

5. Desarrollo experimental

5.1. Fabricación de probetas

Para la fabricación de las diferentes probetas, se han empleado los tres tipos de áridos disponibles junto con los cuatro tipos de resinas.

En primer lugar se ha llevado a cabo la molienda de vidrio. Con ayuda de un martillo se ha procedido a la rotura de las botellas y tarros disponibles. Los cascotes resultantes se han introducido en el molino de bolas, permaneciendo en funcionamiento durante aproximadamente 24 horas. El polvo obtenido tras este intervalo es tamizado con un tamaño de luz máximo de 0.1 *mm*. De este modo se obtiene el polvo de vidrio que será usado como árido en la fabricación de mortero para las probetas.

Para determinar la dosificación óptima se han fabricado numerosas muestras de las diversas combinaciones posibles entre los materiales.

Resina epoxy

Se realizarán probetas de 60 *g* de peso. En la fabricación de hormigón es muy importante la realización del mezclado en la calidad final del producto. Para ello, el amasado se lleva a cabo en un mortero de porcelana durante el tiempo necesario hasta tener una mezcla homogénea. Una vez completado el mezclado, se procede a la compactación y conformado de la mezcla en la prensa. El conformado se realiza a una presión de 15 *Mpa*. Este procedimiento se realizará para la obtención de probetas de hormigón basado en resina epoxy y que tenga por árido tanto tierra de diatomeas, como polvo de vidrio y dióxido de titanio. Una vez obtenida la pieza prensada, se procede a su curado a 60 $^{\circ}C$ en la estufa. La probeta es curada durante al menos 24 horas. La figura 5.1 muestra una de las probetas resultantes.



Figura 5.1: Fabricación de probetas de resina epoxy y polvo de vidrio.

Por otro lado, para el estudio de la influencia de la fibra de vidrio, se van a realizar diferentes muestras de resina con fibra de vidrio. Para la fabricación de éstas será necesario una mayor cantidad de resina por lo que no se llevará a cabo el prensado. La

muestras se realizarán en recipientes cilíndricos y posteriormente, tras su curado en la estufa durante al menos 24 horas, serán mecanizados para obtener las correspondientes probetas. La figura 5.2 muestra un ejemplo de probeta fabricada mediante este método.



Figura 5.2: Fabricación de probetas de resina epoxy y fibra de vidrio.

La tabla 5.1 siguiente recoge las diferentes composiciones en % peso de cada material:

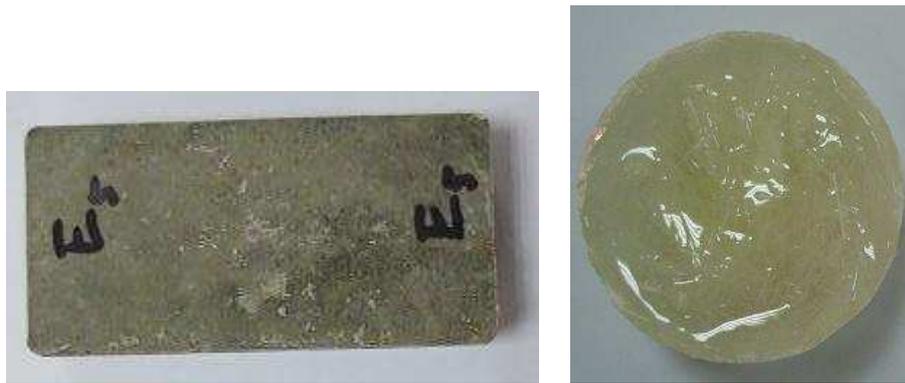
Resina epoxy				
Tipo de árido o aditivo	% resina	% árido	% Fibra	Designación
Ninguno	100	-	-	E0
Polvo de vidrio	20	80	-	E1
Tierra de diatomeas	40	60	-	E2
Dióxido de titanio	40	60	-	E3
Fibra de vidrio	88	-	12	E4.1
	86	-	14	E4.2
	84	-	16	E4.3
	82	-	18	E4.4

Tabla 5.1: Probetas realizadas con resina epoxy.

