

**IAG36-05-2013**  
**CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DE LA COHESIÓN DE LOS**  
**CEMENTOS ASFÁLTICOS UTILIZADOS EN CHILE MEDIANTE EL**  
**PROCEDIMIENTO UCL®**  
**CARACTERIZAÇÃO COESÃO FUNCIONAL DE CIMENTOS**  
**ASFÁLTICOS USADOS NO CHILE PELO PROCEDIMENTO UCL ®**

Gonzalo Valdés Vidal  
Universidad de La Frontera  
Temuco, Chile  
[gonzalo.valdes@ufrontera.cl](mailto:gonzalo.valdes@ufrontera.cl)

Alejandra Calabi Floody  
Universidad de La Frontera  
Temuco, Chile  
[alejandra.calabi@ufrontera.cl](mailto:alejandra.calabi@ufrontera.cl)

Rodrigo Miró Recasens  
Universidad Politécnica de Cataluña  
Barcelona, España  
[r.miro@upc.edu](mailto:r.miro@upc.edu)

Rodrigo Osses Peña  
Universidad de La Frontera  
Temuco, Chile  
[rodrigo.osses@ufrontera.cl](mailto:rodrigo.osses@ufrontera.cl)

## **Resumen**

Una de las principales propiedades que debe poseer el ligante de las mezclas asfálticas para aumentar su durabilidad en los pavimentos, es la cohesión. En Chile, pese a la diversidad climática imperante a lo largo de su territorio y a la importancia que tiene la cohesión proporcionada por el cemento asfáltico a la matriz árido-ligante en el comportamiento estructural de la mezcla asfáltica, esta propiedad no se considera habitualmente en las fases de diseño de la mezcla. En este contexto, este trabajo muestra los primeros resultados de una investigación realizada en el Laboratorio de Asfaltos de la Universidad de La Frontera que tiene por objetivo evaluar la cohesión de cementos asfálticos utilizados en Chile en su interacción árido-ligante. Para ello, se ha utilizado la Metodología UCL® para la caracterización de ligantes, basada en el ensayo Cántabro. Este procedimiento permite caracterizar funcionalmente los ligantes mediante su capacidad de cohesión en la matriz árido-ligante, evaluando la susceptibilidad térmica del ligante y su afinidad con el árido empleado, determinándose para cada ligante evaluado una curva de estado. En este estudio se evaluaron cinco ligantes asfálticos, tres convencionales frecuentemente empleados en la fabricación de mezclas asfálticas, un ligante modificado con polímeros y un ligante de alto módulo. A su vez, se utilizaron tres tipos de áridos, dos de

procedencia fluvial, obtenidos de la misma fuente, pero distinto patrón de forma, y un tercer árido procedente de cantera, todos extraídos de localidades cercanas a la ciudad de Temuco, IX Región de Chile.

## **Resumo**

Uma das propriedades principais que deve ter um ligante de misturas de asfalto para aumentar a durabilidade em pavimentos, é a coesão. No Chile, apesar da diversidade climática predominante em todo o seu território, ea importância da coesão fornecida pelo cimento asfáltico a matriz agregado-ligante no comportamento estrutural da massa asfáltica, esta propriedade não é normalmente considerado no fases de concepção da mistura. Neste contexto, este trabalho apresenta os primeiros resultados de uma pesquisa realizada no Laboratório de Asfalto na Universidad de La Frontera, que visa avaliar a coesão de cimentos asfálticos usados no Chile, em interação ligante-árido. Para isso, foi utilizada a metodologia UCL<sup>®</sup> para a caracterização de ligantes, com base no ensaio Cántabro. Este procedimento permite que os classificadores funcionais caracterizar a coesão através de sua capacidade de matriz agregado-ligante, avaliando a suscetibilidade térmica do ligante e agregado afinidade utilizado, determinado para cada curva de ligação foi avaliada. Neste estudo, foram avaliadas cinco ligantes asfálticos convencionais três freqüentemente utilizado na fabricação de misturas de asfalto, um aglutinante polímero modificado de pasta e de alto módulo. Por sua vez, foram utilizados três tipos de agregados, dois de origem fluvial, obtido a partir da mesma fonte, mas padrão de forma diferente, e um terceiro conjunto de pedreira, todos retirados de vilarejos perto da cidade de Temuco, IX Região Chile.

## **INTRODUCCION**

Las carreteras son una pieza clave en el desarrollo económico y social en el territorio de un país (Keane, 1996; Ibarrola, 2008; Tamames, 2003). A nivel mundial, aproximadamente el 95% de los pavimentos de carreteras corresponden a pavimentos asfálticos (Lesueur, 2009; Apeagyei, 2011). En Chile, la situación es similar, la longitud total de la red vial asciende a 77.603 Km, de los cuales el 24% está pavimentado, y de donde, aproximadamente el 90% de los pavimentos corresponde a pavimentos asfálticos (Ministerio de Obras Publicas de Chile, 2013). Sumado a lo anterior, es preciso señalar que la estructura de pavimento es la parte de la infraestructura vial que requiere la mayor inversión de recursos económicos, tanto en su etapa de construcción como en su etapa de mantenimiento (Huang, 1993), y su estado influye directamente en la mayoría de los costos indirectos de la carretera, aumentándolos cuando su estado no es óptimo, principalmente por conceptos de aumento en tiempos de viaje, consumo de combustible y deterioro de los vehículos de transporte, entre muchos otros costos involucrados (De Solminihaç, 2001; Pérez, Miró, y Martínez, 2006).

