

A pesar de que no se tienen grandes diferencias en los resultados, se observa claramente que las mezclas recicladas fabricadas con el 100% de la energía de compactación estipulada en la norma *NLT-173* presentan en todos los casos una mayor vida a fatiga que las mezclas fabricadas con un porcentaje menor de energía de compactación.

En el caso de las mezclas tipo G-20 las probetas fabricadas con un 25% de energía de compactación presentan una vida a fatiga mayor que aquellas fabricadas con el 50%, pero se debe a que estas dos mezclas no presentaban prácticamente diferencias entre sí y era de esperarse que los resultados posteriores fueran muy similares, de cualquier forma, lo importante es que se puede observar que la vida a fatiga de las mezclas recicladas se ve reducida si no se logra compactar adecuadamente las mezclas.

Contrariamente a lo esperado, en las gráficas presentadas anteriormente se observa que las mezclas tipo G-20 han obtenido una mayor vida a fatiga que las mezclas tipo S-20, de lo cual se concluye que el módulo dinámico de las mezclas ha sido el factor que ha tenido más influencia sobre el comportamiento de la vida a fatiga.

Esta claro que los módulos han afectado de gran manera los resultados de la vida a fatiga de las diferentes mezclas, por lo cual sería interesante utilizar el módulo de las mezclas después de haber soportado un mayor número de ciclos, ya que las mezclas tipo G-20 han dado unos módulos muy elevados en el ciclo 200.

Por otra parte, se observa en todos los casos estudiados, que las secciones de firme diseñadas para categorías de tráfico T0 soportan un mayor número de ciclos de carga que las diseñadas para un tráfico T3, esto es lógico ya que los espesores de las capas son superiores.

Por último se observa que las secciones formadas por capas de mezcla bituminosa apoyada directamente sobre una explanada E3 han soportado un mayor número de ciclos que aquellas formadas por la misma capa de mezcla bituminosa apoyada sobre una capa de zahorra artificial sobre una explanada de tipo E2.

## **4.7. Estudio de la influencia del contenido de MBR en la calidad y envejecimiento del mástico de las mezclas bituminosas recicladas en caliente mediante el método UCL<sup>®</sup>**

### **4.7.1. Planteamiento**

Hasta el momento se han realizado una serie de estudios para analizar las características mecánicas de las mezclas recicladas en caliente y se ha podido observar la influencia que tiene la incorporación de diferentes porcentajes de MBR sobre su comportamiento.

Sin embargo, no se cuenta con información específica sobre la variación de las características del mástico de las mezclas bituminosas recicladas en caliente y el efecto que puede tener la incorporación de material fresado de pavimentos asfálticos en su composición.

El mástico es una parte muy importante para el buen comportamiento de las mezclas bituminosas ya que es el encargado de proporcionar una de las propiedades fundamentales para su adecuado funcionamiento, la cohesión.

Por todo lo anterior, se decidió realizar en el Laboratorio de Caminos de la UPC, un completo estudio sobre la influencia que tiene el MBR en el comportamiento del mástico de las mezclas recicladas en caliente y en particular de su poder aglomerante.

Para el análisis del comportamiento del mástico se utilizará el método UCL<sup>®</sup> (método Universal de Caracterización de Ligantes) desarrollado en esta Universidad y que ha demostrado en diferentes estudios que puede dar una información muy interesante y clara sobre la calidad de diferentes clases de ligantes variando las temperaturas de ensayo o utilizando diferentes tiempos de envejecimiento de las probetas utilizadas.

### 4.7.2. Materiales empleados

Nuevamente se intentará dar continuidad a los trabajos realizados con anterioridad, por lo tanto, se intentará utilizar materiales de la misma procedencia que los empleados hasta el momento.

#### Material fresado de pavimentos (MBR)

El presente trabajo pretende hacer un análisis del comportamiento del mástico de diferentes mezclas bituminosas recicladas en caliente, por lo cual, será necesario partir el MBR que nos ha suministrado la planta industrial, después del proceso de homogeneización, en dos fracciones separadas por el tamiz 0.63 mm., ya que solamente utilizaremos la parte del material fresado que pasa por dicho tamiz.