Resina poliéster

Para las probetas de hormigón basado en resina poliéster se va a proceder de la misma manera que se ha especificado anteriormente con la resina epoxy. Al igual que ocurre con la resina epoxy, la calidad de mezclado influye directamente en las características finales del hormigón. Se van a realizar diferentes probetas de resina poliéster utilizando, independientemente, polvo de vidrio, tierra de diatomeas y dióxido de titanio. Como en el caso anterior, las probetas se curan en la estufa durante un mínimo de 24 horas a una temperatura de 60 °C.

Para evaluar la influencia del refuerzo de fibra de vidrio se va a proceder como se ha especificado anteriormente con la resina epoxy.



(a) Probeta de resina poliéster y polvo de vidrio.

(b) Probeta de resina poliéster y fibra de vidrio.

Figura 5.3: Fabricación de probetas con resina poliéster.

Las diferentes dosificaciones se muestran en la tabla 5.2.

Resina Poliéster				
Tipo de árido o aditivo	% resina	%árido	% Fibra	Designación
Ninguno	-	-	-	P0
Polvo de vidrio	40	60	-	P1
Tierra de diatomeas	40	60	-	P2
Dióxido de titanio	40	60	-	P3
Fibra de vidrio	92	-	8	P4.1
	90	-	10	P4.2
	88	-	12	P4.3
	86	-	14	P4.4
	84	-	16	P4.5

Tabla 5.2: Probetas realizadas con resina poliéster.

Emulsión sintética Compodur L.S.P.

La fabricación de las probetas haciendo uso de esta resina se ha efectuado de la misma forma que las anteriores. La ficha técnica de esta resina sugiere el empleo de agua, con el fin de alcanzar la viscosidad necesaria para el correcto mezclado. Se han utilizado diferentes dosificaciones tanto de resina como de agua añadida a ésta. Una vez realizado el prensado, se ha curado en la estufa a temperatura de 50 °C.

Para dosificaciones mayores de resina, así como para el estudio de la influencia de fibra de vidrio en esta resina se ha llevado a cabo muestras mediante el procedimiento análogo al descrito anteriormente.

Emulsión sintética Compodur L.S.P.					
Tipo de árido o aditivo	% resina	%árido	% Agua	% Fibra	Designación
Ninguno	100	-	-	-	B0.1
	50	-	50	-	B0.2
Polvo de vidrio	20	80	-	-	B1.1
	19	80	1	-	B1.2
	10	80	10	-	B1.3
	47.5	43.5	2.5	6.5	B1.4
	38	46.2	2	13.8	B1.5
Tierra de diatomeas	60	40	10	-	B2
Dióxido de titanio	70	30	-	-	B3.1
	60	40	-	-	B3.2
Fibra de vidrio	75	-	5	20	B4.1
	70	-	-	30	B4.2
	60	-	-	40	B4.3

Tabla 5.3: Probetas realizadas con emulsión sintética Compodur L.S.P.



(a) Probeta resina Compodur y polvo de vidrio.



(b) Probeta resina Compodur y fibra de vidrio.

Figura 5.4: Fabricación de probetas con resina Compodur.

Emulsión KP de TL - 2000

El uso de esta resina para la fabricación de las probetas ha estado condicionado por la falta de aplicación anterior de este componente.

Finalmente se ha obtenido las diferentes combinaciones de producto KP con oxiasfalto y junto los diferentes áridos. Para el mezclado ha sido necesario la utilización del horno en el cual se ha calentado el oxiasfalto hasta temperatura que permita mezclado con el árido. Posteriormente se ha añadido el componente KP.