De acuerdo a la importancia de lo expuesto anteriormente, con la finalidad de obtener estructuras que puedan tener una mayor durabilidad en el tiempo, se hace necesario el continuo estudio de metodologías adecuadas que permitan evaluar y caracterizar el comportamiento de los materiales que se utilizan en la construcción de carreteras. Por otra parte, para obtener un buen comportamiento de los pavimentos asfálticos, se requiere que los ligantes utilizados en la fabricación de mezclas posean una baja susceptibilidad térmica, para evitar así, posibles deterioros por fisuración y deformaciones plásticas. Actualmente, los métodos tradicionales de

caracterización de ligantes se basan fundamentalmente en el cambio de viscosidad que éstos experimentan con la temperatura, lo cual permite conocer la susceptibilidad térmica de estos. A su vez, las especificaciones basadas en los ensayos tradicionales tienen la ventaja de su sencillez. Sin embargo, presentan el inconveniente de no basarse sobre ninguna propiedad fundamental y funcional de los ligantes para su empleo en carretera, tales como módulo de rigidez, cohesión y poder aglomerante, entre otras (Pérez y Bardesi, 2006). Al mismo tiempo, estos ensayos no permiten valorar fácilmente las mejoras que proporciona el empleo de asfaltos modificados respecto de asfaltos convencionales, junto con señalar que es difícil predecir la diferencia de comportamiento que pueden presentar los ligantes en su interacción con áridos de distinta procedencia o forma, impidiendo una fácil comparación de los ligantes entre sí, respecto a la propiedad de cohesión que deben proporcionar éstos.

En este contexto, el estudio que se presenta en este trabajo tiene por objetivo evaluar una de las propiedades fundamentales que deben aportar los cementos asfálticos en una mezcla asfáltica para garantizar su durabilidad: la cohesión de la matriz árido-ligante, en función de su susceptibilidad térmica. Para ello, se ha utilizado la Metodología UCL<sup>®</sup>, determinándose para cada ligante evaluado una curva de estado. En este estudio se evaluaron cinco ligantes asfálticos, tres convencionales frecuentemente empleados en la fabricación de mezclas asfálticas, un ligante modificado con polímeros y un ligante de alto módulo. A su vez se utilizaron tres tipos de áridos, dos de procedencia fluvial, obtenidos de la misma fuente, pero distinto patrón de forma, y uno de procedencia de cantera, todos extraídos de localidades cercanas a la ciudad de Temuco, IX Región de Chile.

## **ETAPA EXPERIMENTAL**

### **Metodología**

Para la evaluación de la cohesión de los cementos asfálticos utilizados en Chile se utilizó el Método Universal de Caracterización de Ligantes UCL<sup>®</sup>, desarrollado por la Universidad Politécnica de Cataluña. Esta metodología corresponde a un procedimiento funcional para la medición del poder aglomerante o cohesión de los cementos asfálticos, que se basa en valorar la resistencia que posee el ligante a la disgregación en una mezcla de granulometría y composición definida, caracterizada por un alto valor de contenido de huecos. Esta metodología utiliza el ensayo Cántabro a una temperatura ambiente de 25 °C, y probetas Marshall fabricadas con un contenido de ligante de 4,5% (sobre el peso del árido) y una granulometría patrón compuesta por un 80% de árido tamaño 2,5/5 mm y el 20% restante de tamaño 0,63/2,5 mm. La finalidad de la eliminación del árido fino es evaluar la cohesión proporcionada por el ligante a la matriz árido – ligante. El ensayo cántabro se encuentra descrito en las normativas española y chilena bajo los procedimientos NLT 352 y 8.302.54 (Manual de Carreteras de Chile), respectivamente. Una vez determinadas las pérdidas por desgaste (promedio de 3 probetas), para cada temperatura evaluada en cada ligante se puede obtener la curva de estado de éste. Esta curva permite definir el comportamiento del ligante indicando cuando las uniones árido-ligante presentan una respuesta frágil, tenaz o inconsistente, de acuerdo a su capacidad aglomerante y susceptibilidad térmica, determinadas en función de las pérdidas por desgaste registradas del ensayo cántabro.

Para evaluar la influencia de la forma del árido en la capacidad de cohesión de los ligantes estudiados, adicionalmente a los ensayos de caracterización requeridos en las especificaciones

para fabricación de mezclas asfálticas, se realizó un análisis de forma de éstos, de acuerdo a un procedimiento propuesto por Chen publicado el año 2005 (Chen et al, 2005). Para ello, se analizaron las partículas de los áridos más gruesos de la granulometría UCL<sup>®</sup>, fracción 2,5/5 mm, por medio del cálculo de diferentes parámetros que involucran razones entre sus diámetros (ecuaciones 1 a 4). De estos parámetros calculados, los factores de planitud y elongación fueron utilizados para definir la forma de las partículas, Figura 1.

