

# “DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE LIGANTE OPTIMO, EN MEZCLAS ASFALTICAS ABIERTAS”

**O. Rebollo; R. González y G. Botasso**

Técnico del Área Materiales Viales, LEMaC UTN La Plata, Bs. As. Argentina  
Responsable del Área Materiales Viales, LEMaC UTN La Plata, Bs. As. Argentina  
Director del LEMaC UTN La Plata, Bs. As. Argentina

## RESUMEN

En el presente trabajo se valoran las distintas metodologías de diseño usadas en mezclas drenantes. Para el desarrollo, se evalúan los agregados y el ligante, y se moldean en laboratorio probetas con porcentaje variable de ligante, conforme a la fórmula de trabajo para cada una de las metodologías.

La determinación de la resistencia a Tracción Indirecta, se realiza usando el equipo Marshall y la prensa Lottman. Del análisis de resultados, en esta primera evaluación, se observa que es posible obtener el porcentaje de ligante óptimo para una mezcla drenante, usando una metodología simple y rápida, como lo es la Tracción Indirecta, que no implica gran inversión ni modificación en equipos, y además es adaptable a cualquier laboratorio de obra.

### **Palabras clave:**

Métodos de dosificación - Dosificación mezclas drenantes – Porcentaje de ligante optimo

## ABSTRACT

This paper study the differents methodologies of drainer mixes design. For its development aggregates and asphalt must be analized with test that have differents contents of both, in accordance with the methodology in use.

The determination of Indirect Traction is maked with the Marshall equipment and the Lottman press. The result's analisys of its tests, in this first evaluation, indicate that is possible obtain the optimus content of asphalt for a drainer mix using a simple and quickly methodology, like is the Indirect Traction, without the implication the great cost in equipment modifications and that can be used in the road site.

### **Palabras clave:**

Dose's Methodologies – Drainer mixs desing – Optimus content of asphalt

## INTRODUCCIÓN

Los requerimientos de seguridad al tránsito exigidos hoy en día a las superficies de rodamiento, ha llevado a desarrollar materiales con características diferentes a las ya conocidas. La Mezcla Asfáltica Drenante (MAD) o Mezcla Asfáltica Porosa (MAP), es un material que ha sido desarrollado en esta línea de pensamiento.

Se trata de mezclas asfálticas que se caracterizan por tener un elevado porcentaje de huecos interconectados entre sí (16 a 25% o más, dependiendo del uso, cabe destacar que no solo son usadas como superficie de rodamiento, en especificaciones como las Chilenas están contempladas como capa de alivio de fisuras). Estos huecos permiten el paso del agua a través de la misma, favoreciendo su eliminación en la superficie del camino, y presentando una alta macrotextura y microtextura, ésta última como consecuencia de la calidad de los áridos usados.

Existen diferentes métodos de diseño, los cuales se vuelcan en el presente artículo. La particular estructura interna en estas mezclas, ha llevado a desarrollar ensayos que ayudan a evaluar su comportamiento. Además, en este tipo de mezclas la energía de compactación necesaria para lograr la compacidad en obra es menor que en las mezclas convencionales, razón por la cual se evalúa para qué energía de compactación se alcanza la máxima densidad en la metodología Marshall.

Las metodologías normalmente utilizadas son:

- ***CANTABRO (Origen ESPAÑA)***
- ***AUSTRALIANA (Open Graded Asphalt Design Guide, originada en la Australian Asphalt Pavement Association)***
- ***RP (Origen CHILE)***
- ***TRACCIÓN INDIRECTA (Origen BRASIL)***

Las metodologías conocidas como Cántabro y Australiana, muy utilizadas, plantean para la obtención de una mezcla conforme a las exigencias, la realización de numerosos especímenes. Las de RP y de Tracción Indirecta, en cambio, son metodologías más sencillas, la primera basada en la obtención de un esfuerzo de penetración y la segunda por un esfuerzo de tracción por compresión diametral .

Es de interés estudiar estas metodológicas de dosificación, con el fin de obtener una segura y rápida para mezclas drenantes, como lo ha sido la metodología Marshall para las mezclas tradicionales, teniendo presente que en este caso se está en presencia de curvas granulométricas discontinuas las que generan un esqueleto abierto. Serán entonces necesarios otros tipos de ensayos que ayuden a evaluar el comportamiento de la mezcla.

## CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DRENANTES Y COMPETENCIA

El diseño de las Mezclas Drenantes o Porosas se establece como un compromiso entre su porosidad y su resistencia al desgaste. El equilibrio de estas propiedades, trae como consecuencia una mezcla óptima, ya que al ser éstas contrapuestas, el aumento de la porosidad suele inducir una disminución de la resistencia al desgaste. Esta última es necesaria para que la capa no se desintegre y pueda responder satisfactoriamente a las solicitaciones del tránsito.

Las capas de MAD exponen a la película de ligante que rodea a los agregados a la acción de los rayos ultravioletas, catalizador de la oxidación y la humedad. Resulta crítico que la película de ligante tenga suficiente espesor para resistir estos efectos. Cuando se busca

extender el período de vida, se lo hace con mayor espesor de película asfáltica. Es aquí donde los asfaltos modificados encuentran su aplicación sumando la adición de filler (generalmente cal) mejorando la cohesión y durabilidad de la mezcla y contribuyendo a reducir significativamente la tendencia al escurrimiento en comparación con los asfaltos convencionales.

El rol del ligante es mantener los agregados con suficiente cohesión para resistir desprendimientos y desplazamientos. La durabilidad del ligante está vinculada con la oxidación y el mantenimiento de su poder cohesivo. El empleo de ligante en exceso va en detrimento del objeto de una MAD al restringir los vacíos, y tiende a provocar un escurrimiento del ligante durante el transporte.

Los tramos en servicio ponen de manifiesto que la falla de estas mezclas, se produce por desintegración, al no poder resistir los esfuerzos tangenciales y de succión de los neumáticos de los vehículos.

Una propiedad muy importante que deben poseer las mezclas bituminosas, es una gran resistencia a la acción del agua, en particular las mezcla porosas. Por efecto del agua, pueden desintegrarse rápidamente, sobre todo cuando se emplean áridos y ligantes con problemas de adhesividad.