La tabla 5.4 muestra el reparto, en % peso, de cada material:

Emulsión KP de TL - 2000					
Tipo de árido o aditivo	% KP	% Oxiasfalto	%árido	% Fibra	Designación
Ninguno	100	-	-	-	K0.1
	10	90	-	-	K0.2
Polvo de vidrio	-	80	20	-	K1.1
	2	18	80	-	K1.2
Tierra de diatomeas	4	36	60	-	K2
Dióxido de titanio	2	18	80	-	K3
Fibra de vidrio	9.2	82.8	-	8	K4.1
	8.6	77.4	-	14	K4.4

Tabla 5.4: Probetas realizadas con Emulsión KP de TL - 2000.



(a) Probeta de emulsión KP y polvo de vidrio. (b) Probeta de emulsión KP y fibra de vidrio.

Figura 5.5: Probetas con emulsión KP de TL-2000.

5.2. Ejecución de ensayos

Se ha procedido a la realización de los ensayos descritos anteriormente en el apartado 4.4. Para ello se realizarán tres probetas con cada una de las dosificaciones mostradas en la sección 5.1. A continuación se analizan los resultados obtenidos.

5.2.1. Densidad real y aparente

Para la determinación de la densidad aparente y real se ha calculado el promedio de cada muestra.

Resina epoxy

Los valores de densidad aparente y real calculados se recogen en la tabla 5.5.

Resina epoxy								
Designación	E0	E1	E2	E3	E4.1	E4.2	E4.3	E4.4
ρ_{ap} [g/cm^3]	1.052	1.887	1.339	2.028	1.050	1.072	1.090	1.159
ρ_{real} [g/cm^3]	1.052	1.908	1.463	2.047	1.053	1.075	1.093	1.161

Tabla 5.5: Valores de densidad de las probetas tipo E.

A la vista de estos resultados de la tabla 5.5 y la figura 5.6, se puede apreciar la aproximación de los valores de densidad real y aparente, lo que indica la baja porosidad del hormigón basado en resina epoxy, que permite obtener hormigones de alta compactación que limitará las circulaciones de aire y agua.

Los valores de densidad real y aparente de las muestras realizadas con resina epoxy serán tomadas a continuación como referente.

Resina poliéster

Los valores obtenidos en la tabla 5.6

Resina Poliéster									
Designación	P0	P1	P2	P3	P4.1	P4.2	P4.3	P4.4	P4.5
ρ_{ap} [g/cm^3]	1.193	1.785	1.359	2.125	1.184	1.081	1.108	1.108	1.058
ρ_{real} [g/cm^3]	1.089	1.823	1.680	2.144	1.193	1.157	1.090	1.113	1.065

Tabla 5.6: Valores de densidad de las probetas tipo P.

Los resultados obtenidos en la tabla 5.6, muestran un nivel de porosidad mayor respecto a la resina epoxy, si bien la diferencia entre densidad real y densidad aparente no es muy acusada. Por lo tanto, los hormigones fabricados a partir de esta resina presentan unos valores de porosidad pequeños, que no serán significantes ante circulaciones de aire y agua.

Emulsión sintética Compodur L.S.P.

A continuación se muestran los valores obtenidos de densidad real y aparente:

Emulsión sintética Compodur L.S.P.							
Designación	B0.1	B0.2	B1.1	B1.2	B1.3	B1.4	B1.5
ρ_{ap} [g/cm^3]	*	0.894	1.534	1.512	1.507	1.052	1.039
ρ_{real} [g/cm^3]	*	0.934	2.080	2.070	2.176	1.231	1.692

Emulsión sintética Compodur L.S.P.						
Designación	B2	B3.1	B3.2	B4.1	B4.2	B4.3
ρ_{ap} [g/cm^3]	0.817	1.915	1.691	0.721	0.623	0.771
ρ_{real} [g/cm^3]	1.203	2.458	1.976	0.914	0.727	0.910

Tabla 5.7: Valores de densidad de las probetas tipo B.