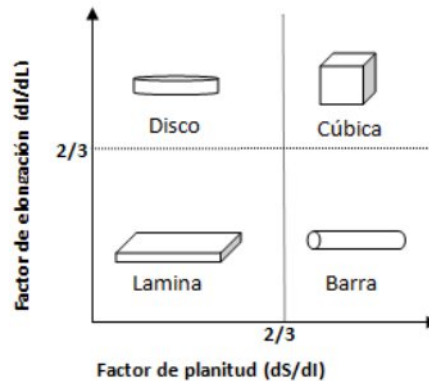
$$\text{Factor de elongación} = dI/dL \quad (1)$$

$$\text{Factor de planitud} = dS/dI \quad (2)$$

$$\text{Factor de forma} = dS/\sqrt{dI \cdot dL} \quad (3)$$

$$\text{Factor de esfericidad} = \sqrt[3]{dS \cdot dI/dL^2} \quad (4)$$

Donde, dI: diámetro intermedio (mm); dL: diámetro mayor (mm), dS: diámetro menor (mm).



**Figura 1: Formas de partículas, Diagrama de Zingg**

Adicionalmente se determinó para cada árido utilizado un índice de partícula, IP (ecuación 5), el cual refleja el efecto combinado de la forma del árido y su textura superficial, el cual fue determinado de acuerdo a la norma ASTM D3398, Test Method for Index of Aggregate Particle Shape and Texture.

$$IP = 1.25 V10 - 0.25 V50 - 32 \quad (5)$$

Donde, IP: Índice de partícula; V10: Huecos en el árido compactado con 10 golpes por capa, (%); V50: Huecos en el árido compactado con 50 golpes por capa, (%).

## **Materiales**

### *Cementos Asfálticos*

Los cementos asfálticos evaluados correspondieron a tres cementos asfálticos convencionales utilizados en Chile en la fabricación de mezclas, dos clasificados como CA-24 (viscosidad superior a 2400 poises), pero con distintas viscosidades, y uno clasificado como CA-14 (viscosidad entre 1400 y 2400 poises), utilizado en la zona más austral de Chile. Además, se evaluó un cemento asfáltico, fabricado y distribuido comercialmente en Chile, modificado con un

5% de polímeros SBS (CA-MP) y un cemento asfáltico de alto módulo (CA-AM). Las características de los ligantes utilizados en el estudio se observan en las Tablas 1 y 2.

### Áridos

Los áridos utilizados en las pruebas experimentales fueron: dos de tipo fluvial (AF) y un árido de cantera (AC), Figura 2. Los áridos de origen fluvial utilizados, corresponden a un material procesado y obtenido de lechos y riberas del cauce del río Cautín de la IX región de Chile. Estos están compuestos principalmente por partículas de dolomita, basalto, dacitas, andesitas, riolitas, arenisca, cuarzo y cuarcita (Moreno y Varela, 1985). La principal diferencia entre los áridos de origen fluvial es su proceso de trituración final. El árido con forma más esférica en sus partículas, (AF2), se obtuvo por medio de un triturador de impacto, mientras que el árido con una forma más irregular (AF1), se obtuvo a través de un triturador de cono. El árido de cantera (AC) se extrajo de la Cantera Metrenco de la IX región de Chile. Según estudios realizados, este árido se compone en un 39% de Plagioclasa, 5% de Piroxenos y un 2% de minerales opacos los cuales son minerales primarios. También contiene un 30% de Cuarzo, 22% de Biotita y un 1% de óxidos de hierro (Idiem, 2010). Al igual que el árido AF1, el árido AC se obtuvo por medio de un proceso de trituración por chancador de cono. Las propiedades físicas de los áridos utilizados se observan en la Tabla 3.

**Tabla 1. Propiedades de los cementos asfálticos convencionales evaluados (CA 14 y CA 24)**

Ensayos	CA-24 (1)	CA-24 (2)	Esp.	CA-14	Esp.
Viscosidad Absoluta a 60°C, 300 mm Hg (P)	3455	2410	Min 2400	1833	1400-2400
Ductilidad a 25°C	>105	>105	Min 100	>105	Min 100
Ensayo de la Mancha con Hep./Hil., (%xilol)	<30	<30	Max 30	<30	Max 30
Punto de Inflamación copa abierta, (°C)	>232	>290	Min 232	>290	Min 232
Punto de Ablandamiento, (°C)	50	51,8	Informar	51,8	Informar
Índice de Penetración, (IP)	-0,5	-0,6	-1,5 a +1,0	-0,9	-1,5 a +1,0
<b>RFOT</b>					
Perdida por calentamiento, (%).	0,24	0,4	Max 0,8	0,4	Max 0,8
Viscosidad Absoluta a 60 °C, 300 mm Hg (P)	10952	7230	Informar	3911	Informar
Ductilidad a 25 °C, 5 cm/min	>105	>105	Min 100	>105	Min 100
Índice de Durabilidad	3,2	3,0	Max 3,5	2,1	Max 3,5

