenimiento y gozan de una larga vida útil. Se puede observar la vista exterior e interior en la figura siguiente.



**Mezclador estático en línea**



**Esquema del mezclador estático**

Una forma muy habitual para incorporar el mejorador de adherencia, es colocando el porcentaje seleccionado en la cisterna de la planta asfáltica. La cisterna será de sección circular, con apoyos distribuidos en todo el largo, con un tubo de fuego central de diámetro capaz de alojar la serpentina de aceite. Dispondrá de una bomba de asfalto con engranajes, accionada por motor trifásico, permitiendo la recirculación del ligante asfáltico y además homogenizar en el mismo, al promotor de adherencia. En el caso de permanencia del mejorador en el ligante, deberá hacerse sólo si se conoce que ese aditivo es estable frente a la temperatura.

En todos los casos se puede determinar por la técnica de película delgada rotativa, RTFOT, el deterioro producido en el ligante y el mejorador de adherencia por el efecto de la temperatura.

## **6. MECANISMOS Y TEORÍAS, CAUSANTES DEL DESPRENDIMIENTO**

### **Mecanismos de desprendimiento de película**

Antes de enumerar los métodos más recomendables para la valoración de la adherencia árido ligante, conviene destacar cuáles son los principales mecanismos de falta de recubrimiento (adherencia activa) y de desprendimiento (adherencia pasiva). Una vez lograda la envuelta del ligante en los áridos (sean éstos ácidos ó básicos), la permanencia de esa envuelta y su calidad frente a las condiciones climáticas y de tránsito, se puede ver modificada por varios mecanismos.

Lo primero a considerar, es que la película de asfalto no es impermeable, por lo tanto la película de agua es posible que ingrese a la interface con el árido provocando el desplazamiento del asfalto, comenzando una acción de desplazamiento crítica. Goodrich, en una discusión técnica ha reportado para la compañía Chevron Research los mecanismos, que se puede citar:

- *Emulsificación espontánea:*  
Con la presencia del tránsito, la adhesividad del asfalto en la superficie del árido se ve modificada, formándose una emulsión inversa, en donde el asfalto comienza a tener un color marrón claro, que queda recubriendo el agregado, cuando éste queda descubierto. Pruebas realizadas por Fromm, en Estados Unidos, con ligantes convencionales

CA - 5 y CA – 10, revelaron que muestras sumergidas en agua durante una semana comenzaron a perder su color brillante; luego de secarse recobraron nuevamente su apariencia. Este mecanismo se ha visto influenciado por la adición de promotores de adherencia.

- *Rotura de película:*

La rotura de la película se puede dar por fisuras en la superficie de la película de asfalto o en puntos debido a la presencia de polvo adherido al árido. Esta rotura se puede dar por la acción de cargas durante el proceso de construcción, por el tránsito en condiciones de servicio, o por los cambios ambientales de humedecimiento y secado, y congelamiento y deshielo. Una vez que la película se ha roto, el acceso del agua es inminente e intentará desplazar al asfalto, apareciendo ampollas en el recubrimiento existente.

- *Presión de poros:*

Este mecanismo pone de manifiesto la combinación de ciclos de congelamiento y deshielo, frente a acciones de sollicitaciones del tránsito. Con estos ciclos aumenta la presión de poros en la interfase árido-ligante y comienzan a deteriorarse las fuerzas de adhesión. Este mecanismo se da en presencia de asfalto emulsificado del primer proceso señalado, venciendo esta primer capa y luego las sucesivas capas. Este fenómeno fue estudiado y puesto a prueba por Lottman en sus estudios y ensayo propuesto.

- *Decapado hidráulico:*

Se da en mezclas en caliente saturadas con agua, cuando concurre con fenómenos de compresión de la mezcla en servicio con ejes de tránsito pesado. Esto hace que la tracción producida provoque el desprendimiento del asfalto de la superficie de los áridos más expuestos. Este efecto puede verse incrementado con la presencia de polvo adherido al ser amasado por acción del agua y del tránsito.