La elección del tamaño máximo nominal, en adelante TMN, está vinculada a las funciones de la mezcla y el espesor de capa a construir. En general se recomienda que para tener una adecuada compactación en obra el espesor de la capa de rodamiento posea 2,5 veces el tamaño máximo nominal del agregado. No obstante esto, para atenuar posibles efectos de inestabilidad el espesor máximo se limita a 4 veces el TMN. Como regla general la mayor economía y compatibilidad se obtiene con el mayor TMN disponible, en concordancia con las condiciones de drenaje y características superficiales de diseño, considerando los picos de intensidad de lluvias.

La composición granulométrica debe encuadrarse dentro del huso granulométrico seleccionado. La máxima porosidad la provee un agregado de un sólo tamaño, sin embargo por condiciones de durabilidad es necesario una mínima cantidad de mortero para proveer, junto al ligante, la cohesión necesaria a la mezcla.

## METODOLOGÍA

### Materiales

Ligante asfáltico. La tendencia mundial es utilizar ligantes asfálticos modificados, con aporte de polímeros, neumáticos reciclados o aditivos para mejorar la consistencia y conseguir elevados espesores de película. También con estos se busca aumentar la adhesividad y la cohesión, y evitar escurrimientos, o al menos disminuir la tendencia a que éste se produzca. Suelen incorporarse fibras (0,3 % a 9,5 %) como espesantes, inhibidores del escurrimiento y para proveer una película mayor de ligante. Estas fibras son de longitud promedio de 6 mm y de diámetro 5  $\mu\text{m}$ . Además colaboran en la capa construida en la resistencia a las deformaciones plásticas y a la fatiga.

Agregados pétreos. La granulometría es fuertemente discontinua, con menor proporción de agregados intermedios o finos. Esta situación genera un esqueleto granular muy trabado con escasos puntos de contacto, requiriendo de los mismos:

- Resistencia
- Limpieza
- Adecuado coeficiente de forma (cúbicos)
- Adecuada microtextura

- Poseer una elevada proporción de caras obtenidas por fractura,
- Tener afinidad con el ligante,
- No ser alterables y libres de partículas blandas.

Relleno mineral. Los utilizados son el filler calcáreo, la cal y el cemento, siendo la cal predominante en uso, ya que tiene un mayor poder espesante, particularmente importante para obtener un elevado cuerpo de película de ligante y para mejorar de adherencia. Por otra parte, es aceptado el efecto retardador del envejecimiento que manifiesta la cal como filler en la mezcla asfáltica.

### **Descripción de los métodos de diseño**

Método Cántabro. Las consideraciones enumeradas anteriormente condujeron a que en 1979, Félix Pérez Jiménez y Carlos Kraemer, comenzaran a realizar trabajos para establecer una metodología de dosificación en laboratorio para estas mezclas, llegando a desarrollar dos ensayos:

- Cántabro, ensayo de pérdida por desgaste en la máquina Los Ángeles, para la caracterización mecánica.
- Permeámetro de carga variable LCS, para la caracterización hidráulica de porcentajes de vacíos, ya sea en Laboratorio o en campo.

El ensayo Cántabro puede realizarse tanto en estado Seco como en Húmedo, simulando en laboratorio la acción abrasiva del tránsito y la influencia del agua, lo que permite el estudio y dosificación de estas mezclas.

Cuanto mayor es la calidad y porcentaje de los componentes que proporcionan la cohesión a la mezcla, menores son las pérdidas. Como resultado del ensayo, se obtiene la pérdida en peso de la probeta, en tanto por ciento, referido a su peso inicial.

Cántabro Seco: La norma NLT-352/86 describe el procedimiento que debe seguirse, empleando la máquina de Los Ángeles. El procedimiento puede emplearse tanto en el proyecto de mezclas en laboratorio como para el control en obra. Se aplica a las mezclas bituminosas fabricadas en caliente y de granulometría abierta, cuyo tamaño es inferior a 25 mm. El ensayo es realizado a una temperatura de 25 °C, lo cual permite valorar indirectamente la cohesión y trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tránsito.

Cántabro Húmedo: La norma que se refiere a esta metodología es la NLT - 362/92. El ensayo Cántabro Húmedo nos permite valorar la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua en la mezcla y el efecto que produce el empleo de ligantes modificados en la mejora de esa propiedad.

El procedimiento consiste en determinar la pérdida al “Cántabro Húmedo” de mezclas que han permanecido sumergidas en agua durante 4 días a 49 °C ó 24 horas a 60 °C. Pérdidas altas o un índice de aumento de las pérdidas respecto al ensayo de “Cántabro Seco” también alto, sería indicativo de una falta de resistencia de la mezcla a la acción del agua.

Las recomendaciones más usuales para mezclas porosas para capas de rodadura establecen los siguientes valores máximos y mínimos de exigencias.

|  |        |
|--|--------|
| % Huecos   | > 20 % |
| Pérdida al Cántabro seco (25 °C)                   | < 25 % |
| Pérdida al Cántabro tras Inmersión ( 24 hs, 60 °C) | < 35 % |

La medición de permeabilidad se hace a través de un permeámetro de carga variable LCS, (NLT 327/88 - Permeabilidad in situ de pavimentos drenantes con el Permeámetro LCS). El ensayo consiste en medir el tiempo que demora una cierta cantidad de agua en evacuarse del

tubo del permeámetro pasando a través de dos marcas, filtrándose en la mezcla. Estudios españoles han podido determinar correlaciones entre permeabilidad y tiempo de evacuación y porcentaje de huecos versus tiempo de evacuación. Si bien esta metodología fue diseñada para medir permeabilidad in situ de las mezclas drenantes, este permeámetro se utiliza también en laboratorio.

