

**ENERGÍAS DE
COMPACTACIÓN DE
LAS MEZCLAS
SEMICALIENTES**

SANTIAGO GIL REDONDO
DITECPESA

JAVIER LOMA
ASFLATOS Y CONSTRUCCIONES ELSAN

JOSÉ RAMÓN LÓPEZ
PAVASAL

FRANCISCO JOSÉ BARCELÓ
REPSOL

CHRISTIAN CORTÉS
SERVIÁ CANTÓ

ENERGÍAS DE COMPACTACIÓN DE LAS MEZCLAS SEMICALIENTES

RESUMEN

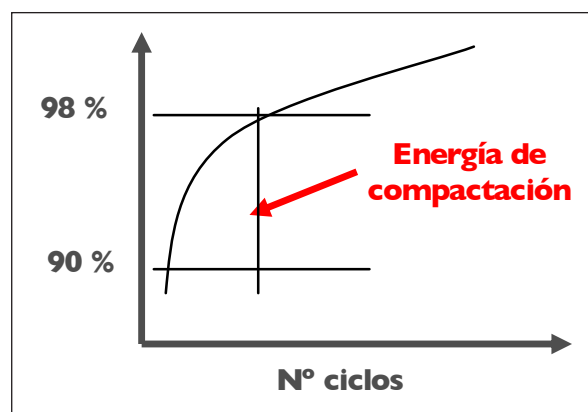
Las Mezclas semicalientes permiten reducir las temperaturas de fabricación y puesta en obra del aglomerado. Dependiendo de la tecnología utilizada estas mezclas pueden ser fabricadas a temperaturas comprendidas entre 135 y 115°C.

Las mezclas semicalientes (WMA) tienen la ventaja de demandar una menor energía de fabricación y compactación respecto a las mezclas convencionales (HMA). En este trabajo, perteneciente a la actividad 7 del proyecto Fenix, se han medido energías de compactación de mezclas semicalientes, comparándolas con las obtenidas para mezclas convencionales.

Para ello se han fabricado probetas compactadas mediante el equipo giratorio, a distintas temperaturas, midiendo la energía de compactación que estas mezclas requerían. Se ha trabajado con cuatro mezclas tipo AC 16S (antigua S-12) empleando en ellas distintos tipos de áridos, pero casi idéntica granulometría, y empleando distintos ligantes semicalientes y convencionales.

El método empleado para calcular la energía de compactación es novedoso y está basado en el método que se utiliza para calcular el coeficiente CEI (Compaction Energy Index). En concreto, en este método empleado, se ha analizado el área bajo la curva de compactación: densidad frente al número de giros, entre las densidades comprendidas al 90% y 98% de la densidad Marshall. Lo que se trata de

evaluar es la energía que estas mezclas requieren para su compactación desde la salida de la extendidora hasta alcanzar la densidad final en obra.



Posteriormente se han realizado los ensayos de tracción indirecta y sensibilidad al agua de estas mezclas fabricadas mediante el equipo giratorio, para tratar de evaluar en que medida se ven afectadas estas propiedades mecánicas por el cambio de ligante (convencional - semicalientes), el cambio de tipo de árido (calizo - pórfido - síliceo) y la reducción de las temperaturas de trabajo (temperaturas de fabricación y compactación).

ANTECEDENTES

El presente trabajo pertenece a una de las líneas de investigación llevadas a cabo en el Proyecto Fénix: la Actividad 7 (Mezclas Semicalientes). En esta ac-

tividad participan las empresas: Ditecpesa, Pavasal, Elsan, Serviá Cantó, CIESM y Repsol; y las universidades: Universidad de Alcalá, Universidad Politécnica de Cataluña, Universidad de Cantabria y Universidad de Huelva.

EQUIPOS EMPLEADOS

Para llevar a cabo el presente estudio se han empleado los siguientes equipos:

Compactador Giratorio

Este equipo (Fig. 1) se utiliza en el laboratorio para el estudio de la compactación de las mezclas bituminosas, ya se trate de una mezcla en caliente, semicaliente ó mezclas en frío. Mediante los correspondientes cálculos volumétricos y de acuerdo con las especificaciones SHRP (AASHTO TP4-93 y AASHTO MP2-95) permite también la dosificación de las mezclas bituminosas.

El compactador tiene capacidad para fabricar de manera automática probetas cilíndricas de 100, 150 y 160 mm de diámetro en función del tamaño máximo del árido mm de diámetro. Consta de un pistón hidráulico, un motor eléctrico giratorio, un sistema de medida continua de la altura de la probeta, un sistema interno de control del equipo y tratamiento de datos, un pistón hidráulico manual para el desmoldeo de las probetas y diversos moldes y accesorios para la realización del ensa-

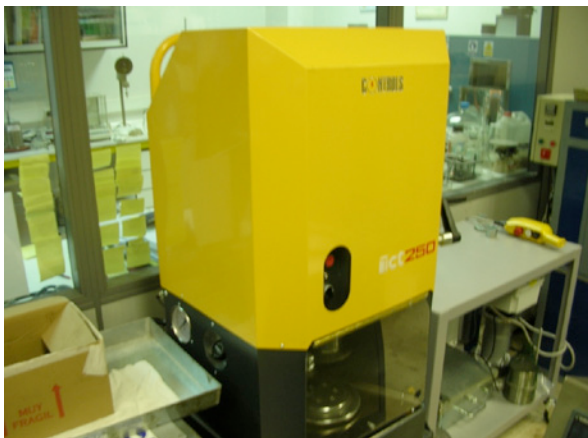


Figura 1. Compactador Giratorio.

yo. Los datos son registrados en un ordenador y pueden ser tratados por programas específicos de diseño SHRP de mezclas (Gyropave).