- *Ósmosis:*

Otro mecanismo documentado en la literatura incluye la posibilidad de formación del fenómeno de ósmosis. Ocurre debido a la presencia de sales o soluciones de sales en los poros del agregado y por lo tanto la creación de un gradiente de presión osmótica que succiona el agua a través de la película de asfalto. Es un proceso muy lento. Se ve favorecido cuando el asfalto es cáustico o cuando algunos agregados en su composición poseen los iones de sal en la superficie.

- *El mecanismo de retroceso:*

Denominado en inglés como fenómeno de pull-back, permite observar por ejemplo en mezclas sometidas al test del hervido, en los áridos en donde se ha desprendido el asfalto, que luego de unas horas cuando se quita totalmente el agua, vuelve a cubrirse en mayor medida la superficie con el asfalto desprendido.

- *pH del sistema:*  
La adherencia del asfalto al árido está fuertemente influenciada por el pH del agua de contacto. Los efectos de diferentes fuentes de agua, por ejemplo de red o agua destilada, entre otras, en la superficie sometida a la prueba de ebullición, demostraron diferencias significativas en los resultados de la prueba. Los resultados indicaron que la retención del recubrimiento, disminuye cuando el pH aumenta.
- *Condiciones ambientales:*  
Como se señalara, la acción del agua y la temperatura es significativa y varía su importancia en función del tipo de minerales en los áridos. Aunque también los asfaltos son más o menos sensibles al agua y a las temperaturas. Vale decir que los dos componentes son influenciados e interaccionan con las condiciones ambientales.

### **Teoría de desprendimientos**

Los estudios de Rice, clasifican estas teorías de fenómenos de superficie de la siguiente forma, las cuales respaldan lo dicho hasta aquí, cuando se describe la acción de los mecanismos que cada uno de los materiales ponen en juego en relación a ellos.

- *Enclavamiento mecánico:*  
La textura de la superficie del agregado es el factor principal que afecta a la adhesión. El enclavamiento mecánico supone la ausencia de interacción química entre el asfalto y el agregado. La resistencia de la unión se supone que deriva de la cohesión entre la superficie del árido y el asfalto incluyendo propiedades individuales del mineral, la porosidad total, la absorción, la capa superficial y la angulosidad.
- *Reacción química:*  
Los postulados y componentes básicos de esta teoría, se fundamentan en la presencia de ácidos en el sistema asfalto agregado. Estos componentes reaccionan formando compuestos insolubles en agua. Se produce una reacción selectiva entre el agregado y los tipos de asfalto. Investigaciones recientes de Jeon et al, se han referido a la posibilidad de la ocurrencia de una absorción química y física del agregado por el asfalto. Según lo dicho en el punto 4 (Adsorción de los promotores de adherencia), se indica que existe un trabajo desarrollado en los mecanismos de adhesión dadas las tensiones superficiales de los áridos y del asfalto. Las reacciones se forman con las fracciones básicas o ácidas de los agregados con agua y con el asfalto. Si se suma un aditivo, las reacciones químicas se dan a su vez con las aminas de los mismos tal cual se explicaron en el punto 4.
- *Orientación molecular o energía de la superficie:*  
Esta teoría representa la estructuración de las moléculas de asfalto en la interfaz asfalto-agregado. Asume que la adhesión entre el asfalto y el

agregado se ve afectada por la relación existente entre la energía superficial de ambos, desarrollando un trabajo de mojado como se señaló en el punto 4. Se ha observado que fracciones de agregados de un valor de pH relativamente alto en contacto con el agua, desarrollan un potencial zeta alto, existiendo una elevada propensión al desprendimiento. Es razonable suponer que el agua penetra de la película de asfalto a la superficie del mineral bajo condiciones de microgotas. El pH alcanzado puede ser suficiente para ionizar y disociar las moléculas de asfalto.