Una vez que hemos separado la parte del MBR que pasa por el tamiz 0.63 mm. se procederá a realizar una caracterización detallada de dicho material, mediante la extracción del ligante contenido en él y obteniendo la distribución granulométrica del árido que contiene y su contenido de betún, estos datos serán necesarios para el diseño de las mezclas que fabricaremos para ensayar al Cántabro.

Se realizaron cinco extracciones de ligante para caracterizar el MBR que utilizaremos, en la tabla 4.7.1 se muestran los valores medios que se obtuvieron y que se utilizarán para diseñar las diferentes composiciones que serán estudiadas.

**Tabla 4.7.1** Resultados medios después de las extracciones de ligante y del cálculo granulométrico del MBR que pasa por el tamiz 0.63 mm.

Material	Porcentaje contenido
Árido 0.63/0.008	67%
Filler	25%
Betún	8%

### Áridos de aportación

De acuerdo con lo especificado en la normativa del método UCL<sup>®</sup>, los áridos de aportación deben ser graníticos, sanos y limpios, con un desgaste de Los Ángeles inferior al 25 y una absorción inferior al 1.5%, para este trabajo, los áridos de aportación proceden de la cantera Berta en las cercanías de Rubí y serán empleados en dos fracciones diferentes 2.5/5 y 0.63/0.08.

El filler de aportación utilizado será el que se emplea comúnmente para fabricar mezclas convencionales en el Laboratorio de Caminos de la UPC, es de origen calizo y proviene de la cantera Foj.

### Ligantes de aportación

En esta parte del trabajo se emplearán tres diferentes tipos de ligantes de aportación de diferentes penetraciones, en la tabla 4.7.2 se describen las principales características de cada uno de ellos.

**Tabla 4.7.2** Características de los ligantes bituminosos utilizados

Características	Unidad	Norma NLT	Tipo de ligante		
			B-60/70	B-150/200	B-180/220
Penetración a 25°C, 100g	0.1mm	124/84	65	165	190
Índice de penetración		181/88	-0.7	0.9	0.6
Punto de reblandecimiento A y B	°C	125/84	49.5	44.5	42
Punto de Fragilidad Fraass	°C	182/84	-8	-14	-17
Densidad	gr/cm <sup>3</sup>	122/91	1.000	1.024	1.000

#### **4.7.3. Granulometría empleada**

Para la realización de este trabajo se ha utilizado una granulometría diferente a la que está definida en las normas del método UCL<sup>®</sup> convencional, debido a que en principio, este ensayo se pensó para analizar el comportamiento de diferentes ligantes y no cuenta

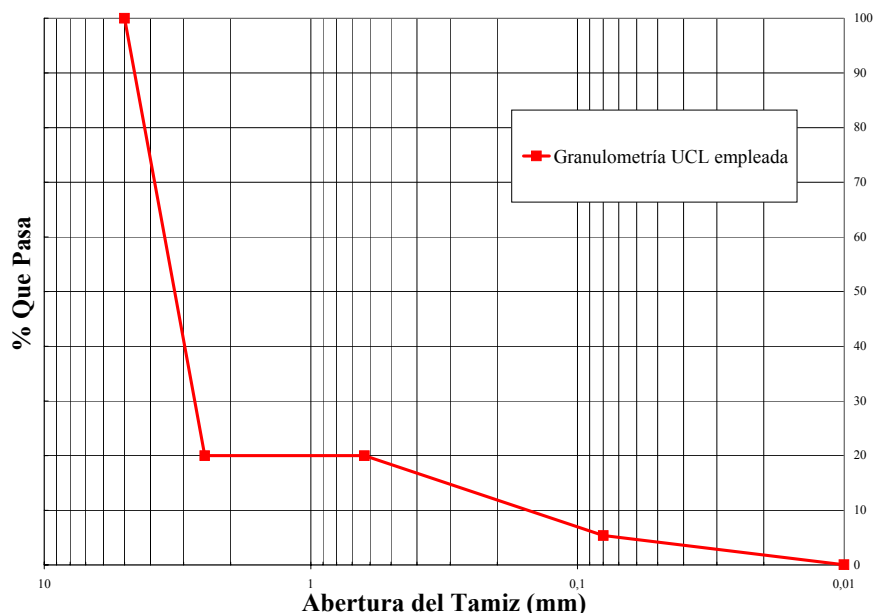
con áridos que pasen del tamiz UNE 0.63 mm, pero en nuestro caso queremos estudiar el comportamiento del mástico de las mezclas bituminosas recicladas en caliente y necesitaremos incluir partículas finas y filler que nos permita observar la variación de la capacidad aglomerante de los diferentes másticos.