Los equipos científicos además de mostrar el resultado de la altura ó densidad que se obtiene durante el desarrollo del ensayo, muestran el esfuerzo cortante que se produce en la superficie de la probeta durante el proceso de compactación (Fig. 2).

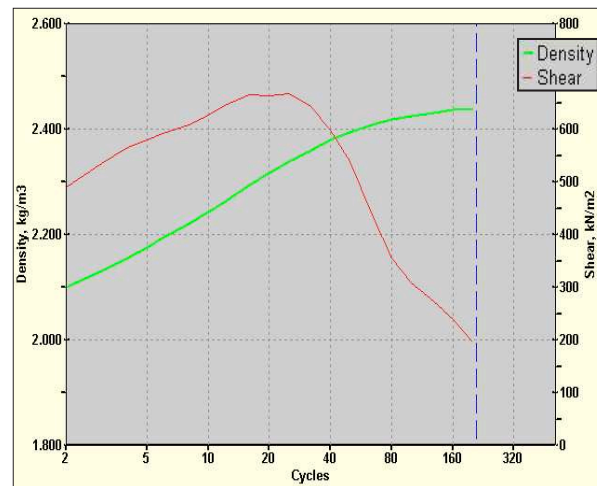


Figura 2. Gráfico del ensayo que representa la densidad y el esfuerzo cortante frente al número de giros.

Equipo tracción indirecta

El ensayo de tracción indirecta, destaca por ser un método simple y representativo, que permite imitar la respuesta de un pavimento flexible y obtener la carga máxima que aguanta una mezcla antes de romper. Consiste en someter a compresión diametral una probeta cilíndrica aplicando una carga de manera uniforme a lo largo de dos líneas o generatrices opuestas hasta alcanzar la rotura (Fig. 3).

Esta configuración de carga provoca un esfuerzo de tracción relativamente uniforme en todo el diámetro del plano de carga vertical, y esta tracción es la que agota la probeta y desencadena la rotura en el plano diametral.

Este ensayo se realiza conforme a la norma UNE-EN 12697-23 "Determinación de la resistencia a tracción indirecta de probetas bituminosas".

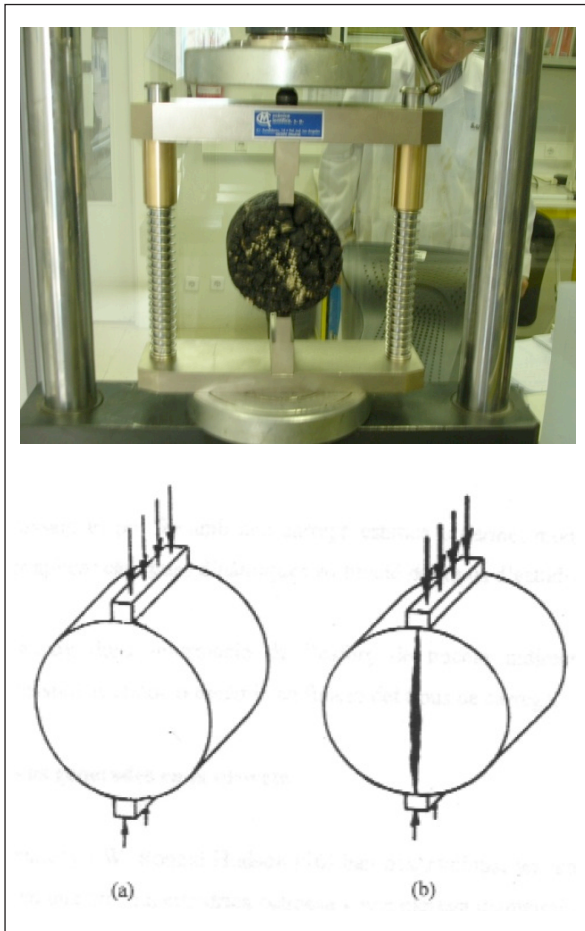


Figura 3. (a) Configuración de la carga y (b) rotura del ensayo de tracción indirecta.

MATERIALES Y FÓRMULA DE TRABAJO

Como se ha mencionado anteriormente se han empleado para el presente estudio tres tipos de áridos y tres ligantes diferentes.

Áridos:

- Árido de naturaleza silícea aportado por Elsan.
- Árido de naturaleza porfídica aportado por Serviá Cantó.
- Árido de naturaleza caliza aportado por Pavasal.

Ligantes:

- Betún B 60/70 (actualmente denominado B 50/70) aportado por Ditecpepa.

- Betún semicaliente 1 (que emplea ceras como tecnología semicaliente) aportado por Ditecpepa. Las ceras reducen la viscosidad del ligante a las temperaturas de fabricación del aglomerado y por lo tanto permite reducir las temperaturas de trabajo ¹.
- Betún semicaliente 2 (que emplea tensoactivos como tecnología semicaliente) aportado por Repsol. Los tensoactivos actúan sobre la tensión superficial árido-betún disminuyendo el ángulo de contacto, por lo que actúan como lubricantes mejorando la trabajabilidad de la mezcla ^{2,3}.