La metodología Cántabro, contempla los siguientes pasos:

- Elección de la curva granulométrica: La Tabla 1 muestra las curvas granulométricas presentadas en la Normativa Española para mezclas abiertas, en nuestro país los trabajos realizados han utilizado el huso granulométrico PA-12.

| Tamiz (mm) | Especificación Española | P       |        | PA      |         |
|------------|-------------------------|---------|--------|---------|---------|
|            |                         | 10      | 12     | 10      | 12      |
| 19         | 20                      | 100     | 100    | 100     | 100     |
| 13,2       | 12,5                    | 100     | 75-100 | 100     | 75-100  |
| 9,5        | 10                      | 80-90   | 60-90  | 70-90   | 60-90   |
| 4,75       | 5                       | 40-50   | 32-50  | 15-30   | 18-30   |
| 2,36       | 2,5                     | 10 - 18 | 10- 18 | 10 - 22 | 10 - 22 |
| 0,6        | 0,63                    | 6-12    | 6 - 12 | 6 - 13  | 6- 13   |
| 0,075      | 0,08                    | 3-6     | 3 - 6  | 3 - 6   | 3 - 6   |

**TABLA 1**

- Elección de los porcentajes de ligante para el diseño: A modo de ejemplo se presenta para el uso granulométrico PA-12 en la Tabla 2

| Huso Español PA-12 |
|--------------------|
| 3,8                |
| 4,3                |
| 4,8                |
| 5,3                |

**TABLA 2**

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

Como se mencionó, es usual realizar en laboratorio “Modelos Físicos”, sobre los que se efectúan las determinaciones usuales de campo, como ser: Parche de Arena, Permeabilidad y Péndulo. De esta forma se tiene acotada la mezcla a colocar y se evalúan de antemano las características fundamentales en éstas, como son la macrotextura, la cantidad de vacíos y la fricción, todos estos parámetros iniciales.

Metodología Australiana. Es un procedimiento racional de diseño, esta “Guía de Diseño” hace la composición de ensayos y determinaciones características, mediante “Cartas de Diseño”. Estas son la herramientas mediante las cuales es posible establecer qué porcentaje de ligante es utilizado en el diseño de la mezcla de obra, respetando valores tales como:

|                 |            |
|-----------------|------------|
| Cantabro Seco   | < 25 %     |
| Cantabro Húmedo | < 35 %     |
| Vacíos          | mín. 20 %  |
| Escurrimiento   | máx. 0,3 % |

Sugiere esta guía dos rangos de aplicación, los cuales son designados como:

- Tipo I, TMDA (Tránsito Medio Diario Anual) < 500 (equivalentes a <  $5 \times 10^6$ )
- Tipo II, TMDA (Tránsito Medio Diario Anual) > 500 ( $N > 5 \times 10^6$ ).

El Tipo I, provee una modesta performance, el Tipo II está destinado a la más alta performance, con elevado contenido de ligante y empleo de cemento asfáltico modificado. Las primeras experiencias realizadas en Argentina, se encuadran dentro del Tipo II.

Para la selección de la granulometría, se utiliza el TMN.

La resistencia a la desintegración y la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua, en la mezcla, son ponderadas mediante los ensayos, Cántabro en Seco y en Húmedo, respectivamente.

Por otra parte, la segregación de ligante es considerada mediante el Ensayo de Escurrimiento (Norma NLT-365/93, Escurrimiento de ligante en mezclas bituminosas abiertas), realizando las determinaciones para cada contenido de ligante asfáltico utilizado en el proceso de dosificación y por duplicado.

El procedimiento se realiza a la máxima temperatura de mezclado que se ajusta, de acuerdo con el tipo de ligante asfáltico utilizado, garantizando las viscosidades especificadas por Norma.

La Guía de Diseño consta de: Selección del TMN; Selección de la granulometría y Selección del ligante de prueba. Previamente a la determinación del contenido de ligante de la mezcla, debe determinarse la absorción de ligante por parte del agregado pétreo. La metodología se refiere únicamente al ligante efectivo. Existe un mínimo contenido de ligante referido al TMN y vinculado al recubrimiento, con una película que asegure cohesión y durabilidad. El máximo se relaciona a la posibilidad de escurrimiento de ligante durante el transporte.

La metodología de diseño se basa en:

- a) Seleccionada la granulometría inicial, en función de los vacíos que se esperen obtener en la capa terminada, se procede a confeccionar probetas con distintos tenores de asfalto.
- b) Con las cantidades de ligante seleccionadas, se preparan pastones destinados a la confección de probetas Marshall para el ensayo de abrasión Cántabro y la ejecución del ensayo de escurrimiento. Los contenidos de ligante de prueba son los mínimos requeridos para el trazado de las diferentes gráficas, que serán las que conformen las cartas de diseño.
- c) La resistencia a la abrasión de las mezclas se evalúa mediante el ensayo Cántabro Seco.
- d) Se determina el escurrimiento de ligante para cada contenido de prueba, por duplicado, empleando el ensayo del canasto de escurrimiento. El escurrimiento no debe superar el 0,3 %. Se grafica el promedio del porcentual de escurrimiento para cada uno de los dosajes de prueba.
- e) Para determinar el contenido de ligante que satisfaga las condiciones de vacío de aire y requerimientos de abrasión, puede emplearse la carta de diseño. El límite mínimo del contenido de vacío de aire es el máximo contenido de ligante ( $CL_{max}$ ). El contenido de ligante correspondiente a la máxima pérdida por abrasión (25 % Cántabro Seco), es el

mínimo contenido de ligante ( $CL_{\min}$ ). El contenido provisional de ligante es el promedio entre  $CL_{\max}$  y  $CL_{\min}$ .

- f) Se determinan las propiedades de la mezcla diseñada.
- g) Si la mezcla con el contenido provisional de ligante reúne todos los requerimientos, la mezcla es satisfactoria por lo cual puede elaborarse y colocarse con el contenido de diseño del ligante.

Metodología “RP”. Esta metodología fue desarrollada en Chile, en el Laboratorio Nacional de Vialidad, MOP, por los Ing. Héctor Rioja V. y Gabriel Palma P.

La metodología consiste en la medición del esfuerzo a la penetración, a temperatura y velocidad controlada, que presentan probetas de mezcla asfáltica abierta, fabricadas de acuerdo con la metodología Marshall. Utilizando en este caso 45 golpes por cara y distintos contenidos de ligante, considerando que la mezcla óptima es *“aquella que presenta el valor máximo de esfuerzo a la penetración”*.

Para el ensayo, los autores especifican una temperatura de laboratorio de 20 °C, dejando las probetas enfriar a esta temperatura y posteriormente colocándolas en forma vertical en una prensa Marshall. En esta disposición son penetradas a una velocidad de 1 mm/min por un pistón de acero de 50 mm de diámetro y un largo de 105 mm adaptado al aro dinamométrico de la prensa.

Para realizar el proyecto de una mezcla por esta metodología, se escoge el huso granulométrico, se establecen distintos porcentajes de ligante, se moldean tres probetas por cada tenor de ligante y se realiza el ensayo de penetración.

Por definición, el cálculo de esfuerzo se realiza considerando el valor medio entre el área del pistón y área de la base de la probeta.