**Tabla 2. Propiedades de los cementos asfálticos no convencionales evaluados (CA MP y CA AM)**

Ensayos	CA-MP	Esp.	Ensayos	CA-AM	Esp.
Penetración a 25 °C, 100g. 5s. (0,1 mm)	65	60-80	Penetración a 25 °C, 100g. 5s. (0,1 mm)	14	Manual de Carreteras
Punto de Ablandamiento, (°C)	76	Min 60	Punto de Ablandamiento, (°C)	65	Chileno
Ductilidad a 5°C	52	Min 50	Índice de Penetración	-0.62	no
Ductilidad a 25°C	98	Min 80	Índice de Frass, (°C)	-3	presenta
Índice de Penetración	4,5	Min +2	Punto de Inflamación copa abierta, (°C)	>240	especifica
Índice de Frass, (°C)	-18	Max -17	Viscosidad Brookfield a 135°C (cP)	1709	ciones
Recuperación elástica (13 °C, 20 cm, 1 hr)	66	Min 50	Viscosidad Brookfield a 160°C (cP)	453,3	para
Punto de Inflamación copa abierta, (°C)	240	Min 235	<b>RFOT</b>		asfaltos de
			Penetración, (%).	64	alto
			Diferencia punto ablandamiento	9	módulo

**Tabla 3 Propiedades de los áridos utilizados en el estudio**

Ensayos	AC	AC	AF 1	AF 1	AF 2	AF 2	Esp.
	(5-2,5) mm	(2,5-0,63) mm	(5-2,5) mm	(2,5-0,63) mm	(5-2,5) mm	(2,5-0,63) mm	
Desgaste Máquina de Los Ángeles (%)	28	-	25	-	14,3	-	< 25 - 35%
Densidad Aparente	Suelta (kg/m³)	1.047	1.252	1.195	1.293	1.441	1.456
	Comp. (kg/m³)	1.177	1.326	1.309	1.500	1.496	1.523
Densidad Real, Neta y Absorción	Real (kg/m³)	2.372	2.428	2.607	2.611	2.637	2.650
	Neta (kg/m³)	2.719	2.596	2.792	2.660	2.776	2.701
	Absorción (%)	5,3	2.65	2,5	0,7	1,8	1,6



**Figura 1: Fracción 2,5/5 mm de áridos utilizados en el estudio**

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Análisis de forma de los áridos

Los parámetros obtenidos en el análisis de forma de los áridos utilizados se pueden visualizar en la Tabla 4. En el Diagrama Zingg de la Fig. 3, se puede observar que la clasificación obtenida de acuerdo a la forma de los agregados utilizados en este estudio es la siguiente: AC y AF1 son tipo lámina y AF2 cúbica. Los áridos AF1 y AC se encuentran dentro del cuadrante de partículas tipo lámina, y se sitúan, bastante próximos entre sí, cerca a la zona de intersección de los 4 cuadrantes, lo que indica que la forma de estas partículas es más bien irregular que laminar. Dentro del análisis realizado se observa que mientras mayor es el valor del factor de forma más cubicas son las partículas. De acuerdo a Chen et al. 2005, para áridos utilizados en pavimentación el factor de forma fluctúa está entre 0.3 – 0.8. Por lo tanto, los tres áridos estudiados se encuentran es este rango, al igual que en los valores de esfericidad donde los valores fluctúan entre 0.5 y 0,9, según lo expuesto por Chen et al. 2005. Respecto al valor de esfericidad el árido AF2, es que registra un valor mayor, concordando con la inspección visual de éste.

**Tabla 4 Análisis de forma de los áridos utilizados en el estudio**

Árido	dL (mm)	dI (mm)	dS (mm)	Factor de Elongación	Factor de Planitud	Factor de Forma	Factor de Esfericidad	Índice de Partículas IP
AC	6,39	3,96	2,05	0,62	0,52	0,41	0,58	20,1 V10=51.7% V50=50%

AF1	6,59	3,91	2,21	0,59	0,56	0,43	0,58	20,3 V10=51.8% V50=50%
AF2	5,55	3,99	2,78	0,72	0,70	0,59	0,71	14,6 V10=46.1% V50=44.3%

Respecto al factor Índice de Partículas, IP, se observa que los áridos AC y AF1 obtuvieron valores bastante similares (20,1 y 20,3, respectivamente), al igual que en los otros parámetros de forma calculados. Los valores de IP registrados en los áridos AC y AF1 fueron superiores al valor registrado al árido AF2 (14,6). Analizando la ecuación 5, el IP tiene una directa relación con el índice de vacíos que presentan los áridos que forman los esqueletos minerales de las matrices de áridos en un volumen determinado a diferentes niveles de compactación, V10 y V50. Mientras mayor es el índice de vacíos, mayor valor de IP se obtendrá. Este resultado se puede deber a que los áridos AF1 y AC al presentar una forma más irregular, y poseen una mayor cantidad de vacíos entre partículas (En la Tabla 4, se puede observar que tanto el valor de V10 como el IP para los áridos AC y AF1 son mayores que los registrados para el árido AF2, coincidiendo con lo que resulta evidente en cuanto a la diferencia de formas entre dichos áridos). En consecuencia, los resultados obtenidos del factor IP calculado para todos los áridos indican que los áridos AC y AF1 presentan una mayor contribución de forma, angulosidad y textura de la superficie del agregado, producto principalmente de su forma más irregular, contribuyendo a un mayor rozamiento interno en la matriz de áridos, en relación al árido AF2 que presenta un mayor valor en el factor de esfericidad. Esto podría influir en el comportamiento a la cohesión de la matriz árido-ligante, tal como se analiza en el apartado siguiente.