Los estudios mostrados en el presente trabajo se desarrollaron en los siguientes laboratorios:

- LABORATORIO 1: Ditecpepa
- LABORATORIO 2: Pavasal
- LABORATORIO 3: Elsan
- LABORATORIO 4: Repsol

Se ha trabajado con una fórmula de trabajo intermedia a las que emplean los distintos fabricantes que participan en este trabajo (Tabla 1):

TAMIZ U.N.E	HUSO S-12		S-12	S-12	S-12	S-12
	MINIMO	MAXIMO	ELSAN	SERVIA	PAVASAL	PROPUESTA
20	100	100	100	100	100	100
12,5	80	95	88	86,7	85	87
8	60	75	66	69,5	66	67
4	35	50	45	46,6	48	47
2	24	38	30	34,3	31	31
0,5	11	21	13	19	13	14
0,25	7	15	10	11,6	10	10
0,125	5	10	7	8,6	8	8
0,063	3	7	6	6,3	5,7	6
	PROPIEDAD		ELSAN	SERVIA	PAVASAL	PROPUESTA
	%betún s/a		4,9	5	4,8	4,9
	filler/betún		1,22	1,3	1,2	1,2
	densidad probeta		2,37	2,38	2,511	
	densidad áridos		2,665	2,7	2,827	
	densidad betún		1,03	1,03	1,03	
	% huecos mezcla		4,3	4,7	4,1	4,3 aprox
	% huecos áridos		15,3	16,2	15,3	15,3 aprox
	Estabilidad Marshall		14,8	15,3	16,98	
	Deformación Marshall		2,7	2,9	2,3	
	Naturaleza del árido		silícea	porfída	caliza	

Tabla 1. Fórmulas de trabajo de los fabricantes y fórmula de trabajo propuesta para la realización de este estudio.

Se trata de una mezcla S-12, actual AC 16S, con un contenido en ligante del 4,9% sobre árido, y una relación filler/betún del 1,2. En la figura 4 se representan las curvas granulométricas de los fabricantes y la propuesta y empleada en este trabajo.

Se ha trabajado con áridos de distinta naturaleza para poder evaluar el efecto que tienen estos ligantes semicalientes al cambiar de árido. Se conoce que la reología de los másticos dependen tanto de la naturaleza del ligante como la del árido ⁴.

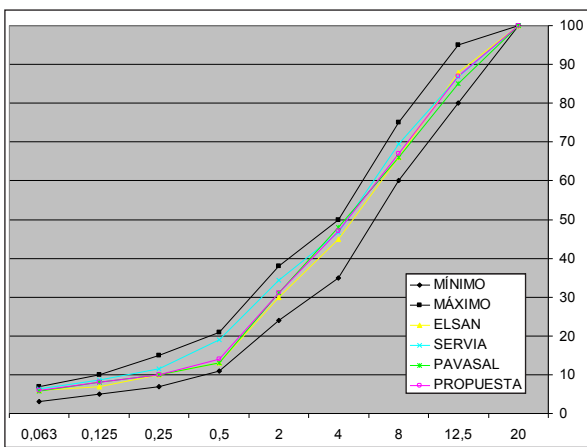


Figura 4. Curvas granulométricas.

DESARROLLO EXPERIMENTAL Y RESULTADOS

Fabricación y compactación

Como se ha comentado anteriormente se emplea el equipo giratorio como sistema de compactación. Se realizan estudios con los distintos ligantes a distintas temperaturas de fabricación y compactación. La temperatura de mezcla es 10°C mayor que la temperatura de compactación (excepto para 115 °C).

A continuación se muestran las temperaturas de fabricación y compactación aplicadas:

Ligante	Proceso	T ^a (°C)	T ^a (°C)	T ^a (°C)	T ^a (°C)	T ^a (°C)	T ^a (°C)
B60/70	Fabricación	165	155	145	135		
	Compactación	155	145	135	125		
B semicaliente	Fabricación		155	145	135	125	115
	Compactación		145	135	125	115	115

Tabla 2. Temperaturas de fabricación y compactación.

Las casillas sombreadas en azul corresponden a temperaturas de las cuales ya teníamos datos de resistencia conservada a tracción indirecta para probetas compactadas con el equipo de impactos (Marshall).

Se fabrican 8 probetas para cada temperatura y ligante, 4 para medir la resistencia en seco y 4 tras inmersión. Esto hace un total de 8 x 9= 72 probetas / laboratorio.

A continuación se detallan las mezclas estudiadas por cada laboratorio:

- LABORATORIO 1: Árido porfídico + B60/70
Árido porfídico + B Semicaliente 1
- LABORATORIO 2: Árido calizo + B60/70
Árido calizo + B Semicaliente 1
- LABORATORIO 3: Árido silíceo + B60/70
Árido silíceo + B Semicaliente 1
- LABORATORIO 4: Árido silíceo + B60/70
Árido silíceo + B Semicaliente 2

Parámetros de compactación:

Se procederá a compactar las probetas mediante el compactador giratorio. El ángulo de giro empleado en la compactación corresponderá al ángulo europeo 0,82 ±0,02° y la fuerza de compactación está comprendida entre 4500 y 4900 N para el diámetro de molde de 100 mm.

El factor limitante en la compactación ha sido la densidad geométrica Marshall a 50 golpes por cara ya obtenida para cada uno de los socios en un trabajo anterior. En concreto se tomó la densidad geométrica obtenida para la mezcla fabrica-

da con B 60/70 a 155°C y compactada a 145°C. Estas densidades dependen de la densidad del árido empleado y son:

- Densidad geométrica Laboratorio 1: 2.380 kg/m³
- Densidad geométrica Laboratorio 2: 2.431 kg/m³
- Densidad geométrica Laboratorio 3: 2.228 kg/m³
- Densidad geométrica Laboratorio 4: 2.230 kg/m³

Energías de compactación

Un método que se puede emplear para evaluar con que facilidad se puede compactar una mezcla asfáltica es la medida del coeficiente CEI (Compaction Energy Index). Basándose en los resultados obtenidos de las curvas de densificación de las diferentes mezclas, estos parámetros analizan cuanto de fácil es compactar una mezcla frente a otra ⁵. El índice CEI analiza los resultados obtenidos desde el giro 8 hasta alcanzar el 92% de la densidad máxima.