Para todos los casos se utilizará la misma granulometría que será discontinua con un 20% de árido comprendido por las fracciones que pasan por el tamiz 0.63 mm., y un 80% de árido con tamaños comprendidos entre los tamices 2.5 mm. y 5 mm.

En la tabla 4.7.3 se observa la distribución granulométrica que presentan los áridos utilizados para fabricar las diferentes probetas Marshall que serán ensayadas al Cántabro, y en la figura 4.7.1 se observa la curva granulometría que forman.

**Tabla 4.7.3** Granulometría de los áridos para formar las probetas Marshall para el método UCL®

Tamices UNE (mm)	5	2.5	0.63	0.08
Porcentaje de pasa (% en masa)	100	20	20	5.4



**Fig. 4.7.1** Curva granulométrica de los áridos que formarán las probetas Marshall para el método UCL®

#### 4.7.4. Parte experimental

Con este trabajo se pretende analizar la influencia del contenido de MBR en la calidad y comportamiento del mástico de las mezclas bituminosas recicladas en caliente.

Debido a los buenos resultados que ha generado y a la sencillez para llevarlo a cabo, se ha decidido aplicar el método UCL<sup>®</sup> para valorar la cohesión que el mástico de las diferentes composiciones estudiadas proporciona a la mezcla, así como su variación por efecto de temperatura y de envejecimiento.

En el método UCL<sup>®</sup> se valora la cohesión a partir de la resistencia a la abrasión de una mezcla de referencia, mediante el ensayo Cántabro, variando la temperatura de ensayo de las probetas o el tiempo de envejecimiento, para obtener de forma continua la variación de la cohesión en las llamadas “*curvas de estado*”.

El ensayo Cántabro de pérdida por desgaste consiste en introducir, en el molino utilizado para el ensayo de Los Ángeles, una probeta Marshall fabricada de acuerdo con la norma *NLT-159/86* y someterla al ensayo de desgaste sin colocar dentro del molino ninguna carga abrasiva.

Durante el ensayo se van desprendiendo por impacto y abrasión los áridos más superficiales de la probeta, determinándose, tras cumplirse 300 revoluciones, la pérdida de peso de la probeta referida, en tanto por ciento del peso inicial, de acuerdo con la fórmula 4.7.1.

$$P_c = [(P_i - P_f) / P_i] \times 100 \quad \text{Fórmula (4.7.1)}$$

dónde  $P_c$  = Pérdidas al Cántabro (%),  $P_i$  = Peso inicial (gr.)  $P_f$  = Peso final (gr.).

Las vueltas en la máquina de Los Ángeles dan lugar a un proceso de deterioro en las probetas, de la misma forma en que las cargas del tráfico lo hacen en los firmes, en la figura 4.7.2 se observa el molino del ensayo de Los Ángeles y diferentes probetas ensayadas de acuerdo con el método UCL<sup>®</sup>.



**Fig. 4.7.2** Máquina para el ensayo de Los Ángeles y probetas ensayadas mediante el método UCL<sup>®</sup>

Una parte de la energía que se genera en cada impacto es absorbida por la deformación elástica del material, otra parte se elimina con las deformaciones plásticas y el resto que no pueden eliminar las probetas es la que causa la fisuración, rotura o disgregación.

El ensayo Cántabro nos da una idea clara sobre la capacidad del mástico para dar cohesión a la mezcla dado que, si las uniones son dúctiles y tenaces, las pérdidas por desgaste y abrasión en las probetas son bajas, y cuando resultan frágiles o poco consistentes, las pérdidas se incrementan.

En este trabajo analizaremos dos factores que influyen directamente en el comportamiento del mástico de las mezclas bituminosas recicladas en caliente, la temperatura y el envejecimiento, para esto ensayaremos mediante el método UCL<sup>®</sup> un total de 12 series de probetas con las características que se muestran en la tabla 4.7.4.