Los distintos esfuerzos de penetración son graficados para cada tipo de mezcla y sus respectivos porcentajes de ligante asfáltico. De dicha gráfica se obtiene el máximo esfuerzo de penetración, que corresponde a un porcentaje de ligante que es adoptado como el “Ligante de Diseño”.

Tracción Indirecta. La determinación de la resistencia a Tracción Indirecta en las mezclas bituminosas representa un parámetro mecánico que puede resultar una herramienta sumamente útil para evaluar la calidad del proceso constructivo de la capa asfáltica, valorando la cohesión de la mezcla.

En el Laboratorio de Caminos de la Universidad de Cataluña se ha estudiado la posibilidad de implementación del ensayo de tracción indirecta en el control de ejecución de capas asfálticas tradicionales, mediante un análisis de sensibilidad del ensayo y un estudio de correlación entre los valores obtenidos en laboratorio y en testigos extraídos de numerosas obras. De las conclusiones obtenidas ha surgido un criterio de aceptación de la mezcla bituminosa que permite evaluar su calidad mecánica y no sólo su compactación.

También se ha deducido que existe una correlación entre la densidad y la resistencia a tracción indirecta de la mezcla, y que esta última es un parámetro capaz de evaluar a la mezcla con mayor sensibilidad que la obtenida mediante el uso de la compactación, pues se ha demostrado que puede conseguirse la misma compactación con temperaturas bajas y una elevada energía o con mayor temperatura y menor energía, resultando la cohesión conseguida mayor en este último caso.

A partir del análisis de estos resultados se han recomendado valores mínimos a conseguir en cada una de las mezclas estudiadas para establecer un **“FACTOR DE CALIDAD”**, en función de la diferencia entre la resistencia de la mezcla fabricada y la conseguida tras su extensión y compactación en obra. Este factor, varía con la calidad conseguida en cada obra,

ya que cuanto menor sea el factor mayor es la calidad y más semejanza existe entre el producto final y la mezcla proyectada en laboratorio.

De lo expuesto se deduce que esta metodología modifica los umbrales de calidad. El conocimiento de los valores de tracción indirecta en laboratorio es una herramienta más al conocimiento, el único control que se le realiza a una capa terminada es determinar la densidad y compararla con la obtenida en la compactación Marshall.

## DESARROLLO DEL TRABAJO

### Consideraciones Iniciales

Selección del Tamaño Máximo Nominal. Se opta por usar el TMN de 20 mm.

Selección de la granulometría. Se seleccionan los husos P-12 y PA-12 según las especificaciones españolas, por ser las más utilizadas en el país.

Elección de los porcentajes de vacíos. El porcentaje de vacíos que se desea para la curva P-12 es del 16 % y para la curva PA-12 del 22 %.

Selección de los agregados. Para obtener las curvas adoptadas se dispone de agregados de origen granítico de color gris, por ser los que tienen mejor comportamiento en las mezclas asfálticas. Los tamaños a utilizar, según la denominación comercial, son 6:20, 3:9 y 0:6, los cuales deben cumplir con todos los ensayos de exigencia propuestos para este tipo de mezcla. Se utiliza cal como filler.

Selección del ligante. Se utiliza un asfalto modificado con polímero, nombre comercial “Rugolastic N”, al cual se le realizan los ensayos para su caracterización.

Selección de los contenidos de ligante de prueba. De acuerdo a las recomendaciones de las distintas metodologías de dosificación, se utilizan los siguientes porcentajes de asfalto, para cada una de las curvas adoptadas, 3 %; 3.5 %; 4 %; 4,5 % y 5 %.

### Caracterización de los Materiales

|                                   |                         |
|-----------------------------------|-------------------------|
| Agregado grueso                   |                         |
| Desgaste “Los Ángeles”            | < 20 %                  |
| Índice de aguja e índice de lajas | < 25 %                  |
| Peso específico                   | 2,67 gr/cm <sup>3</sup> |
| Adherencia ASTM D 3625            | > 95 %                  |
| Cubicida                          | 90 %                    |
| 2 o más caras de fractura         | 92 %                    |
| Limpieza superficial              | 96 %                    |
| Agregado fino                     |                         |
| Peso específico                   | 2,67 gr/cm <sup>3</sup> |
| Equivalente de arena              | 68 %                    |
| Adherencia Riedel Weber           | > 4 %                   |
| Ligante “Rugolasti N”             |                         |
| Penetración a 25 °C               | 68 25°C/5sg/100mm       |
| Punto de ablandamiento            | 83 °C                   |
| Recuperación elástica por torsión | 86 %                    |



## Granulometría de los agregados y Dosificación de las curvas

### Curva P-12

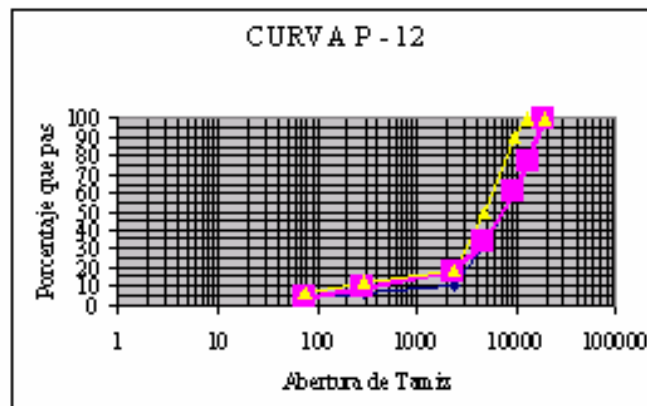
| MATERIALES                         | %    | Dosificación de agregados |
|------------------------------------|------|---------------------------|
| Piedra 6:20                        | 52,0 | 54,5                      |
| CAL                                | 2,0  | 2,1                       |
| Arena de trituración granítica 0:6 | 20,0 | 20,9                      |
| Piedra 3:9                         | 21,5 | 22,5                      |
| Asfalto Modificado                 | 4,5  |                           |
|                                    | 100  | 100                       |

**TABLA 3**

### MEZCLA DE AGREGADOS

| ABERTURA micrómetros | Tamiz | C Mín. | P - 12 | C Máx. |
|----------------------|-------|--------|--------|--------|
| 19100                | 3/4   | 100    | 100,0  | 100    |
| 12700                | 1/2   | 75     | 76,9   | 100    |
| 9520                 | 3/8   | 60     | 60,4   | 90     |
| 4760                 | 4     | 32     | 33,0   | 50     |
| 2360                 | 8     | 10     | 18,2   | 18     |
| 290                  | 30    | 6      | 9,2    | 12     |
| 74                   | 200   | 3      | 3,7    | 6      |