En el presente trabajo hemos realizado un análisis similar, pero tomando como referencia medidas a las que estamos más habituados. Para ello hemos evaluado la energía de compactación como el área bajo la curva de compactación (densidad frente al n° de giros) entre las siguientes densidades:

- 90 % de la densidad Marshall: se analiza la energía a partir de esta densidad que puede ser aproximadamente la densidad que tiene una mezcla asfáltica a la salida de la extendedora.
- 98 % de la densidad Marshall: se analiza la energía de compactación hasta esta densidad ya que se puede considerar como una densidad fin del proceso de compactación en una puesta en obra (Fig. 5).

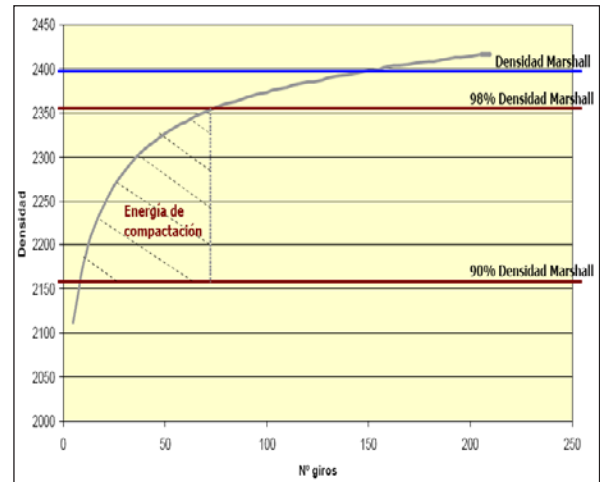


Figura 5. Método empleado para el cálculo de las energías de compactación.

Luego esta energía así calculada trata de emular la energía necesaria para compactar una mezcla asfáltica desde que ésta sale de la extendedora hasta que alcanza la densidad adecuada. La tabla 3 resume los resultados obtenidos.

Estos resultados han sido representados en los siguientes gráficos (figuras 6, 7, 8 y 9).

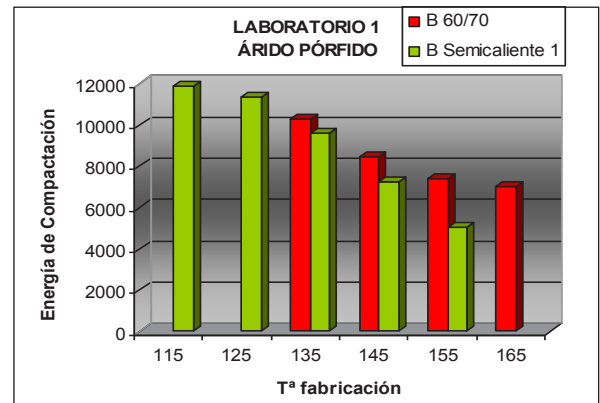


Figura 6. Energías de compactación para las mezclas estudiadas en el Laboratorio 1, con árido porfídico y betún semicaliente 1 (basado en ceras).

ENERGÍAS DE COMPACTACIÓN desde el 90 al 98% Densidad Marshall (Kg/m3.ciclo)								
SOCIO	LABORATORIO 1		LABORATORIO 2		LABORATORIO 3		LABORATORIO 4	
Tª fabricación	B 60/70	B Semicaliente 1	B 60/70	B Semicaliente 1	B 60/70	B Semicaliente 1	B 60/70	B Semicaliente 2
165	7019		12126		5137		5503	
155	7419	5038	13121	11284	5319	4741	6250	2365
145	8461	7249	15158	12118	6636	4893	7648	3423
135	10305	9583	14340	12084	6904	5323	7766	6489
125		11396		15214		5885		8440
115		11884		15933		6068		3445*

* Este resultado no se tiene en cuenta ya que se considera anómalo

Tabla 3. Energías de compactación obtenidas.

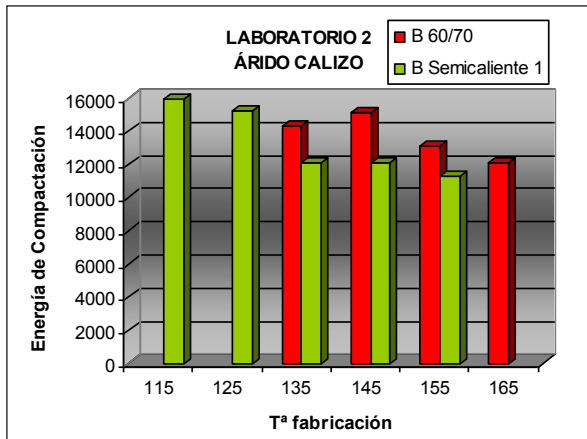


Figura 7. Energías de compactación para las mezclas estudiadas en el Laboratorio 2, con árido calizo y betún semicaliente 1 (basado en ceras).