La relación entre las teorías y los mecanismos de desprendimiento se pueden explicar en la siguiente tabla:

### Relación entre mecanismos y teorías

Mecanismos de desprendimiento	Modo de funcionamiento	Teorías								
		Enclavamiento mecánico			Reacción Química			Energía de superficie		
		Físico	Químico	Físico Químico	Físico	Químico	Físico químico	Físico	Químico	Físico químico
Separación	P							P	S	
Desplazamiento						P		P		
Emulsificación espontánea					P	S				
Ruptura de película	P									
Presión de poros	P									
Decapado hidráulico	P									
Inestabilidad del pH						P				P

P: colaborador primario

S: colaborador secundario

En primer lugar, la separación del asfalto de la superficie de agregado, tendrá su fundamentación en la falta de enclavamiento mecánico y en la falta de trabajo de adherencia como acciones de colaboración primaria, y como colaboración secundaria, la acción química de la energía de superficie por la disminución de la tensión superficial.

Los efectos combinados del tránsito, temperatura y agua, propician el desplazamiento de la película de asfalto, siendo en forma primaria una reacción química y físicamente, una reacción de superficie.

Luego los mecanismos enunciados con anterioridad, desarrollarán su acción cada uno haciendo su aporte.

## 7. TÉCNICAS RECOMENDABLES PARA LA EVALUACIÓN DE LA ADHERENCIA ÁRIDO LIGANTE

### Métodos cualitativos

- *Test del hervido, norma ASTM 3625*  
Método para evaluar el efecto del agua sobre agregados con recubrimiento asfáltico, usando agua en ebullición (ASTM 3625) comúnmente denominado Test del Hervido. Resulta ser una herramienta de aproximación en la valoración de las mejoras producidas por el mejorador de adherencia amínico. Este ensayo consiste en obtener una muestra de mezcla asfáltica en caliente, disgregarla, dividirla en dos partes, a una se la introduce en agua hirviendo durante 10 minutos, luego se la compara visualmente con la muestra patrón, y se observa que el desprendimiento del asfalto, en la superficie total de los agregados que conforman la mezcla, no sea superior al 5 %.
- *Riedel – Weber, norma IRAM 1803*  
Es la adhesividad de los ligantes asfálticos a los agregados finos, en base al procedimiento Riedel – Weber. Este ensayo tiene por finalidad determinar el grado de adhesividad del agregado fino con el asfalto. Los agregados pueden ser arena natural o de trituración. Se evalúa la mezcla árido - ligante cuando se somete a la acción de soluciones de carbonato de sodio a concentraciones crecientes. Según la observación visual realizada en el ensayo, se puede decir que se advirtió desprendimiento entre el agregado y el asfalto en el tubo de prueba con la concentración que va de 1 a 9. Se informa si este es mayor o menor al 95 %.
- *Determinación de la adherencia entre agregado y ligante, norma IRAM 6842*  
Utiliza una fracción de agregado que pasa el tamiz IRAM 9,5 mm y es retenida por el tamiz IRAM 6,3 mm. La muestra de áridos es lavada a fin de remover los finos, se seca a 105 °C hasta que dos pesadas sucesivas no difieran en 0,5 g. Se toman 100 g del agregado seco y se calienta durante 1 h en estufa, a la misma temperatura que se utilizará el ligante asfáltico. Éste deberá ser calentado a una temperatura no mayor a 100 °C que su punto de ablandamiento. Se agregan 5,5 g de ligante caliente al agregado caliente, mezclándolos hasta que los agregados estén completamente cubiertos de ligante. Se deja enfriar hasta temperatura ambiente. El agregado cubierto, se transfiere a un vaso de 600 ml, se cubre inmediatamente con 400 ml de agua a temperatura ambiente, se lleva el conjunto a la temperatura del punto de ablandamiento del asfalto más 5 °C y se deja inmerso de 16 a 18 h a esa temperatura. Luego de transcurrido dicho lapso, se inspecciona visualmente sin agitar ni mover el agregado, se quita la película flotante en la superficie de agua, se ilumina la muestra de una manera tal que no se produzca reflejos sobre la superficie. Se observa a través del agua y se estima la superficie

VALORACION DEL DESEMPEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA DENSA  
MODIFICANDO EL TIPO FILLER Y ASFALTO



cubierta, en más o en menos del 95 % de la superficie total de las partículas de agregado.