**TABLA 4**



**GRAFICO 1**

### Curva PA-12

### GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS

| Tamiz | Abert. | 6:20  | CAL   | 0:6   | 3:9   |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| ¾     | 19100  | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| ½     | 12700  | 57,6  | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| 3/8   | 9520   | 28,3  | 100,0 | 100,0 | 97,4  |
| 4     | 4760   | 1,1   | 100,0 | 90,3  | 47,6  |
| 8     | 2360   | 0,5   | 100,0 | 61,6  | 9,5   |
| 30    | 290    | 0,3   | 99,0  | 28,3  | 2,9   |
| 200   | 74     | 0,1   | 88,0  | 7,6   | 0,4   |

**TABLA 5**

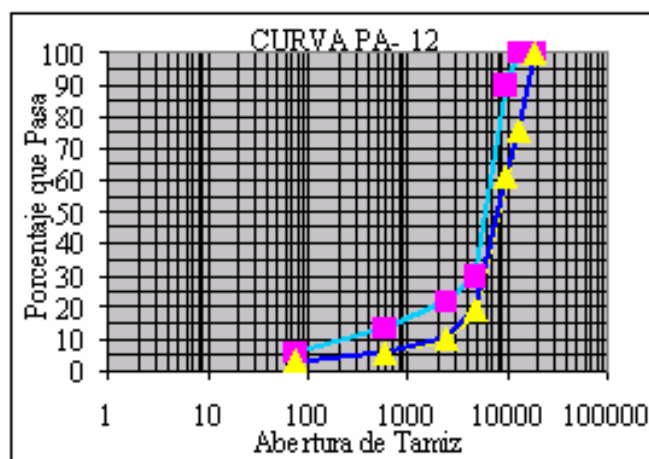
| MATERIALES                        | %    | Dosificación agregados |
|-----------------------------------|------|------------------------|
| Piedra 6:20                       | 70,0 | 72,9                   |
| CAL                               | 2,0  | 2,1                    |
| PIEDRA DE TRITUARCÓN GRANITICA0:6 | 14,0 | 14,6                   |
| Piedra 3:9                        | 10,0 | 10,4                   |
| Asfalto Modificado                | 4,0  |                        |
|                                   | 100  | 100                    |

**TABLA 6**

**CURVA DE AGREGADOS**

| BERTURA micrómetro | C. Mín | Tamiz | PA 12 | C. Máx |
|--------------------|--------|-------|-------|--------|
| 19100              | 100    | 3/4   | 100,0 | 100    |
| 12700              | 75     | 1/2   | 75,2  | 100    |
| 9520               | 60     | 3/8   | 61,0  | 90     |
| 4760               | 18     | 4     | 19,2  | 30     |
| 2360               | 10     | 8     | 10,3  | 22     |
| 590                | 6      | 30    | 5,7   | 13     |
| 74                 | 3      | 200   | 2,8   | 6      |

**TABLA 7**



**GRAFICO 2**

**Esquema de trabajo**

Preparación de las muestras. En esta etapa se procede a la preparación de los distintos pastones conforme a los porcentajes elegidos. La forma de obtener la curva granulométrica representativa de cada huso (P-12 o PA-12) es por pesaje de los distintos materiales que intervienen 6:20, 3:9, 0:6, cal y ligante asfáltico modificado (LAM).

Se utiliza para el moldeo la metodología Marshall, con 50 golpes por cara, atendiendo a los cuidados que estas mezclas deben tener en esta etapa de moldeo como consecuencia de su estructura.

Se determinan los pesos unitarios de las probetas, tomando los volúmenes en forma geométrica.

Moldeo de especímenes. La valoración de la cantidad de especímenes a moldear, se muestra en la Tabla 8.

| Tipo de ensayo                     | Porcentajes de ligante   | Cantidad de probetas                        | Cantidad por porcentaje | Total     |
|------------------------------------|--------------------------|---|-------------------------|-----------|
| Cántabro seco                      | 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 y 5.0 | 3 probetas por porcentaje de ligante.       | 3                       | 15        |
| Tracción Indirecta                 |                          | 3 probetas por porcentaje de ligante.       | 3                       | 15        |
| RP                                 |                          | 3 probetas por porcentaje de ligante.       | 3                       | 15        |
| Escurrimiento                      |                          | Mezcla disgregada, equivalente a 2 probetas | 2                       | 10        |
| Densidad Rice                      |                          | Mezcla disgregada, equivalente a 2 probetas | 2                       | 10        |
| Densidad Rice “Método del Kerosén” |                          | Mezcla disgregada, equivalente a 2 probetas | 2                       | 10        |
| <b>TOTALES</b>                     |                          |   | <b>15</b>               | <b>75</b> |

**TABLA 8**

La valoración de la Tabla 8 es para cada tipo de curva en estudio.

Las temperaturas de mezclado y de moldeo se ajustan para obtener las viscosidades requeridas por norma, 1,7 ( $\pm 0,2$ ) y 2,8 ( $\pm 0,3$ ) poises, respectivamente. Conforme al tipo de ligante a utilizar se trabaja a 170 °C para el mezclado y 160 °C para el moldeo.

La determinación del volumen se realiza geométricamente, siendo los valores a adoptar el promedio de tres mediciones.

Secuencia de ensayos. Determinación de peso específico y absorción de asfalto de agregados pétreos para mezclas asfálticas en caliente VN-E-27. Se utiliza la metodología especificada en esta norma y se anexa la determinación con Kerosén, como forma de valorar la eficiencia de ambas metodologías, debido a la utilización de asfalto modificado. Se llega a la conclusión que los resultados obtenidos de las dos metodologías son parecidos.