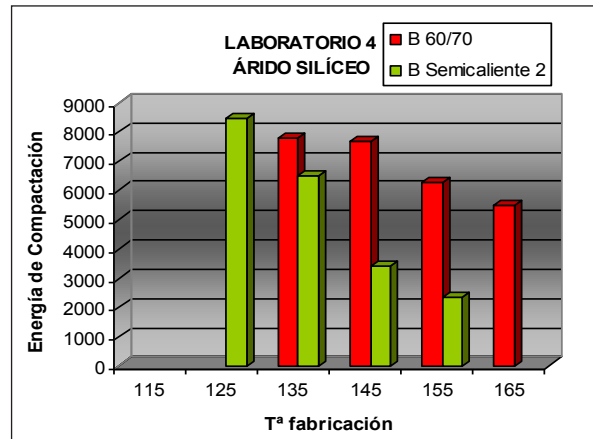


Figura 9. Energías de compactación para las mezclas estudiadas en el Laboratorio 4, con árido silíceo y betún semicaliente 2 (basado en tensoactivos).

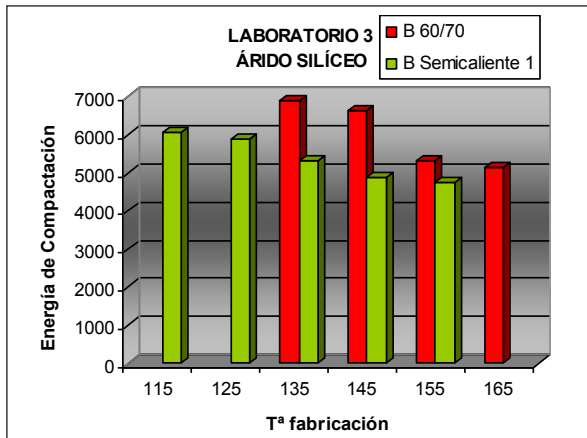


Figura 8. Energías de compactación para las mezclas estudiadas en el Laboratorio 3, con árido silíceo y betún semicaliente 1 (basado en ceras).

Como se puede apreciar en estos gráficos las mezclas que emplean ligantes semicalientes demandan una menor energía de compactación cuando las comparamos con la energía que demandan las mezclas convencionales a una temperatura dada. Es

decir son mezclas que se compactan con mayor facilidad. Podemos afirmar, a la vista de estos resultados, que el empleo de estas técnicas semicalientes permiten reducir entre 20 y 30°C las temperaturas de fabricación en todos los casos estudiados.

Ensayos mecánicos – Tracción indirecta y sensibilidad al agua

Cada serie de probetas fabricadas y compactadas es sometida al ensayo UNE-EN 12697-12: Determinación de la sensibilidad al agua de mezcla bituminosa. La realización de este ensayo se debe a que por causa de la disminución de las temperaturas de trabajo, pueden salir a la luz problemas de envuelta del árido. Por lo tanto la realización de la sensibilidad al agua permite comprobar la eficacia de los aditivos frente al betún sin aditar, analizando el valor de resistencia conservada alcanzado a una misma temperatura.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

T fabricación (°C)	165	155	145	135	125	115
T compactación (°C)	155	145	135	125	115	115
B 60/70						
RTI seco (Mpa)	3,109	3,156	3,006	2,915		
RTI húmedo (Mpa)	3,080	3,110	2,552	2,274		
RCTI (%)	99	99	85	78		
Nº Ciclos	283	130	131	149		
B Semicaliente 1						
RTI seco (Mpa)		3,001	3,243	3,122	3,094	3,323
RTI húmedo (Mpa)		2,957	3,203	2,815	3,043	3,135
RCTI (%)		99	99	90	98	94
Nº Ciclos		145	100	182	200	168

Tabla 4. Valores de los ensayos mecánicos obtenidos en el laboratorio 1.

LABORATORIO 1 - Árido porfídico - Betún Semicliente con ceras

La tabla 4 recoge los resultados obtenidos en este laboratorio.

La figura 10 muestra la evolución de las resistencias a tracción indirecta tanto en seco como en húmedo conforme disminuimos la temperatura de fabricación y compactación para las mezclas asfálticas fabricadas con los distintos ligantes. Se puede apreciar como la resistencia en húmedo para el betún convencional disminuye significativamente cuando disminuimos la temperatura de fabricación de la mezcla asfáltica. Este fenómeno no ocurre cuando empleamos como ligante el betún semicliente obteniendo para todas las temperaturas un valor próximo a los 3 Mpa.

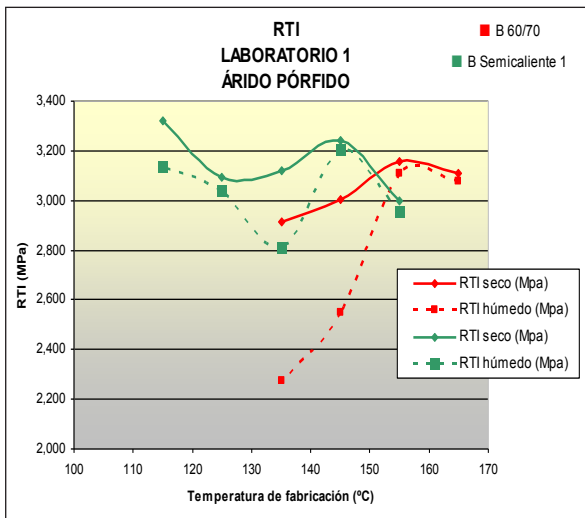


Figura 10. Valores de la resistencia a tracción indirecta en seco y en húmedo. Laboratorio 1.