**Tabla 4.7.4** Series de probetas fabricadas para el estudio del mástico mediante el método UCL<sup>®</sup>

Serie	Composición granulométrica			Betún de aportación	Betún total (%)	Factor a estudiar	Probetas
	(%) áridos del MBR 0/0.63	(%) áridos de aportación					
		0/0.63	2.5/5				
1	20%	---	80%	B-150/200	4.5%	Susceptibilidad Térmica	18
2	12%	8%	80%	B-150/200			18
3	6%	14%	80%	B-150/200			18
4	---	20%	80%	B-60/70			18
5	20%	---	80%	B-150/200	3.5%	Susceptibilidad Térmica	18
6	12%	8%	80%	B-150/200			18
7	6%	14%	80%	B-150/200			18
8	---	20%	80%	B-60/70			18
9	---	20%	80%	B-60/70	3.5%	Resistencia al Envejecimiento	12
10	12%	8%	80%	B-60/70+Catorex			12
11	12%	8%	80%	B-150/200			12
12	12%	8%	80%	B-180/220			12
<b>Total</b>							<b>192</b>

#### 4.7.4.1 Dosificación de las mezclas estudiadas

Para la realización del estudio del mástico mediante el método UCL<sup>®</sup> será necesario dosificar las mezclas con los diferentes contenidos que se pretenden estudiar de MBR en el mástico, es muy importante aclarar que solamente se usará MBR en la parte fina de la mezcla, o lo que es lo mismo, en el 20% de áridos que pasan por el tamiz UNE 0.63 mm, por lo tanto, en todas las mezclas que se fabricarán, el 80% del árido restante de la fracción 2.5/5 mm será árido de aportación.

En primer lugar será necesario dosificar las primeras cuatro series que se fabricarán con un 4.5% de betún total, una relación filler/betún de 1.2 y unos contenidos de MBR en el mástico del 0%, 30%, 60% y 100%, estas probetas serán ensayadas a diferentes temperaturas (-20, -5, 10, 25, 40 y 60°C) para observar el efecto que tiene esta en su comportamiento.

En la tabla 4.7.5 se muestran los diferentes porcentajes de árido de aportación, de áridos aportados por el MBR, de betún del fresado y de ligante de aportación necesarios para fabricar cada serie.



**Tabla 4.7.5** Dosificación de las series de probetas fabricadas para el estudio del mástico mediante el método UCL<sup>®</sup> a diferentes temperaturas y con un 4.5% de betún total

		Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4
Árido aportado por el MBR que pasa el tamiz 0.63 mm (%)		100%	60%	30%	0%
Áridos de aportación	2.5/5	80%	80%	80%	80%
	0.08/0.63	---	5.8%	10.2%	14.6%
	Filler	---	2.2%	3.8%	5.4%
Áridos aportados por el MBR	2.5/5	---	---	---	---
	0.08/0.63	14.6%	8.8%	4.4%	---
	Filler	5.4%	3.2%	1.6%	---
Betún de aportación B-150/200		2.8%	3.5%	4%	---
Betún de aportación B-60/70		---	---	---	4.5%
Betún aportado por el MBR (%)		1.7%	1%	0.5%	---
Betún total sobre árido (%)		4.5%	4.5	4.5	4.5%
Relación filler/betún		1.2	1.2	1.2	1.2

En segundo lugar se dosificarán las mezclas de las series que se fabricarán con un 3.5% de betún total, una relación filler/betún de 1.5 y los mismos porcentajes de MBR en mástico que en las series anteriores.

Estas series serán ensayadas también a diferentes temperaturas, en la tabla 4.7.6 se muestran los porcentajes de cada material que formarán parte de las diferentes series.

**Tabla 4.7.6** Dosificación de las series de probetas fabricadas para el estudio del mástico mediante el método UCL<sup>®</sup> a diferentes temperaturas y con un 3.5% de betún total

		Serie 5	Serie 6	Serie 7	Serie 8
Árido aportado por el MBR que pasa el tamiz 0.63 mm (%)		100%	60%	30%	0%
Áridos de aportación	2.5/5	80%	80%	80%	80%
	0.08/0.63	---	5.8%	10.2%	14.6%
	Filler	---	2.2%	3.8%	5.4%
Áridos aportados por el MBR	2.5/5	---	---	---	---
	0.08/0.63	14.6%	8.8%	4.4%	---
	Filler	5.4%	3.2%	1.6%	---
Betún de aportación B-150/200		1.8%	2.5%	3%	---
Betún de aportación B-60/70		---	---	---	3.5%
Betún aportado por el MBR (%)		1.7%	1%	0.5%	---
Betún total sobre árido (%)		3.5%	3.5	3.5	3.5%
Relación filler/betún		1.5	1.5	1.5	1.5

Por último tendremos que dosificar las mezclas que ensayaremos a una misma temperatura de 25°C pero con diferentes días de envejecimiento en horno a 80°C. Estas probetas serán fabricadas con un 60% de MBR en el mástico, a excepción de la serie de referencia que se fabrica en su totalidad con árido virgen.