Los resultados expuestos en la tabla 5.7, manifiestan una diferencia más acusada de densidades, lo que implica que se tienen valores de porosidad mayores.

Emulsión KP de TL - 2000.

Emulsión KP de TL - 2000								
Designación	K0.1	K0.2	K1.1	K1.2	K2	K3	K4.1	K4.2
ρ_{ap} [g/cm^3]	1.026	1.014	1.888	1.858	1.278	1.827	0.927	1.001
ρ_{real} [g/cm^3]	1.076	1.023	1.916	1.898	1.298	1.914	0.940	1.017

Tabla 5.8: Valores de densidad de las probetas tipo K.

De acuerdo a los resultados de las probetas de mortero basados en este ligante, tabla 5.8, se tiene que el grado de porosidad es también superior conforme a los resultados de la resina epoxy, si bien se mantiene análogo a los resultados obtenidos para resina poliéster.

La figura 5.6 muestra una comparación de los valores de densidad aparente y real de cada una de las probetas fabricada.

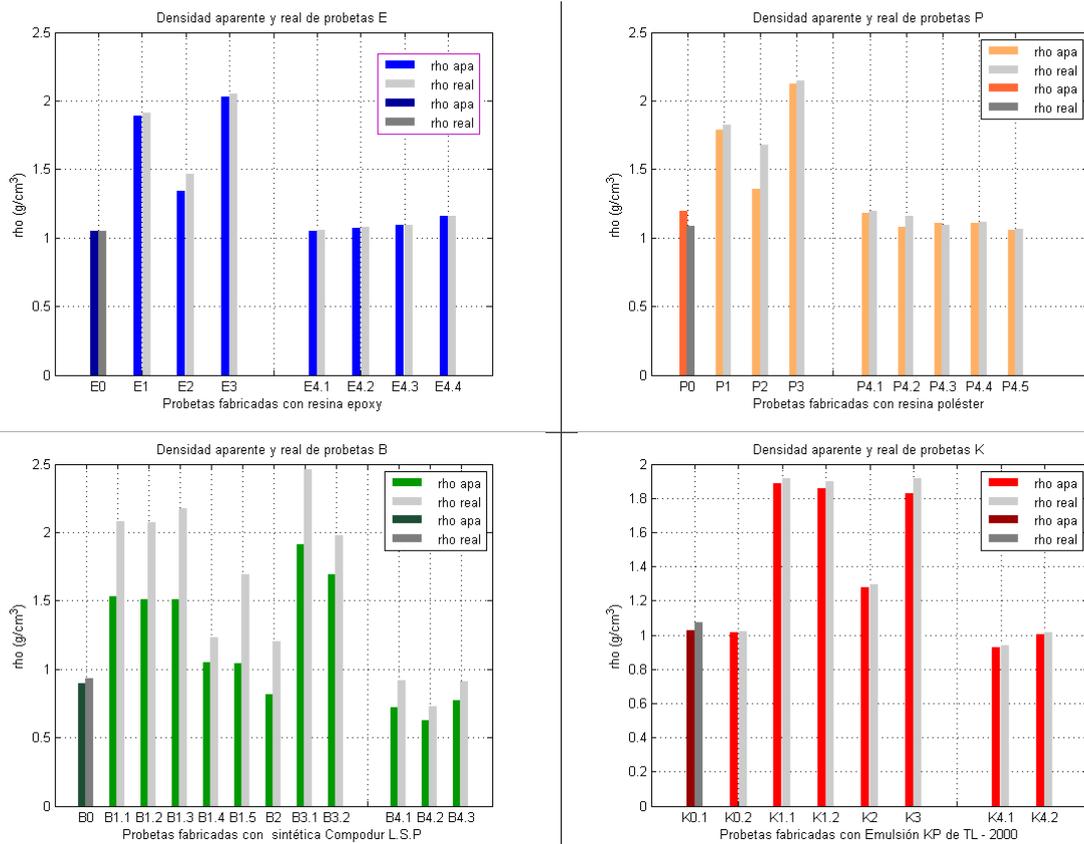


Figura 5.6: Resultados obtenidos del ensayo de densidad en las diferentes muestras.