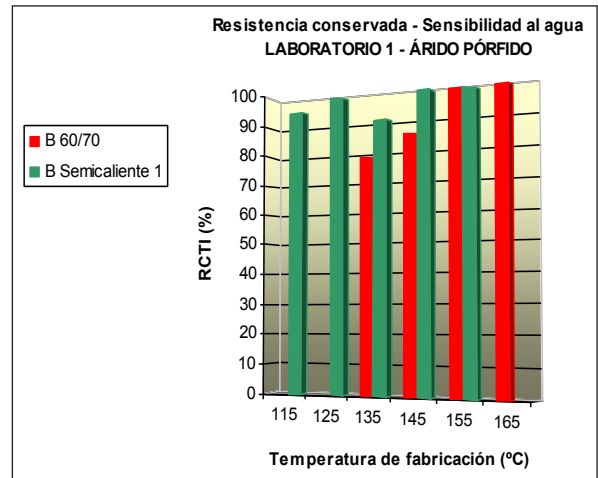


Figura 11. Valores de la resistencia conservada – sensibilidad al agua. Lab. 1.

La figura 11 muestra los valores de la resistencia conservada a tracción indirecta (sensibilidad al agua) para estas mezclas. Para el betún convencional la mezcla se hace más sensible a la acción del agua conforme disminuimos la temperatura de fabricación de la mezcla. Si embargo para la mezcla fabricada con betún semicliente no se aprecia una reducción considerable manteniéndose siempre por encima del 90%.

LABORATORIO 2 - Árido calizo - Betún Semicliente con ceras

La tabla 5 recoge los resultados obtenidos en este laboratorio.

La figura 12 muestra la evolución de las resistencias a tracción indirecta tanto en seco como en húmedo para esta mezcla. En este caso, para ambos ligantes

T fabricación (°C)	165	155	145	135	125	115
T compactación (°C)	155	145	135	125	115	115
B 60/70						
RTI seco (Mpa)	2,86	2,69	1,78	1,75		
RTI húmedo (Mpa)	2,71	2,65	1,76	1,74		
RCTI (%)	95	99	99	99		
Nº Ciclos	135	217	272	217		
B Semicliente 1						
RTI seco (Mpa)		2,38	2,09	1,69	1,88	1,85
RTI húmedo (Mpa)		2,38	2,03	1,65	1,82	1,48
RCTI (%)		100	97	98	97	80
Nº Ciclos		166	195	191	292	260

Tabla 5. Valores de los ensayos mecánicos obtenidos en el laboratorio 2.

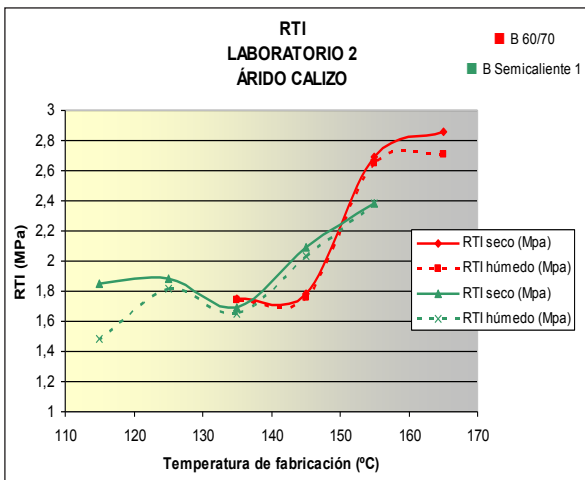


Figura 12. Valores de la resistencia a tracción indirecta en seco y en húmedo. Laboratorio 2.

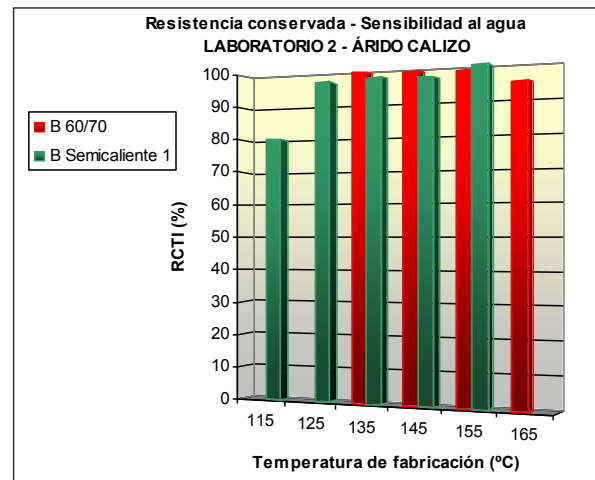


Figura 13. Valores de la resistencia conservada – sensibilidad al agua. Lab. 2.

tes, se observa una disminución de las resistencias a tracción indirecta tanto para las probetas en seco como para las probetas en húmedo.

Sin embargo, como las resistencias bajan en la misma proporción ($RTI_{seco} / RTI_{húmedo}$) conforme disminuimos la temperatura de fabricación de la mezcla, las resistencias conservadas obtenidas son muy buenas (Fig. 13). Siendo en todos los casos superiores al 90% excepto para las probetas fabricadas con betún semicaliente a 115°C.

LABORATORIO 3 - Árido silíceo - Betún Semicaliente con ceras

La tabla 6 recoge los resultados obtenidos en este laboratorio.

Si observamos la figura 14 podemos apreciar como las resistencias en seco son mucho mayores que las resistencias en húmedo para estas mezclas. Las resistencias en seco de la mezcla que emplea betún

semicaliente apenas se ven afectas por la disminución de la temperatura de fabricación.