### Métodos cuantitativos

Se recomienda utilizar estos métodos que permiten ejercer un control cuantitativo de las dificultades experimentadas en la adherencia árido-ligante. Frente a descubrimientos en la superficie, observados por las técnicas cualitativas, se pasa a determinar la dosis exacta en porcentaje de peso de mejorador de adherencia sobre peso de asfalto por medio de los siguientes métodos:

MÉTODO	NORMA	PRECISIÓN DEL MÉTODO	FRECUENCIA DE USO EN ARGENTINA
<b>Test de inmersión compresión</b>	ASTM 1075 AASHTO T 165	Media	Baja
<b>Tracción indirecta Test de Lottman</b>	AASHTO T 283-85	Alta	Media
<b>Estabilidad remanente Marshall</b>	VN-32-67 AASHTO T 165	Media	Alta
<b>Ensayo Cántabro</b>	NLT 352-00	Alta	Baja

La frecuencia de uso refleja que no siempre los mejores métodos son los más utilizados. En este capítulo se desarrolla la valoración de la adherencia en las cuatro mezclas por medio del Test de LOOTMAN, que se desarrolla a continuación. Mientras que el ensayo del Cántabro será utilizado como parte del método UCL de caracterización universal de ligante en el capítulo 5.

## 8. TEST DE LOTTMAN - AASTHO T283

Para la evaluación de la adherencia Árido ligante, se ha utilizado el test de LOTTMAN modificado.

El método propone evaluar la resistencia de las mezclas asfálticas compactadas, al daño causado por la humedad, utilizando el método propuesto por la norma ASSHTO T 283: conocido como Test de Lottman modificado. Es un ensayo que se ajusta más a las condiciones de obra cuantificando la adhesividad. El mismo ha permitido determinar la resistencia a la tracción indirecta de las muestras, midiendo la pérdida de cohesión de una mezcla compactada como resultado de los efectos de la saturación acelerada en agua, permitiendo medir la resistencia de la mezcla en su conjunto. El procedimiento consta de los siguientes pasos: un grupo de probetas deben ser ensayadas a tracción indirecta luego de estar acondicionadas en un baño de agua a 25 °C durante 2 horas, denominado grupo en seco.

El segundo grupo, se acondicionará de la siguiente manera: primero se saturan las probetas colocadas en un recipiente con agua por medio de vacío, luego se colocan a -18 °C durante 16 horas, cumplido este paso se colocan las probetas

VALORACION DEL DESEMPEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA DENSA  
MODIFICANDO EL TIPO FILLER Y ASFALTO

en un baño de agua a 60 °C durante 24 horas, inmediatamente después se colocan en un baño de agua a 25 °C durante 2 horas, para luego ser ensayadas a tracción indirecta, siendo el 80 % el valor mínimo de exigencia de la relación de las tensiones de tracción indirecta, es común encontrar esta relación por las siglas en inglés de tensile strength ratio (TSR).



**Equipo para el test de Lottman**

Las mezclas diseñadas hasta ahora son las siguientes, según se puede ver en el capítulo 1.

- **Mezcla 1. Con 100 % FG proveniente de la arena de trituración con CA-30**
- **Mezcla 2. Con 100 % FG proveniente de la arena de trituración con AM-3**
- **Mezcla 3. Se reemplaza el PT 200 de la arena de trit. Por FC con CA-30**
- **Mezcla 4. Se reemplaza el PT 200 de la arena de trit. Por FC con AM-3.**