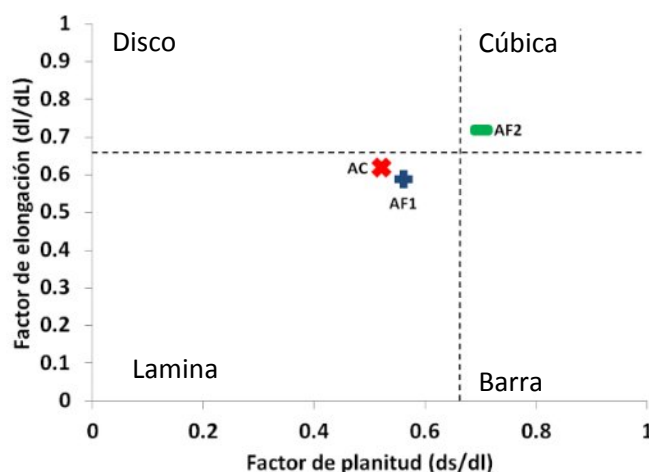
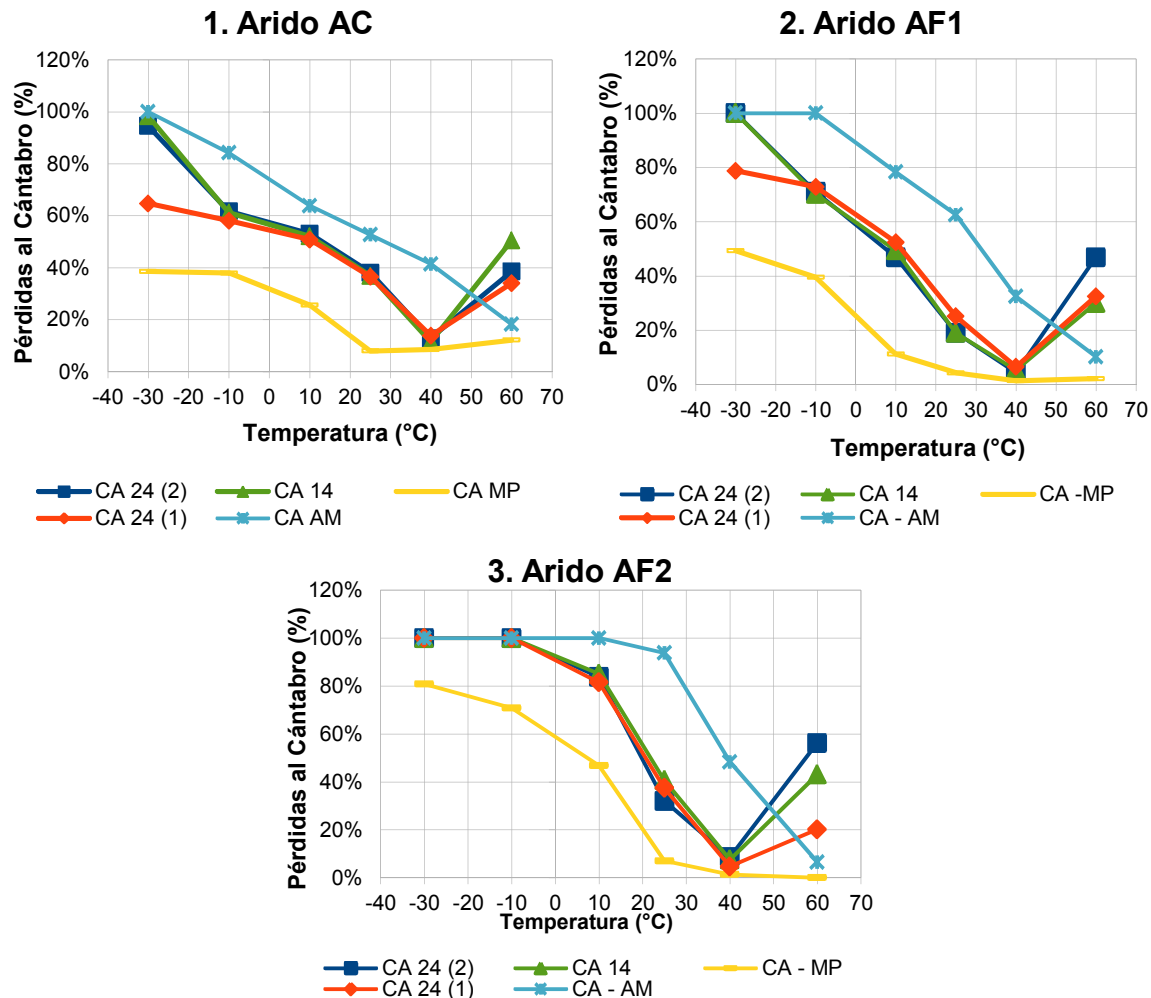