- Ensayo Cántabro, según NLT - 352/86, para cada porcentaje especificado. Las probetas se colocan a 25 °C durante 24 hs, antes de ser ensayadas.
- Escurrimiento, según NLT – 365/93, y se utiliza el método del vaso de precipitado como verificación.
- Tracción Indirecta, según NLT – 352/84, las probetas se colocan en un baño de agua a una temperatura comprendida entre 15 °C y 30 °C durante 6 hs para su ensayo. En este caso se adopta como temperatura de ensayo 25 °C
- Metodología RP, las probetas se colocan en un baño de agua a 25 °C durante 6 hs para su ensayo, esto se realiza para poder comparar resultados con el ensayo de Tracción Indirecta.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

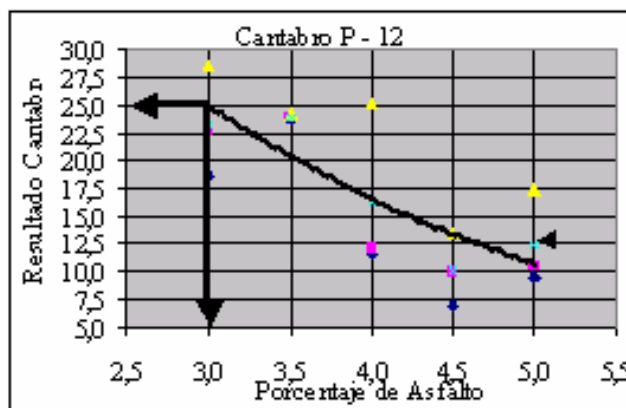
### Mezcla P – 12.

#### Metodología Cántabro

### Ensayo Cántabro Seco

| %Ligante                               | 3,0  | 3,5  | 4,0  | 4,5  | 5,0  |
|--|------|------|------|------|------|
| Resultados de las probetas al desgaste | 18,7 | 23,8 | 11,5 | 7,0  | 9,4  |
|  | 22,6 | 23,9 | 12,1 | 9,9  | 10,4 |
|  | 28,6 | 24,3 | 25,3 | 13,5 | 17,3 |
| Promedios                              | 23,3 | 24,0 | 16,3 | 10,1 | 12,4 |

**TABLA 9**



**GRAFICO 3**

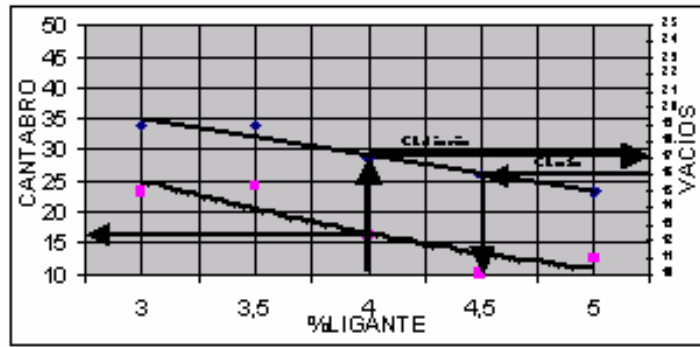
Se observa, en los resultados del Gráfico 3, que todos los porcentajes de ligante de prueba cumplen con la exigencia de la normativa, es decir  $< 25\%$  de pérdida por desgaste. Como el porcentaje de vacíos de diseño es del  $16\%$ , el porcentaje de ligante que cumpliría con esta condición es del  $4,5\%$ , con lo cual se puede tomar éste como contenido de ligante de diseño. Pero para asegurar los vacíos que se desean, se adopta el  $4\%$  como ligante de diseño, ya que cumple con vacíos del alrededor del  $17\%$ , con una pérdida por desgaste del orden del  $16\%$ , valores estos más que aceptables. Además, si se toma en cuenta que se utiliza menos ligante, lo que implica un importante ahorro, aun se garantiza un buen recubrimiento de la película de ligante en el agregado.

No se tiene en cuenta el escurrimiento, debido a que éste no se produjo para ningún porcentaje de ligante de prueba.

Metodología Australiana. Se basa en los ensayos Cántabro, escurrimiento y vacíos, confeccionando una Carta de Diseño con los valores obtenidos en cada ensayo.

| Abrasión - % Betún-Vacíos P-12 |          |        |          |
|--------------------------------|----------|--------|----------|
| % Betún                        | CÁNTABRO |        | % Vacíos |
|                                | Seco     | Húmedo |          |
| 3,0                            | 23,3     | 0      | 19       |
| 3,5                            | 24,0     | 0      | 19       |
| 4,0                            | 16,3     | 0      | 17       |
| 4,5                            | 10,1     | 0      | 16       |
| 5,0                            | 12,4     | 0      | 15       |

**TABLA 10**



**GRAFICO 4**

En este caso se obtuvieron valores de pérdida por desgaste inferior al 25 %. Este valor es el límite máximo que permite la norma, por lo que todos los porcentajes de ligante de prueba cumplen con la exigencia. Por esto, no se puede obtener el Contenido de Ligante mínimo (CLmín). El Contenido de ligante máximo (CLmáx) se obtiene entrando en la carta (Gráfico 4) con el porcentaje de vacíos de diseño, que es del 16 %, por lo que este valor es CLmáx = 4,5 %.

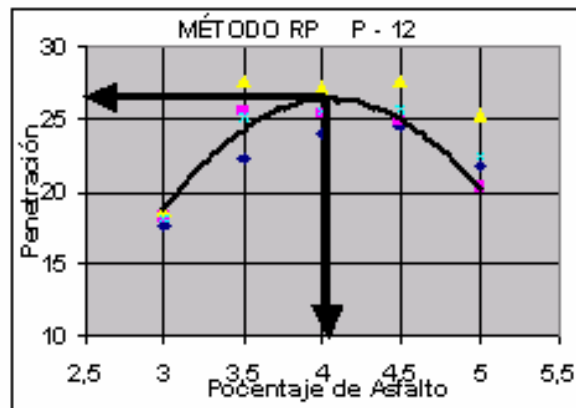
El Contenido de Ligante provisorio (CLprov) se obtiene sacando el promedio entre el CLmín y el CLmáx. Como el CLmín es nulo, se puede adoptar como CLprov = CLmáx = 4,5 %. Para obtener el Contenido de Ligante de diseño (CLdiseño), se entra en la tabla con CLprov y se baja hasta interceptar la curva de escurrimiento, donde los valores deben estar por debajo del 0,3 %. En este caso no se obtuvo escurrimiento para ningún porcentaje de ligante de prueba, por lo que se adopta como CLdiseño el CLprov, dado que CLdiseño = CLprov + % escurrimiento.

Como se observa en la carta de diseño, se puede ajusta el CLdiseño, llevándolo al CLdiseño = 4 %, valor éste que da valores de vacíos superior al 17 % y valores de pérdida por desgaste de alrededor del 16 %, garantizando el recubrimiento de la película de ligante en el árido y por ende de un ahorro de ligante.