Se utilizarán tres diferentes ligantes de aportación para observar como ayudan al mástico de las mezclas recicladas a soportar el envejecimiento.

Uno de los ligantes de aportación será una combinación de betún B-60/70 con un 17.5% de un producto llamado Catorex que proviene del reciclado de aceites y que será utilizado para aumentar la penetración del betún hasta 170 dmm aproximadamente y se medirá el efecto rejuvenecedor que pueda presentar en las mezclas recicladas.

En la tabla 4.7.7 se observan los porcentajes utilizados de cada material para formar las diferentes series estudiadas.

**Tabla 4.7.7** Dosificación de las series de probetas fabricadas para el estudio del mástico mediante el método UCL<sup>®</sup> con diferentes tiempos de envejecimiento y con un 3.5% de betún total

		Serie 9	Serie 10	Serie 11	Serie 12
<b>Árido que pasa el tamiz 0.63 mm aportado por el MBR (%)</b>		0	60%	60%	60%
<b>Áridos de aportación</b>	<b>2.5/5</b>	80%	80%	80%	80%
	<b>0.08/0.63</b>	14.6%	5.8%	5.8%	5.8%
	<b>Filler</b>	5.4%	2.2%	2.2%	2.2%
<b>Áridos aportados por el MBR</b>	<b>2.5/5</b>	---	---	---	---
	<b>0.08/0.63</b>	---	8.8%	8.8%	8.8%
	<b>Filler</b>	---	3.2%	3.2%	3.2%
<b>Tipo de Betún de aportación</b>		B-60/70	B-60/70+Catorex	B-150/200	B-180/220
<b>Betún de aportación (%)</b>		3.5%	2.5%	2.5%	2.5%
<b>Betún aportado por el MBR (%)</b>		---	1%	1%	1%
<b>Betún total sobre árido (%)</b>		3.5%	3.5%	3.5%	3.5%
<b>Relación filler/betún</b>		1.5	1.5	1.5	1.5

#### 4.7.4.2 Resultados de los ensayos con el método UCL<sup>®</sup> utilizando diferentes temperaturas de ensayo

Una vez que se han dosificado las diferentes series se procederá a obtener la densidad y el contenido de huecos de cada una de las series fabricadas, para posteriormente ensayarlas al Cántabro mediante el método UCL<sup>®</sup>.

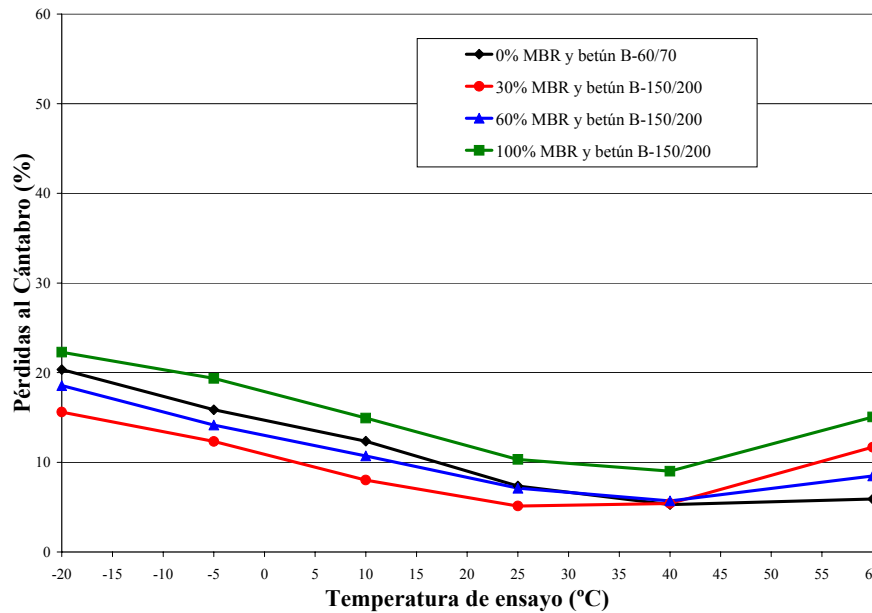
En primer lugar se ensayarán las series fabricadas con un 4.5% de betún total y fabricadas con diferentes porcentajes de pasa 0.63 mm procedente de fresado, en este caso se intenta observar la influencia que tiene la temperatura en el comportamiento de los diferentes másticos estudiados por lo tanto se ensayarán probetas a -20, -5, 10, 25, 40 y 60°C para observar las *curvas de estado* que presenta cada serie.