Figura 3: Diagrama de Zingg con los áridos utilizados en el estudio

### Evaluación de la cohesión de los cementos asfálticos

Los resultados obtenidos de acuerdo a la capacidad de cohesión que proporcionan los cinco cementos asfálticos evaluados en los tres tipos de áridos utilizados, a diferentes temperaturas de evaluación, se observan en las curvas de estado de las gráficas de la Figura 4. En cada curva de estado obtenida y registradas en las gráficas, se pone en evidencia las diferencias entre los ligantes evaluados en la cohesión proporcionada a la matriz árido-ligante. Se puede observar en estas gráficas que todos los ligantes convencionales presentaron un comportamiento bastante

similar en sus curvas de estado, mostrando una baja cohesión a bajas temperaturas con altas pérdidas en el ensayo cántabro, producto de la mayor fragilidad del las uniones árido ligante, con un ligero mejor comportamiento del CA-24(1) (cemento asfáltico convencional de mayor viscosidad) a la menor temperatura evaluada (-30°C) en los áridos AC y AF1. A su vez, se observa un comportamiento viscoplastico del ligante a temperaturas intermedias con las menores pérdidas al desgaste, y finalmente la inconsistencia de los ligantes a temperaturas más altas, con mayores pérdidas al ensayo cántabro. Por otra parte, se observa que el cemento asfáltico modificado con polímeros CA-MP presenta el mejor comportamiento en relación a los otros cuatro ligantes. Si bien, su cohesión a temperaturas negativas es menor, presenta un aumento desde los 10°C llegando a un porcentaje de desgaste mínimo sobre los 25°C, y por consiguiente una mejor cohesión. De los ligantes evaluados en la Figura 4, es éste el que posee una menor susceptibilidad térmica, lo cual se refleja en la pendiente más extendida de su curva de estado. Respecto del ligante de alto módulo evaluado, CA-AM, se pudo observar un rango mayor de comportamiento frágil, en relación a los otros ligantes, lo cual era de esperar por sus características de dureza y viscosidad. Se observa que el CA-AM es el más susceptible a la temperatura, lo cual se muestra por la pendiente de su curva de estado. Sin embargo, a temperaturas altas (60°C) su comportamiento es bastante mejor que los ligantes convencionales.



**Figura 4: Curvas de estado de los cementos asfálticos evaluados  
1. Árido AC, 2. Árido AF1 y 3. Árido AF2**



En las gráficas de la Figura 5 se presentan las curvas de estado para cada ligante evaluado en función del árido utilizado. A vista general, en todos los ligantes evaluados, se registró un mejor comportamiento a la cohesión en los áridos AC y AF1, en relación al árido AF2, evidenciándose menores pérdidas al ensayo cántabro en las temperaturas evaluadas inferiores a 25°C, puesto que temperaturas superiores se registraron comportamientos similares. Así mismo, las pendientes de las curvas de estado fueron más altas en las curvas correspondientes al árido AF2, lo cual indica una mayor susceptibilidad térmica a la rotura de los puentes de enlace árido-ligante en relación a los áridos AC y AF1. Entre los áridos AC y AF1 se obtuvieron comportamientos similares en sus pérdidas al desgaste, lo cual indica similares capacidades de ligazón ó cohesión de los ligantes en las matrices árido-ligante respectivas. En relación a estos dos áridos estudiados en su comportamiento con los ligantes convencionales, se observa la tendencia que a temperaturas inferiores a 25°C, es el árido AC que presenta una mejor respuesta, tendencia que cambia a temperaturas superiores a 10 °C, presentando un mejor comportamiento el árido AF1. Con el CA-AM se observa la misma tendencia, solamente que la temperatura de cambio de comportamiento es superior a la de los ligantes convencionales. Con el CA-MP la respuesta a la cohesión del ligante es más similar entre los áridos AF1 y AC, producto principalmente de la buena capacidad de ligazón del ligante evaluado, no presentándose diferencias significativas entre los áridos.

Para finalizar el análisis de resultados, se presentan algunas relaciones entre el comportamiento de las curvas de las gráficas de la Fig. 5, con respecto al análisis de forma de las partículas y al cálculo del índice de partícula (IP). Con respecto a éste último, los áridos AF1, AC y AF2, obtuvieron valores de IP de 20.3, 19.9 y 14.5, respectivamente. De acuerdo a Chen et. al 2005, altos valores de IP indican que el árido posee un mejor comportamiento debido a la alta fricción interna. Si se observa el comportamiento de los áridos AF1 y AC (mayor valor de IP) con los cinco ligantes evaluados, se puede afirmar que sus comportamientos presentaron siempre las menores pérdidas a temperaturas medias y bajas, entre los 25°C y -30°C. Contrariamente, en las mismas temperaturas evaluadas, la cohesión proporcionada por los ligantes con el árido AF2 (menor valor de IP) fue bastante menor a los otros áridos en estudio. A temperaturas superiores a los 25 °C, el valor IP no registra una relación directa con el grado de cohesión proporcionada por los ligantes, puesto que las curvas de estado presentaron un comportamiento similar en los distintos ligantes evaluados, independientemente del árido utilizado.