Respecto a los valores de sensibilidad al agua (Fig. 15) parece que, para ambas mezclas, disminuyen al reducir las temperaturas de fabricación. Parece

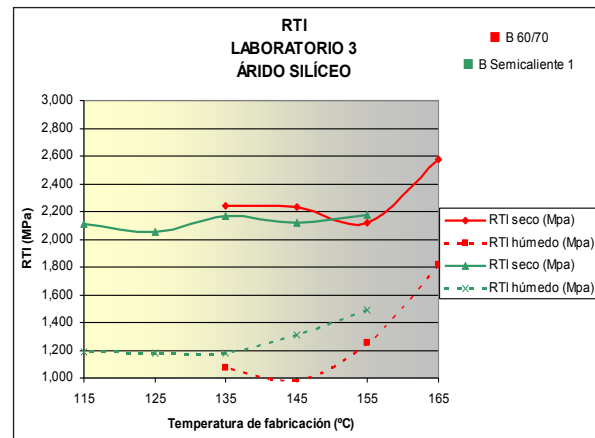


Figura 14. Valores de la resistencia a tracción indirecta en seco y en húmedo. Laboratorio 3.

T fabricación (°C)	165	155	145	135	125	115
T compactación (°C)	155	145	135	125	115	115
B 60/70						
RTI seco (Mpa)	2,575	2,122	2,232	2,240		
RTI húmedo (Mpa)	1,820	1,254	0,984	1,072		
RCTI (%)	71	59	44	48		
Nº Ciclos	96	89	113	122		
B Semicaliente 1						
RTI seco (Mpa)		2,176	2,120	2,171	2,055	2,110
RTI húmedo (Mpa)		1,487	1,311	1,182	1,180	1,184
RCTI (%)		68	62	54	57	56
Nº Ciclos		70	93	103	97	91

Tabla 6. Valores de los ensayos mecánicos obtenidos en el laboratorio 3.

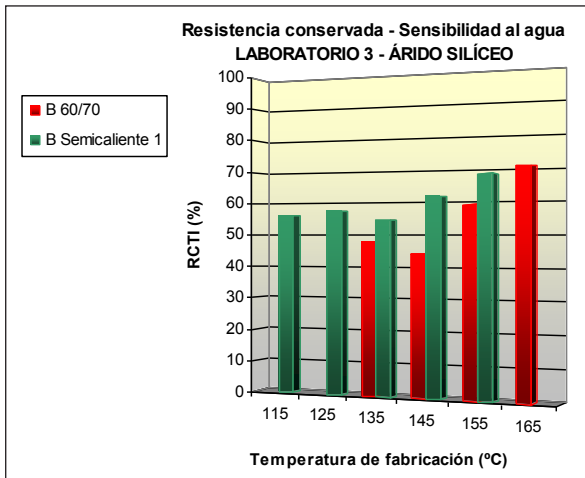


Figura 15. Valores de la resistencia conservada – sensibilidad al agua. Lab. 3.

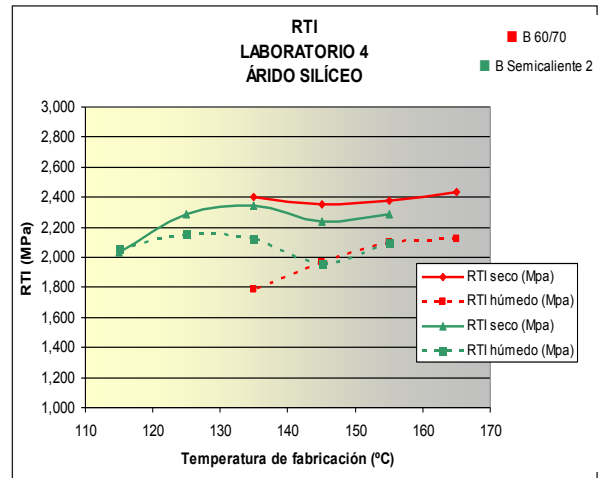


Figura 16. Valores de la resistencia a tracción indirecta en seco y en húmedo. Laboratorio 4.

que la adhesividad pasiva de este árido-betún no es muy buena. Al incorporar la cera esta mejora algo cuando comparamos resistencias conservadas a una misma temperatura de fabricación.

LABORATORIO 4 - Árido silíceo - Betún Semicaliente con tensoactivos

La tabla 7 recoge los resultados obtenidos en este laboratorio. Se trata de una mezcla asfáltica igual a la del caso anterior salvo que el betún semicaliente se fábrica empleando tensoactivos.

En la figura 16 podemos observar que en este caso las resistencias nos son muy sensibles a los cambios de temperatura de fabricación. Quizás se puede apreciar una disminución de la resistencia para las probetas fabricadas con betún convencional en húmedo.

En cuanto a las resistencias conservadas, si nos fijamos en la mezcla que emplea betún conven-

cional, podemos apreciar como la resistencia conservada disminuye al disminuir la temperatura de fabricación. Sin embargo para el betún semicaliente la sensibilidad al agua es buena a todas las temperaturas estudiadas.

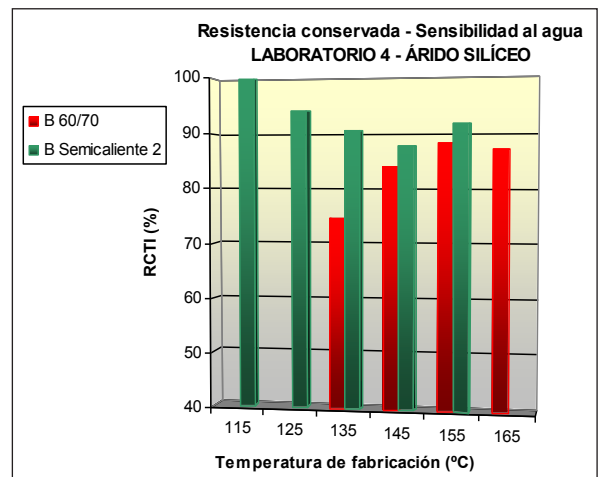


Figura 17. Valores de la resistencia conservada – sensibilidad al agua. Lab. 4.