Método RP. En La Tabla 11 y en el Gráfico 5 se muestran los resultados obtenidos para los distintos porcentajes de ligante de prueba.

| % de Ligante                             | 3,0  | 3,5  | 4,0  | 4,5  | 5,0  |
|--|------|------|------|------|------|
| Resultados de las Probetas a Penetración | 17,6 | 22,2 | 24,0 | 24,5 | 21,8 |
|  | 18,3 | 25,5 | 25,4 | 24,9 | 20,3 |
|  | 18,6 | 27,6 | 27,1 | 27,6 | 25,2 |
| Promedio                                 | 18,2 | 25,1 | 25,5 | 25,7 | 22,4 |

**TABLA 11**



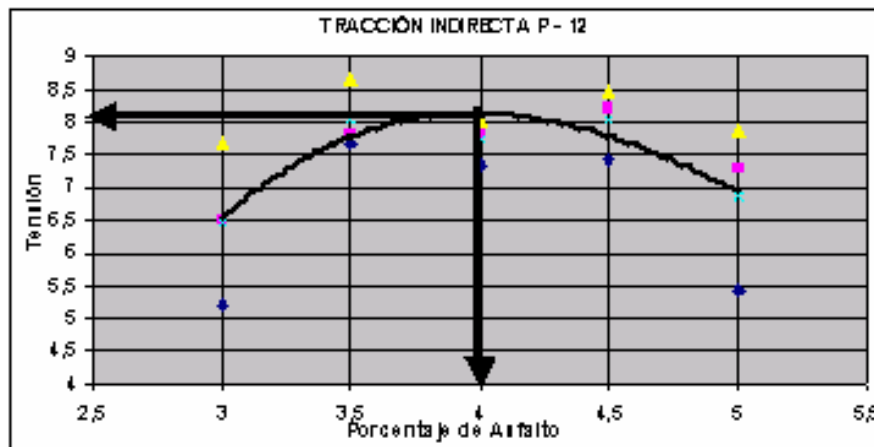
**GRAFICO 5**

Como se observa en el Gráfico 5, el 4 % de ligante otorga el máximo valor de penetración, con lo cual se adopta este valor para el diseño de la MAD.

Metodología de Tracción Indirecta

| % de Ligante              | 3,0  | 3,5  | 4,0  | 4,5  | 5,0  |
|---------------------------|------|------|------|------|------|
| Resultado de las Probetas | 5,22 | 7,67 | 7,33 | 7,43 | 5,44 |
|                           | 6,50 | 7,82 | 7,81 | 8,22 | 7,30 |
|                           | 7,67 | 8,65 | 8,03 | 8,48 | 7,87 |
| Promedios                 | 6,46 | 8,05 | 7,72 | 8,04 | 6,87 |

**TABLA 12**



**GRAFICO 6**

Este ensayo nos sirve para controlar la calidad de ejecución de la capa de rodadura de la mezcla drenante, para lo cual hay que extraer testigos de obra y obtener el Factor de Calidad. Pero analizando el Gráfico 6, con los valores obtenidos en los ensayos, se observa una similitud con la metodología RP, con un máximo valor en el 4 % de ligante.

**Mezcla PA – 12.**

Método Cántabro

### Ensayo cántabro en seco

| %Ligante                  | 3,0   | 3,5   | 4,0   | 4,5   |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Resultado de las Probetas | 37,44 | 32,47 | 21,00 | 19,30 |
|                           | 40,63 | 30,80 | 20,00 | 19,22 |
|                           | 44,24 | 34,13 | 22,40 | 19,42 |
| Promedio                  | 40,77 | 32,47 | 21,13 | 19,31 |

TABLA 13

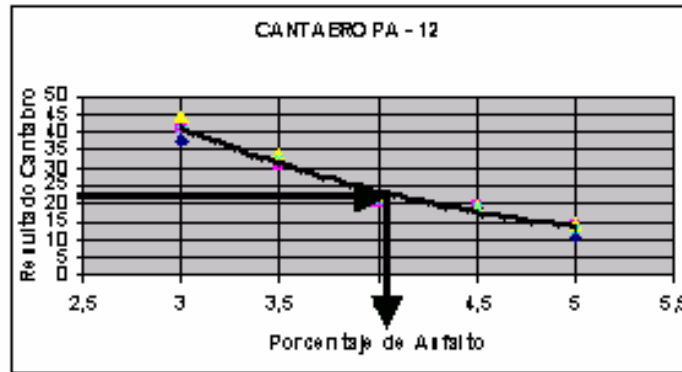


GRAFICO 7

Del análisis de esta curva, se desechan los valores no representativos por su dispersión. Al graficar los resultados obtenidos (Gráfico 7) se observan valores superiores al 25 % de pérdida por desgaste. El 3,9 % de contenido de ligante suministra porcentajes de vacíos levemente superior al 22 %, valor de vacíos adoptado para este huso.

### Metodología Australiana

| ABRASIÓN - % BETUN - VACIOS PA-12 |          |        |            |
|-----------------------------------|----------|--------|------------|
| BETUN (%)                         | CÁNTABRO |        | VACIOS (%) |
|                                   | SECO     | HUMEDO |            |
| 3                                 | 40,8     | 0      | 23,3       |
| 3,5                               | 32,4     | 0      | 23,1       |
| 4                                 | 21,1     | 0      | 22         |
| 4,5                               | 19,3     | 0      | 21         |
| 5                                 | 13,1     | 0      | 21,6       |