5.2.2. Ensayo de absorción

Se ha realizado el ensayo de absorción a las probetas fabricadas anteriormente. Los valores resultantes se describen a continuación.



Figura 5.7: Ensayo de absorción.

Resina epoxy

Resina epoxy								
Designación	E0	E1	E2	E3	E4.1	E4.2	E4.3	E4.4
A (%)	0.049	0.218	5.138	0.469	0.266	0.332	0.238	0.167

Tabla 5.9: Coeficiente de absorción de probetas tipo E.

Los resultados del ensayo se exponen en la tabla 5.9. Los valores del coeficiente de absorción obtenidos en las probetas fabricadas a partir de resina epoxy son muy pequeños.

Sin embargo, el árido condiciona la capacidad absorbente de las probetas. Como se muestra en la figura 5.8, se puede admitir que la absorción en probetas con polvo de vidrio y dióxido de titanio es prácticamente despreciable, no ocurriendo igual en las probetas fabricadas con tierra de diatomeas. Este hecho es razonable teniendo en cuenta la capacidad de absorción propia de ésta.

Resina poliéster

A partir de los resultados de la tabla 5.10 se comprueba la baja capacidad de absorción que presentan los morteros fabricados con resina poliéster como ligante.

Resina Poliéster									
Designación	P0	P1	P2	P3	P4.1	P4.2	P4.3	P4.4	P4.5
A (%)	0.233	1.616	14.058	0.417	0.616	0.228	0.667	0.432	0.597

Tabla 5.10: Coeficiente de absorción de probetas tipo P.

Analizando el efecto de los áridos en la absorción, figura 5.8, se comprueba como mantienen los índices de absorción relativamente bajos para aquellas probetas que están constituidas por polvo de vidrio o dióxido de titanio. Las probetas fabricadas con tierra de diatomeas no han aguantado el ensayo de absorción, habiéndose desintegrado. Esto sugiere una variación en la dosificación para el uso de tierra de diatomeas como árido, de modo que el efecto final de la capacidad de absorción de éstas se vea aminorado. Se estima como solución una dosificación de entorno 40 % árido y 60 % resina.

Emulsión sintética Compodur L.S.P.

La tabla 5.11 muestra los valores de coeficiente de absorción registrados en las probetas compuestas de ligante Emulsión sintética Compodur L.S.P. Los resultados obtenidos son superiores al 6 % establecido en la norma, por lo que las muestras fabricadas no son aptas para su uso como hormigón. Por otro lado, la absorción propia de la resina es relativamente alta.

Emulsión sintética Compodur L.S.P.							
Designación	B0.1	B0.2	B1.1	B1.2	B1.3	B1.4	B1.5
A (%)	*	4.752	17.265	17.602	19.883	13.876	37.105

Emulsión sintética Compodur L.S.P.						
Designación	B2	B3.1	B3.2	B4.1	B4.2	B4.3
A (%)	39.219	11.574	8.628	29.170	23.050	19.777

Tabla 5.11: Coeficiente de absorción de probetas tipo P.

Se recomienda como posible solución el estudio de la absorción en muestras variando su dosificación. Se sugiere aumentar la proporción de ligante respecto a la de árido. En este caso, por las características propias de la tierra de diatomeas, no se recomienda su uso con esta resina enfocado a la fabricación de hormigones, por las altas exigencias de estos.

En cuanto al análisis en función del árido empleado, a partir de la figura 5.8 se puede concluir que el alto valor de capacidad de absorción por parte de las muestras fabricadas con resina y fibra de vidrio está condicionado altamente por el proceso de fabricación, teniendo en cuenta la capacidad no absorbente de agua que presenta la fibra de vidrio.