En la tabla 4.7.8 se presentan los valores medios más importantes obtenidos para las diferentes series fabricadas con un 4.5% de betún total.

**Tabla 4.7.8** Resultados medios de las series de probetas fabricadas con un 4.5% de betún total y ensayadas mediante el método UCL<sup>®</sup> a diferentes temperaturas

Serie	MBR en mástico (%)	Betún de aportación	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Huecos (%)	Porcentaje de pérdidas al Cántabro a diferentes temperaturas					
					-20°C	-5°C	10°C	25°C	40°C	60°C
1	100%	B-150/200	2.070	17.7	22.3%	19.4%	14.9%	10.3%	9.0%	15.1%
2	60%	B-150/200	2.092	16.8	18.6%	14.2%	10.7%	7.1%	5.7%	8.5%
3	30%	B-150/200	2.091	16.8	15.6%	12.3%	8.0%	5.1%	5.4%	11.7%
4	0%	B-60/70	2.064	17.9	20.3%	15.9%	12.4%	7.4%	5.3%	5.9%

Una vez que se han calculado los valores medios de las pérdidas al Cántabro de las series ensayadas a diferentes temperaturas, se elaboró la figura 4.7.3 en la que se muestran las *curvas de estado* obtenidas para las diferentes series fabricadas con un 4.5% de betún total.



**Fig. 4.7.3** Curvas de estado para las probetas fabricadas con un 4.5% de betún total y ensayadas al Cántabro mediante el método UCL<sup>®</sup> a diferentes temperaturas

Se puede observar que para todas las temperaturas ensayadas, las probetas que fueron fabricadas con un 100% de MBR presentan las pérdidas más elevadas, lo cual nos indica que es más frágil y que cuenta con una menor cohesión que el resto.

Por otra parte, las probetas que tienen el 30 y 60% de MBR en el mástico, presentan pérdidas menores que las de referencia hasta una temperatura de ensayo de 40°C aproximadamente, esto nos indica que el betún de aportación ha logrado restablecer parte de la capacidad aglomerante del mástico del fresado, sin embargo, para una temperatura de 60°C, las pérdidas son menores en la mezcla de referencia debido a que el betún B-60/70 utilizado en estas probetas tiene una menor susceptibilidad térmica que el betún B-150/200 empleado en las mezclas recicladas.

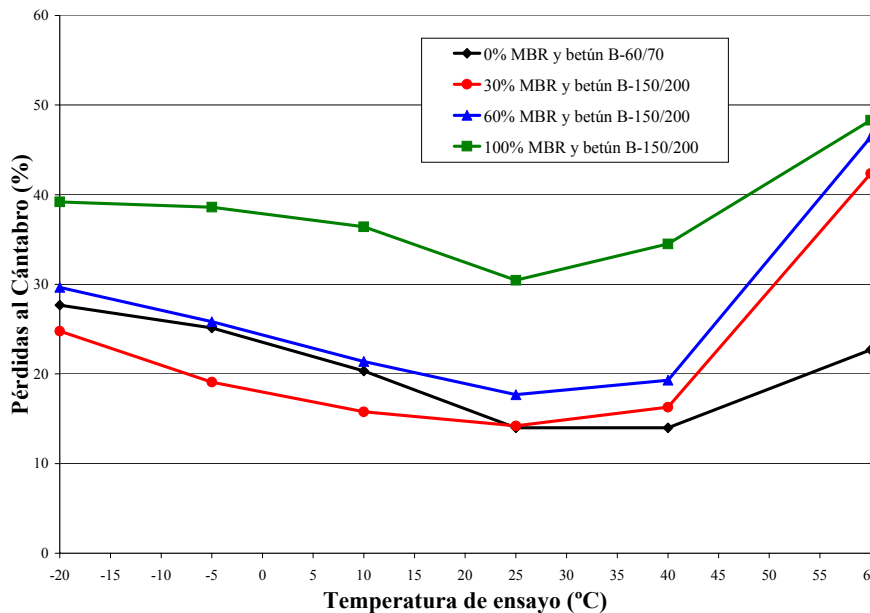
Es importante notar que, a pesar de que se observan variaciones entre las diferentes series ensayadas, no son muy significativas, esto puede deberse a que los porcentajes de betún de aportación son elevadas con respecto al betún total, por lo cual, será importante observar el comportamiento de las series fabricadas con un menor porcentaje de betún de aportación.