TABLA 14

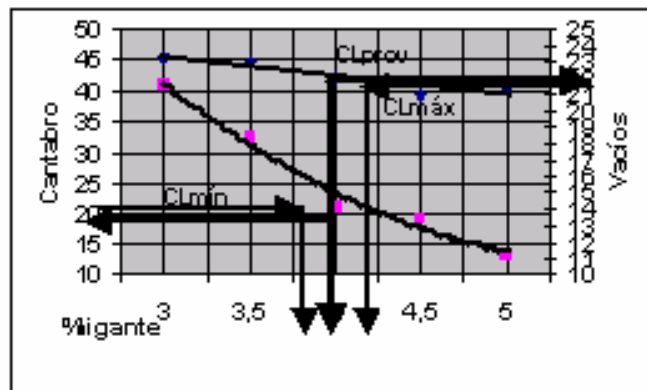


GRAFICO 8

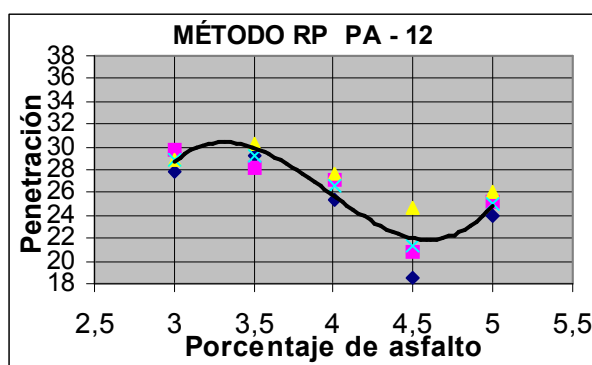
Entrando en el Gráfico 8 con el 22 % de Vacíos, se obtiene  $CL_{\text{máx}} = 4,2 \%$ ; entrando con el 25 % de pérdida por desgaste se obtiene  $CL_{\text{mín}} = 3,6 \%$ . Con estos datos se calcula  $CL_{\text{prov}} = 3,9 \%$ .

Para calcular el Contenido de Ligante de diseño, se debe entrar en la gráfica de escurrimiento, pero como éste no se produjo, se adopta el  $CL_{\text{prov}}$  como  $CL_{\text{diseño}} = 3,9 \%$ , con lo que se obtienen vacíos superiores al 22 % y pérdidas por desgaste inferiores al 25%.

### Método RP

| <b>%Ligante</b>            | <b>3,0</b> | <b>3,5</b> | <b>4,0</b> | <b>4,5</b> | <b>5,0</b> |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Resultados de las Probetas | 27,91      | 29,30      | 25,37      | 18,61      | 24,02      |
|                            | 29,77      | 28,25      | 27,07      | 20,81      | 25,20      |
|                            | 28,80      | 30,28      | 27,57      | 24,70      | 26,05      |
| Promedio                   | 28,83      | 29,28      | 26,67      | 21,37      | 25,09      |

**TABLA 15**



**GRAFICO 9**

Como se observa en el Gráfico 9 el 3,4 % de ligante da el máximo valor de penetración, con lo cual se adopta este porcentaje de ligante para el diseño de la MAD.

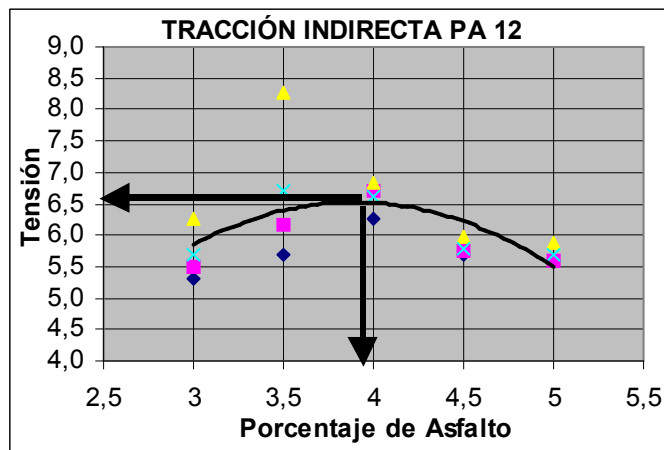
Este valor no concuerda con los obtenidos en los otros métodos de diseño, con lo que se puede afirmar que habría que repetir los ensayos para corroborar los resultados obtenidos, dado que para el huso P-12 se obtuvieron resultados confiables y comparables con las otras metodologías de dosificación. Esto podría deberse a la velocidad del ensayo, la cual no es confiable, puesto que el ensayo se efectuó en forma manual. Para que esto no ocurra, se debe automatizar la máquina de ensayo, colocándole un regulador de velocidad.

### Método Tracción Indirecta.

| <b>%Ligante</b>            | <b>3,0</b> | <b>3,5</b> | <b>4,0</b> | <b>4,5</b> | <b>5,0</b> |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Resultados de las Probetas | 5,3        | 5,7        | 6,3        | 5,7        | 5,7        |
|                            | 5,5        | 6,2        | 6,7        | 5,7        | 5,9        |
|                            | 6,3        | 8,3        | 6,8        | 6,0        | 5,9        |
| Promedios                  | 5,7        | 6,7        | 6,6        | 5,8        | 5,8        |

**TABLA 17**





**GRAFICO 10**

Analizando los resultados obtenidos y observando el Gráfico 10, se obtiene para el 3,9 % de ligante de prueba el máximo valor de resistencia a Tracción Indirecta.

### CONCLUSIONES

Las metodologías Cántabro y Australiana, son confiables para diseño de MAD. En la metodología Australiana el tiempo consumido en obtener los valores finales es excesivo, si se compara con las demás metodologías, por lo que no es conveniente cuando se trata de obtener rápidas conclusiones.

El ensayo Cántabro seco, es un ensayo de fácil ejecución y rápido, que además sirve para verificar la fórmula de diseño durante la ejecución de la obra, cuando se tiene definido el porcentaje de ligante de diseño.

La metodología RP es fácil de ejecutar y permite obtener conclusiones en forma rápida. Pero para su aplicación se deben ajustar algunos detalles, ya que en el huso PA-12 no se verificó el porcentaje de ligante de diseño obtenido con las otras metodologías. Si, en cambio, se verificó en el huso P-12. Por lo dicho, se concluye que esta metodología debe seguir en estudio, hasta que se ajuste la velocidad del equipo de ensayo para tal fin, que es donde posiblemente reside el error.

El ensayo de Tracción Indirecta es de muy fácil ejecución y sirve para controlar la calidad de la obra. Cumple además como metodología de diseño o de verificación de fórmula de obra, dado que se han obtenido idénticos porcentajes de ligante de diseño que con las metodologías Cántabro y Australiana.

Como conclusión final se puede decir que si se tiene que diseñar una MAD, es conveniente emplear la metodología Australiana para obtener el Contenido de Ligante de diseño en función de su precisión, y utilizar el ensayo Cántabro Seco o el de Tracción Indirecta para la verificación y para control de la fórmula de obra. Además, si por diversos motivos se necesita obtener una fórmula de obra en forma rápida se puede utilizar la Tracción Indirecta para obtener el porcentaje de Contenido de Ligante de diseño.