T fabricación (°C)	165	155	145	135	125	115
T compactación (°C)	155	145	135	125	115	115
B 60/70						
RTI seco (Mpa)	2,438	2,375	2,351	2,402		
RTI húmedo (Mpa)	2,125	2,097	1,971	1,790		
RCTI (%)	87	88	84	75		
Nº Ciclos	84	95	116	124		
B Semicaliente 2						
RTI seco (Mpa)		2,288	2,235	2,346	2,290	2,034
RTI húmedo (Mpa)		2,097	1,962	2,123	2,156	2,055
RCTI (%)		92	88	90	94	100
Nº Ciclos		38	57	99	137	55

Tabla 7. Valores de los ensayos mecánicos obtenidos en el laboratorio 4.

CONCLUSIONES

1. Las mezclas semicalientes demandan una menor energía de compactación que las mezclas convencionales para todas las mezclas asfálticas estudiadas.
2. El método empleado para analizar las energías de compactación es novedoso y ha resultado muy interesante de acuerdo con los resultados obtenidos. Este método nos puede permitir analizar con que facilidad se va a compactar una mezcla asfáltica a una temperatura dada.
3. El compactador giratorio es un equipo que proporciona mucha información durante el proceso de compactación, siendo un sistema que se acerca más a lo que ocurre en las compactaciones de obra.
4. Los valores de resistencia a tracción indirecta suelen disminuir al reducir las temperaturas de fabricación. Este fenómeno ocurre en mayor medida en las mezclas bituminosas que emplean betún convencional y para las probetas sumergidas en agua. Parece que el empleo de ligantes semicalientes reduce esta tendencia.
5. Los valores de resistencia a tracción indirecta para las probetas en seco de las mezclas bituminosas fabricadas con betún convencional y con betún semicaliente son muy similares para una temperatura dada.
6. Para casi todas las mezclas estudiadas con betún convencional la resistencia conservada a tracción indirecta (RCTI) disminuye al disminuir las temperaturas de fabricación.
7. De manera general la sensibilidad al agua de las mezclas semicalientes se han comportado mejor que las obtenidas con mezclas fabricadas con betún convencional cuando analizamos los resultados a una misma temperatura de fabricación.
8. La sensibilidad al agua de las mezclas semicalientes han sido buenas para todas las mezclas estudiadas excepto en el Laboratorio 3 que empleó un árido silíceo con betún semicaliente con

ceras. De todos modos no se puede atribuir el problema al empleo de ceras ya que la mezcla convencional dio unos resultados incluso menores. Sin embargo, al utilizar el betún semicaliente con tensoactivos para esta misma mezcla (Laboratorio 4) la sensibilidad al agua obtenida fue bastante buena.

9. Resaltar que es posible fabricar mezclas bituminosas a menores temperaturas con propiedades similares a las mezclas bituminosas en caliente; con las ventajas que este hecho conlleva: ahorro energético, reducción de las emisiones de CO₂, mayor seguridad para los operarios, etc,...

REFERENCIAS

1. Estudio de los aditivos que permiten reducir la viscosidad del ligante a elevadas temperaturas. S. Gil, J.I. Amor, J. Felipe, A. Costa, C. Cortés, A. Páez, F. Valor, J.J. Potti. IV Jornada Nacional de Asefma 2009.
2. Estudio del ángulo de contacto de betunes y su efecto sobre distintas propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas. S. Gil, J.A. González, E. Sánchez.
3. Mezclas semicalientes, estudio de las técnicas de reducción de viscosidad y reducción de tensión superficial. F.J. Barceló, A. Páez, E. Moreno.
4. Influencia de las características del betún y los másticos en la determinación de las temperaturas de fabricación y trabajo de las mezclas bituminosas. A. Costa, J. Loma, E. Moreno.
5. Assesment of Workability/Compactability of Warm Mix Asphalts. Bennert, T., Reinke, G., Mogawer, W. y Mooney, K. TRB Washington enero 2010.

AGRADECIMIENTOS

La realización del Proyecto Fénix (www.proyectofenix.es) ha sido posible gracias a la contribución financiera del Centro para el Desarrollo Tecnológico

e Industrial (CDTI) dentro del marco del programa Ingenio 2010 y, más concretamente, a través del Programa CENIT. Las empresas y centros de investigación que participan en el Proyecto desean mostrar su gratitud por dicha contribución.

Los autores quieren agradecer a todas las organizaciones y empresas participantes del Proyecto Fénix: Centro de Investigación Elpidio Sánchez Marcos (CIESM), Centro Zaragoza, Construcciones y Obras Llorente (Collosa), Ditecpesa, As-

faltos y Construcciones Elsan, Intrame, Pavasal, Repsol YPF, Sacyr, Serviá Cantó, Sorigué, CARTIF, CEDEX, CIDAUT, CSIC (IIQAB), GIASA, Intromac, Labein, Universidad de Alcalá de Henares, Universidad Carlos III de Madrid, Universidad de Castilla La Mancha, Universidad de Huelva, Universidad de Cantabria, Universidad Politécnica de Cataluña, Universidad Politécnica de Madrid, y a sus numerosos colaboradores cuya capacidad de trabajo y eficacia están permitiendo el desarrollo de este Proyecto en un ambiente de cooperación.