Emulsión KP de TL - 2000								
Designación	K0.1	K0.2	K1.1	K1.2	K2	K3	K4.1	K4.2
A (%)	0.856	0.937	0.795	1.107	1.259	6.133	1.464	1.522

Tabla 5.12: Coeficiente de absorción de probetas tipo K

Emulsión KP de TL - 2000

Se observan de la tabla que los coeficientes de absorción de las muestras fabricadas con este ligante son relativamente pequeños.

En la figura 5.8 se muestra una comparación de los resultados arrojados por el ensayo

de absorción para los cuatros tipos de probeta, clasificadas anteriormente según el tipo de ligante.

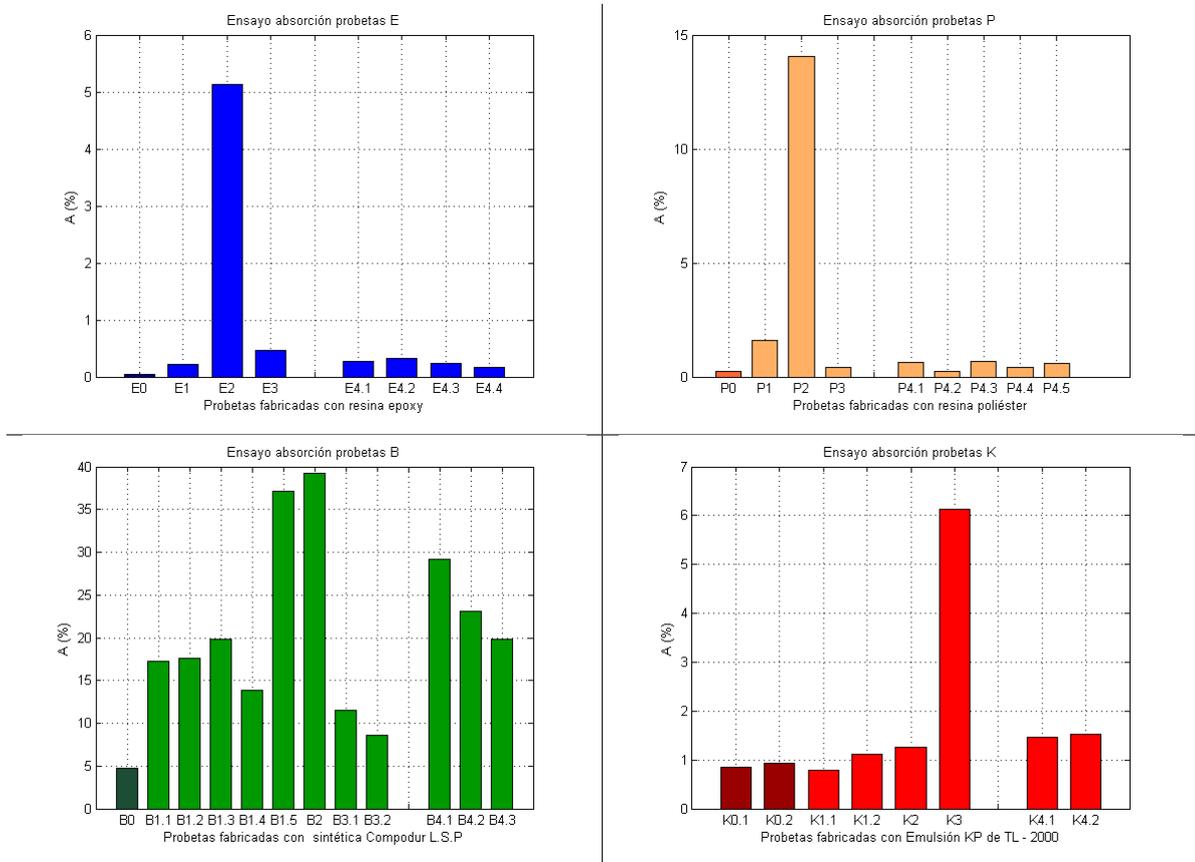


Figura 5.8: Resultados obtenidos del ensayo de absorción en las diferentes muestras.