En consecuencia, el valor IP, puede ser considerado un indicador prometedor respecto al aporte en la propiedad de cohesión de un árido en la matriz árido ligante, estableciéndose que para temperaturas inferiores a 40°C un árido con mayor IP pudiera presentar mayores niveles de cohesión en la matriz árido ligante. Además, de acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, se observa una mayor significancia en la propiedad de cohesión de la matriz árido ligante por parte del patrón de forma que la composición mineralógica (solo para los áridos evaluados).

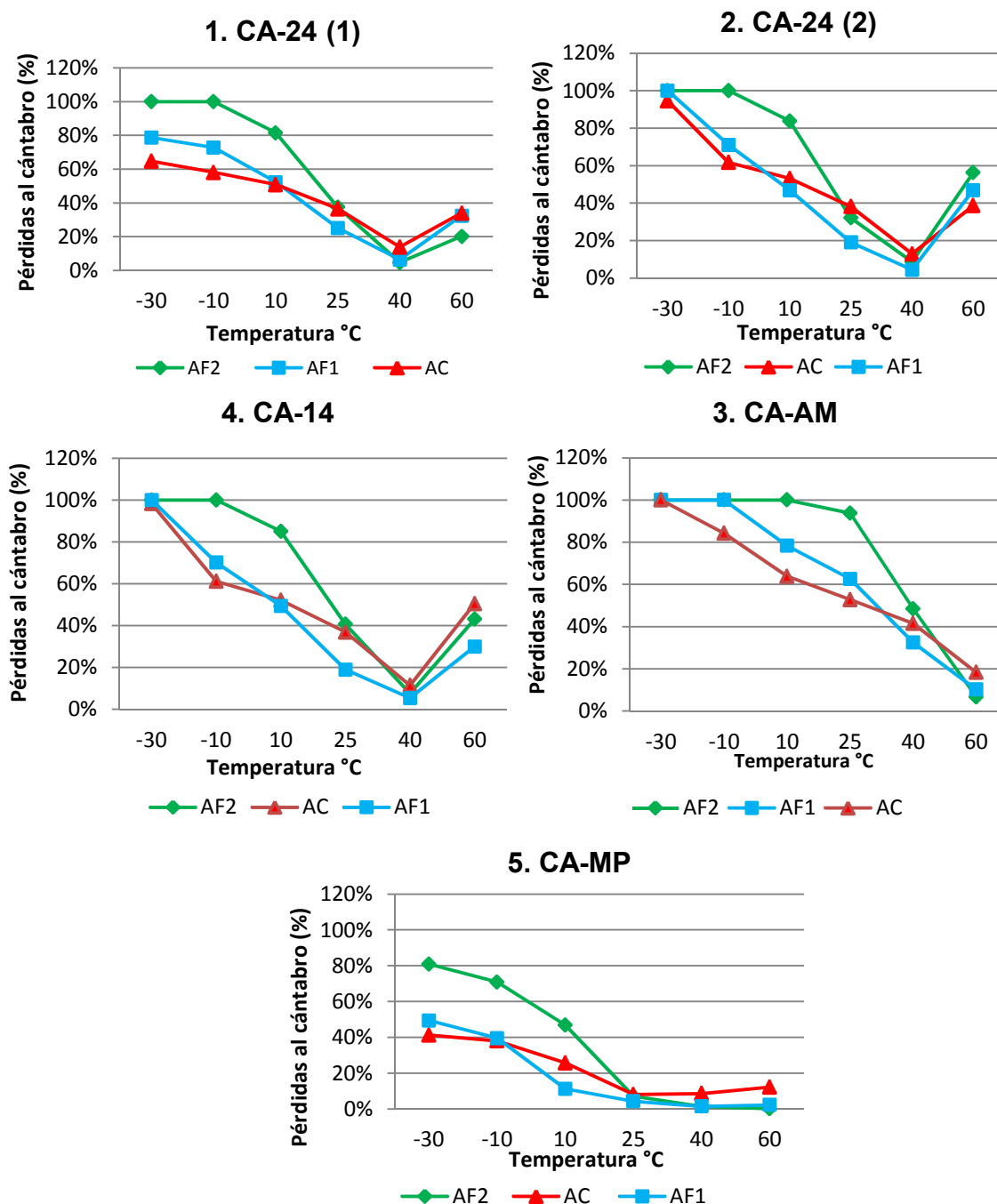


Figura 5: Curvas de estado de los cementos asfálticos evaluados c/r al árido evaluado  
1. CA-24 (1), 2. CA-24(2), 3. CA-14, 4. CA-AM y 5. CA-MP