En la tabla 4.7.9 se pueden observar los valores medios más importantes obtenidos para las distintas series fabricadas con un porcentaje del 3.5% de betún total y que fueron ensayadas nuevamente a diferentes temperaturas.

**Tabla 4.7.9** Resultados medios de las series de probetas fabricadas con un 3.5% de betún total y ensayadas mediante el método UCL® a diferentes temperaturas

Serie	MBR en mástico (%)	Betún de aportación	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Huecos (%)	Porcentaje de pérdidas al Cántabro a diferentes temperaturas					
					-20°C	-5°C	10°C	25°C	40°C	60°C
5	100%	B-150/200	2.030	20.3	39.2%	38.6%	36.4%	30.5%	34.5%	48.3%
6	60%	B-150/200	2.050	19.5	29.7%	25.8%	21.4%	17.7%	19.3%	46.4%
7	30%	B-150/200	2.060	19.1	24.8%	19.1%	15.8%	14.2%	16.3%	42.4%
8	0%	B-60/70	2.052	19.4	27.7%	25.1%	20.3%	14.0%	14.0%	22.8%

Nuevamente se presentan en la figura 4.7.4 las curvas de estado de las diferentes series fabricadas con un 3.5% de betún total para poder observar más claramente el comportamiento de los diferentes másticos.



**Fig. 4.7.4** Curvas de estado para las probetas fabricadas con un 3.5% de betún total y ensayadas al Cántabro mediante el método UCL® a diferentes temperaturas

En esta ocasión se observa claramente que las probetas fabricadas con mástico con el 100% de MBR presentan unas pérdidas al Cántabro mucho más elevadas para todo el rango de temperaturas ensayado, lo cual nos habla de la alta fragilidad y baja cohesión que presenta esta serie.

También se observa de una forma muy clara la forma en que el betún de aportación ayuda al mástico a recuperar ese poder aglomerante perdido por el material fresado, ya que para los porcentajes de MBR del 30 y 60% las pérdidas para temperaturas de ensayo inferiores a los 40°C son muy parecidas a las presentadas por la mezcla de referencia, siendo en algunos casos incluso menores.

Sin embargo, nuevamente se presentan pérdidas muy elevadas con una temperatura de ensayo de 60°C para todas las mezclas fabricadas con MBR, esto se debe principalmente a la susceptibilidad térmica del betún de aportación B-150/200 que pierde consistencia a altas temperaturas.

#### 4.7.4.3 Resultados de los ensayos con el método UCL<sup>®</sup> utilizando diferentes tiempos de envejecimiento

Por último, se ensayarán las series de probetas fabricadas con un 60% de pasa 0.63 mm procedente del fresado de capas bituminosas y un 3.5% de betún total, mismas a las que se han añadido tres diferentes ligantes de aportación, betún B-150/200, betún B-180/220 y una combinación de un betún B-60/70 con un 17.5% de Catorex, de la misma manera se ha fabricado una mezcla de referencia con árido virgen y un betún B-60/70.