**FG: Filler Granítico**  
**FC: Filler Cal**

### Síntesis de los valores Marshall obtenidos

Parámetro	Unidades	Mezcla 1 FG CA-30	Mezcla 2 FG AM-3	Mezcla 3 FC CA-30	Mezcla 4 FC AM-3
Porcentaje óptimo de Asfalto	%	4.7	4.7	4.8	4.8
Densidad Marshall (Dm)	g/cm <sup>3</sup>	2.323	2.422	2.422	2.418
Densidad Rice (Dr)	g/cm <sup>3</sup>	2.410	2.510	2.508	2.499
Vacíos	%	3.6	3.5	3.4	3.2
Estabilidad	Kg	1078	1210	1029	1290
Fluencia	mm	3.6	4.0	3.3	3.8
Relación E/F	Kg/cm	2855	3025	3118	3394
VAM*	%	13.9	14.9	13.8	14.8
Relación B/V	%	78.4	76.6	84.2	78.3

Las probetas para el test de Lottman modificado se moldean de tal forma que su porcentaje de vacíos se encuentre cerca del 8 %. De esa forma se utilizan 25 golpes por cara para tal fin.

**Importante: No se han utilizado promotores de adherencia en ninguna de las mezclas. De esta forma se valora los cambios en la adherencia árido ligante cuando se cambia el tipo de filler y el tipo de asfalto.**

VALORACION DEL DESEMPEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA DENSA  
MODIFICANDO EL TIPO FILLER Y ASFALTO

• **Mezcla 1. Con 100 % FG proveniente de la arena de trituración con CA-30**

Prob N°	Altura	Diám	Lect	Carga	Tracción Indirecta	Prom de la Resist Seca	Prom de la Resist Húmeda	Cálculo TSR = Rh/Rs*100	Tipo de Ensayo
Unid	cm	cm		g	g/cm <sup>2</sup>	Rs (g/cm <sup>2</sup> )	Rh (g/cm <sup>2</sup> )	TSR (g/cm <sup>2</sup> )	
13	6.60	10.27	77	661.8	6.2	6.9	-----	100 %	Sin acondicionar
14	6.25		81	696.2	6.9				
15	6.60		93	799.3	7.5				
16	6.27	10.27	58	498.5	4.9	----	5.3	76.8 %	Acondicionada
17	5.89		67	575.9	6.1				
18	6.45		58	498.5	4.9				

• **Mezcla 2. Con 100 % FG proveniente de la arena de trituración con AM-3**

Prob N°	Altura	Diám	Lect	Carga	Tracción Indirecta	Prom de la Resist Seca	Prom de la Resist Húmeda	Cálculo TSR = Rh/Rs*100	Tipo de Ensayo
Unid	cm	cm		g	g/cm <sup>2</sup>	Rs (g/cm <sup>2</sup> )	Rh (g/cm <sup>2</sup> )	TSR (g/cm <sup>2</sup> )	
19	6.69	10.27	90	773.6	7.2	8.0	-----	100 %	Sin acondicionar
20	6.26		100	859.5	8.5				
21	6.45		100	859.5	8.3				
22	6.27	10.27	95	816.5	8.1	----	8.1	101.7 %	Acondicionada
23	6.33		95	816.5	8.0				
24	6.26		97	833.7	8.3				

• **Mezcla 3. Se reemplaza el PT 200 de la arena de trit. Por FC con CA-30**

Prob N°	Altura	Diám	Lect	Carga	Tracción Indirecta	Prom de la Resist Seca	Prom de la Resist Húmeda	Cálculo TSR = Rh/Rs*100	Tipo de Ensayo
Unid	cm	cm		g	g/cm <sup>2</sup>	Rs (g/cm <sup>2</sup> )	Rh (g/cm <sup>2</sup> )	TSR (g/cm <sup>2</sup> )	
1	6.31	10.27	85	730.6	7.2	7.6	-----	100 %	Sin acondicionar
2	6.33		88	756.4	7.4				
3	6.20		95	816.5	8.2				
4	6.26	10.27	80	687.6	6.8	----	6.9	90.4 %	Acondicionada
5	6.26		80	687.6	6.8				
6	6.31		83	713.4	7.0				