## CONCLUSIONES

El método UCL<sup>®</sup> ha demostrado ser un procedimiento útil, eficaz, y sencillo para caracterizar los cementos asfálticos en la cohesión de la matriz árido-ligante. Describe correctamente el comportamiento de cada uno de los cinco ligantes utilizados en el estudio, con respecto al árido

empleado. Además cada curva de estado permite la obtención de información relevante que no se obtiene con los métodos tradicionales de caracterización de ligantes, como antecedentes respecto cuando las uniones de la matriz árido ligante presentan una ruptura frágil, tenaz o inconsistente. Respecto a los ligantes utilizados, el menos susceptible térmicamente, evidenciado tanto por la menor pendiente en sus curvas de estado como por sus bajas pérdidas al desgaste, es el ligante modificado con polímeros CA-MP, que independiente del árido utilizado fue el más cohesivo. Del ligante CA-AM, se puede concluir que presenta la peor respuesta de los cinco estudiados a temperaturas intermedias y bajas, producto del comportamiento frágil de éste. En cuanto a los ligantes convencionales, se concluye que no existen diferencias significativas en el comportamiento de CA-24(2) y CA-14 (ambos de origen nacional), observándose una superposición de sus curvas de estado a lo largo del rango de temperaturas entre los -30 y 40°C. Respecto al ligante CA-24(1), de mayor viscosidad, su comportamiento es mejor a bajas temperatura en relación a las obtenidas por los otros ligantes convencionales. Con respecto a los áridos seleccionados para éste estudio, se demuestra que los que presentan un mayor grado de cohesión en mezclas asfálticas y una menor susceptibilidad a la temperatura, sin importar el tipo de ligante, corresponden al AC y AF1, teniendo AF2 el peor comportamiento de los áridos en estudio. Los resultados obtenidos en el análisis de forma de los áridos, parecen ser promisorios para la evaluación de las partículas en la propiedad de cohesión que el ligante puede proporcionarles en una matriz de mezcla asfáltica. Según el análisis de forma el árido, con menor valor de IP, registró a temperaturas intermedias y bajas, el menor grado de cohesión. Además se comprueba en este estudio la importancia de la forma de las partículas del árido en el comportamiento de la mezcla. Así, áridos de la misma procedencia, como AF1 y AF2, con características mineralógicas similares, y proceso de trituración distinto, presentan un comportamiento significativamente distinto, teniendo una mayor incidencia la forma de los áridos evaluados que el origen de éstos. Como línea de investigación futura se plantea continuar con el análisis de correlación de los resultados presentados con la metodología UCL<sup>®</sup> con nuevos ensayos que permitan evaluar la energía disipada como parámetro de adhesión.

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen al proyecto DI12-0035, financiado por la Universidad de La Frontera, Chile.

## **REFERENCIAS**

- Apeageyi, A. (2011). Laboratory Evaluation of Antioxidants for Asphalt Binders. *Construction and Building Materials*, 43-51.
- Chen, J., Chan, M., & Lin, K. (2005). Influence of Coarse Aggregate Shape on The Strength of Asphalt Concrete Mixtures. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 1062-1075.
- De Solminihaç, H. (2001). *Gestión de Infraestructura Vial*. Santiago: Universidad Católica de Chile.
- Huang, Y. (1993). *Pavement Analysis and Design*. New Jersey: Prentice Hall.
- Ibarrola, H. (2008). La Importancia de la Infraestructura Carretera en el Desarrollo Económico de un País. *Rutas*, 2-3.

- Idiem. (2010). *Informe de ensayos de mecánica de rocas: rocas cantera Codihue-Metrenco*. Santiago.
- Keane, T. (1996). The Economic Importance of The National Highway Sistem. *Public Road*.
- Lesueur, D. (2009). The Colloidal Structure of Bitumen: Consequences on the Rheology and on The Mechanisms of Bitumen Modification. *Advances in Colloid and Interface Science*, 42-82.
- Ministerio de Obras Publicas de Chile, M. (2013, abril 29). *Red vial nacional: Dimensionamiento y características 2011*. Retrieved from [http://www.vialidad.gov.cl/areasdevialidad/gestionvial/Documents/Estadisticas\\_Viales\\_2011.pdf](http://www.vialidad.gov.cl/areasdevialidad/gestionvial/Documents/Estadisticas_Viales_2011.pdf)
- Moreno, H., & Varela, J. (1985). Geología, volcanismo y sedimentos piroclásticos cuaternarios de la Región Central y Sur de Chile. In J. Tosso, *Suelos volcánicos de Chile* (pp. 491-526). Santiago: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Pérez, F., & Bardesi, A. (2006). *Manual para la Caracterización de Ligantes y Másticos Bituminosos*. Madrid: Repsol YPF.
- Pérez, F., Miró, R., & Martínez, A. (2006). *Proyecto y Conservación de Carreteras*. Barcelona: Asociación Española de la Carretera.
- Tamames, R. (2003). Una Visión Global desde La Economía Ecológica: Desarrollo Sostenido y Desarrollo Sostenible, La Nueva Cultura de Las Carreteras. *Asociación Española de la Carretera*, 13-33.