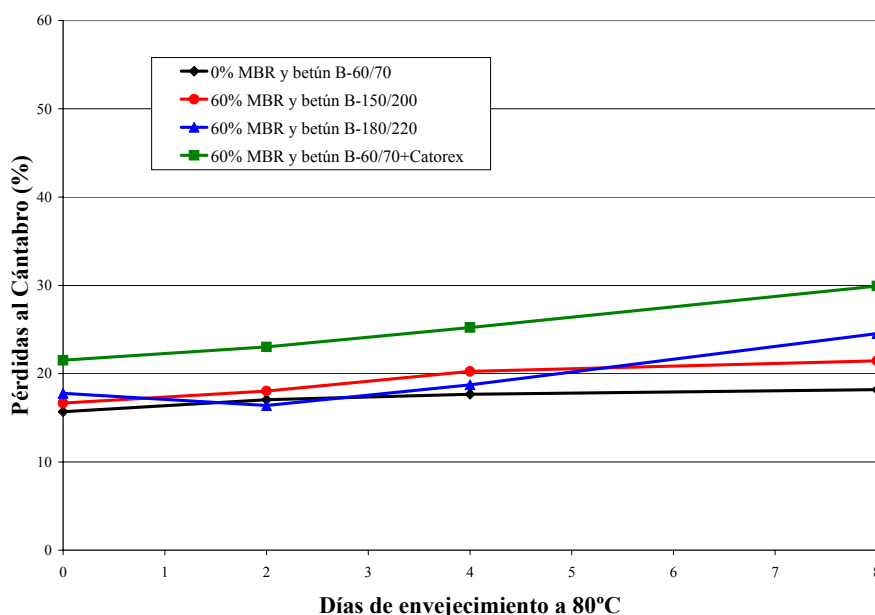
En este caso se intenta observar la influencia que tiene el envejecimiento en el comportamiento de los diferentes másticos estudiados, para lo cual, se han sometido las probetas a periodos de 0, 2, 4 y 8 días de envejecimiento en horno de aire forzado a una temperatura de 80°C para simular el efecto del envejecimiento a largo plazo de las mezclas bituminosas en servicio.

Una vez sometidas al proceso de envejecimiento, se ensayarán todas las probetas a una temperatura de 25°C para observar las *curvas de estado* que presenta cada serie, en la tabla 4.7.10 se observan los valores medios más importantes obtenidos por las distintas series de probetas sometidas a envejecimiento y ensayadas mediante el método UCL®.

**Tabla 4.7.10** Resultados medios de las series de probetas fabricadas con un 3.5% de betún total y ensayadas mediante el método UCL® con diferentes tiempos de envejecimiento

Serie	MBR en mástico (%)	Betún de aportación	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Huecos (%)	Porcentaje de pérdidas al Cántabro a diferentes días de envejecimiento			
					0	2	4	8
9	0%	B-60/70	2.049	19.5	15.7%	17.0%	17.7%	18.2%
10	60%	B-60/70+Catorex	2.030	20.3	21.5%	23.0%	25.2%	29.9%
11	60%	B-150/200	2.050	19.5	16.7%	18.0%	20.3%	21.5%
12	60%	B-60/70	2.042	19.8	17.8%	16.4%	18.7%	24.5%

A continuación se presenta la figura 4.7.5 en la que se observan las curvas de estado obtenidas para cada una de las series fabricadas con un 3.5% de betún total y sometidas a envejecimiento.



**Fig. 4.7.5** Curvas de estado para las probetas fabricadas con un 3.5% de betún total y ensayadas al Cántabro mediante el método UCL® con diferentes tiempos de envejecimiento

En la figura anterior se observa que el envejecimiento ha afectado el comportamiento de todas las mezclas estudiadas, sin embargo, se puede destacar, que las probetas fabricadas con un betún B-60/70 mezclado con Catorex han presentado pérdidas muy superiores para todo el rango de tiempos de envejecimiento que el resto de las series estudiadas, y además presenta una pendiente en la curva de estado elevada, lo que significa que es más susceptible al envejecimiento, esto nos indica que es importante analizar el comportamiento de los productos utilizados como supuestos rejuvenecedores, por que no siempre soportan bien los cambios de temperatura y el tiempo en servicio de las mezclas bituminosas.

También se aprecia la similitud en el comportamiento de la mezcla de referencia con la mezcla fabricada con un betún de aportación B-150/200, se observa que son prácticamente iguales tanto en los valores como en la tendencia, lo cual nos indica que se ha logrado recuperar la capacidad para soportar el envejecimiento del mástico del material fresado.

Por último, se puede observar como las probetas fabricadas con un betún de aportación B-180/220 soportan muy bien los primeros días de envejecimiento sin embargo, a largo plazo se incrementan mucho las pérdidas al Cántabro y presenta un final de curva con la mayor pendiente de todas las series estudiadas, lo cual indica que es muy susceptible al envejecimiento.