• **Mezcla 4. Se reemplaza el PT 200 de la arena de trit. Por FC con AM-3.**

Prob N°	Altura	Diám	Lect	Carga	Tracción Indirecta	Prom de la Resist Seca	Prom de la Resist Húmeda	Cálculo TSR = Rh/Rs*100	Tipo de Ensayo
Unid	cm	cm		g	g/cm <sup>2</sup>	Rs (g/cm <sup>2</sup> )	Rh (g/cm <sup>2</sup> )	TSR (g/cm <sup>2</sup> )	
7	6.41	10.27	97	833.7	8.1	8.2	-----	100 %	Sin acondicionar
8	6.46		99	850.9	8.2				
9	6.35		99	850.9	8.3				
10	6.29	10.27	88	756.4	7.5	----	8.1	99.4 %	Acondicionada
11	6.49		99	850.9	8.1				
12	6.34		105	902.5	8.8				

VALORACION DEL DESEMPEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA DENSA MODIFICANDO EL TIPO FILLER Y ASFALTO



**Vista de las probetas ensayadas**

**Síntesis de valores de Adherencia por Test de Lottman**

Parámetros	Unidades	MEZCLA 1 FG CA-30	MEZCLA 2 FG AM-3	MEZCLA 3 FC CA-30	MEZCLA 4 FC AM-3
Resistencia a tracción seca RS	Kg/cm <sup>2</sup>	6.9	8.0	7.6	8.2
Resistencia a tracción húmeda RH	Kg/cm <sup>2</sup>	5.3	8.1	6.9	8.1
Resistencia Conservada	%	76.5	101.7	90.4	99.4

**Conclusiones de las cuatro mezclas**

- El aporte de cal, FC, cuando se utiliza CA-30, Mezcla 3, genera un incremento en los valores de resistencia en seco y húmedo, y un cumplimiento con el valor exigido para la resistencia conservada. El valor de resistencia conservada del FG con CA-30, Mezcla 1, no cumple con el 80 % exigido.
- Las mezclas con AM-3 en todos los casos han experimentado cambios de mayor significación. Por lo que el asfalto modificado es el que mayor adherencia garantiza a la mezcla, seguido por el efecto del filler como variable de aporte en tal sentido.

**Conclusiones generales**

- La adherencia árido ligante en una mezcla asfáltica en caliente, es importante considerarla en el momento de la envuelta producida en el tambor secador y en la adición del asfalto. Esta adherencia pondrá en juego las variables enumeradas, tales como características generales de los áridos, del asfalto y temperatura del proceso. Existirá un trabajo de envuelta que se explica como un proceso de adecuación de las tensiones superficiales de los materiales intervinientes.

- Sin embargo, los fenómenos de desprendimiento de la película de asfalto conformada dependerán de las reacciones que se formen en el sistema. Éste estará sometido a acciones del tránsito, de la temperatura y del agua en sus distintos estados. Los mecanismos de desprendimiento enumerados se desarrollarán, en general, en función del origen mineralógico de los áridos, de la presencia o no de sales, de la textura de los áridos gruesos y finos, de la acidez del ligante asfáltico y las sollicitaciones antedichas. Los aspectos teóricos que respaldan estas afirmaciones se encuadran dentro de los postulados de la acción física de la superficie de los áridos o teorías de enclavamiento, la teoría de la reacción química y de la energía de superficie.
- La función de los promotores de adherencia será la de interactuar entre el sustrato sólido, el árido, el líquido viscoso de envuelta, el asfalto y la acción de las variables ambientales. La elección de la familia del producto, se fundamenta en el tipo de árido a envolver, la composición del asfalto y el modo en que se incorpore en el sistema. Cada tipo de promotor de adherencia reaccionará con la superficie del árido y con las fracciones ácidas del asfalto, desarrollando nuevos compuestos, muchas veces insolubles en agua.
- Los promotores de adherencia son capaces de neutralizar los mecanismos de desprendimiento descritos, incluso aquellos que parecen ser reversibles como el mecanismo de retroceso citado.
- Los métodos de valoración de la adherencia árido ligante son variados en número y precisión. Se recomienda en forma primaria comenzar por la valoración con los métodos cualitativos, para luego seleccionar alguno de los métodos cuantitativos expuestos.