5.2.3. Ensayo de succión

Se ha realizado el ensayo de succión, según la normativa especificada anteriormente en la sección 4.4.1, para cada una de las probetas fabricadas.



Figura 5.9: Ensayo de succión.

Resina epoxy

La tabla 5.13 muestra los resultados obtenidos del ensayo de succión realizados en las

probetas fabricadas con este ligante. Se observa que los índices de succión son bastantes bajos.

Resina epoxy								
Designación	E0	E1	E2	E3	E4.1	E4.2	E4.3	E4.4
S [$\frac{10^{-3}g}{cm^2 \cdot min}$],	1.062	3.577	4.187	2.669	1.035	1.675	3.224	2.648

Tabla 5.13: Valores de succión de las probetas tipo E.

En la figura 5.10 se muestra el efecto del tipo de árido en la capacidad de succión del material.

Resina poliéster

Los valores de succión obtenidos en las probetas basadas en esta resina son mostrados en la tabla 5.14.

Resina Poliéster									
Designación	P0	P1	P2	P3	P4.1	P4.2	P4.3	P4.4	P4.5
S [$\frac{10^{-3}g}{cm^2 \cdot min}$],	2.340	2.835	5.709	3.954	2.681	1.070	1.997	2.289	1.883

Tabla 5.14: Valores de succión de las probetas tipo P.

Al igual que ocurre con la resina epoxy, el coeficiente de succión comprende valores de orden de magnitud de $10^{-3} \frac{g}{cm^2 \cdot min}$, muy inferiores al máximo establecido por la norma. En cuanto a la influencia relativa del árido en este parámetro, en la figura 5.10 se aprecia

Emulsión sintética Compodur L.S.P.

Tras la realización del ensayo en las muestras fabricadas con esta resina, se han registrado en la 5.15 los siguientes valores:

Emulsión sintética Compodur L.S.P.							
Designación	B0.1	B0.2	B1.1	B1.2	B1.3	B1.4	B1.5
S [$\frac{g}{cm^2 \cdot min}$],	*	0.011	0.189	0.176	0.131	0.034	0.070

Emulsión sintética Compodur L.S.P.						
Designación	B2	B3.1	B3.2	B4.1	B4.2	B4.3
S [$\frac{g}{cm^2 \cdot min}$],	0.033	0.080	0.036	0.102	0.013	0.021

Tabla 5.15: Valores de succión de las probetas tipo B.

Donde se aprecia un notable aumento del coeficiente de succión respecto a los resultados obtenidos con la resina epoxy y la resina poliéster. Los resultados obtenidos son

aceptables, tal y como se indica en la normativa vigente. La norma establece un máximo de $0,45 \frac{g}{cm^2 \cdot min}$.

Emulsión KP de TL - 2000

Como se aprecia en la tabla 5.16, las probetas fabricadas con Emulsión KP de TL - 2000 como aglomerante exhiben un comportamiento frente a capacidad de succión del mismo orden que la resina epoxy y la resina poliéster. Estos valores resultan muy favorables teniendo en cuenta su influencia en la durabilidad de un hormigón, como se ha expuesto anteriormente.

Emulsión KP de TL - 2000								
Designación	K0.1	K0.2	K1.1	K1.2	K2	K3.1	K4.1	K4.2
$S \left[\frac{10^{-3}g}{cm^2 \cdot min} \right]$	4.101	3.130	1.671	3.351	2.075	3.277	1.116	1.087

Tabla 5.16: Valores de succión de las probetas tipo K.

Los resultados obtenidos en el ensayo de succión son mostrados en la figura 5.10, donde cada gráfica corresponde a un tipo de probeta.

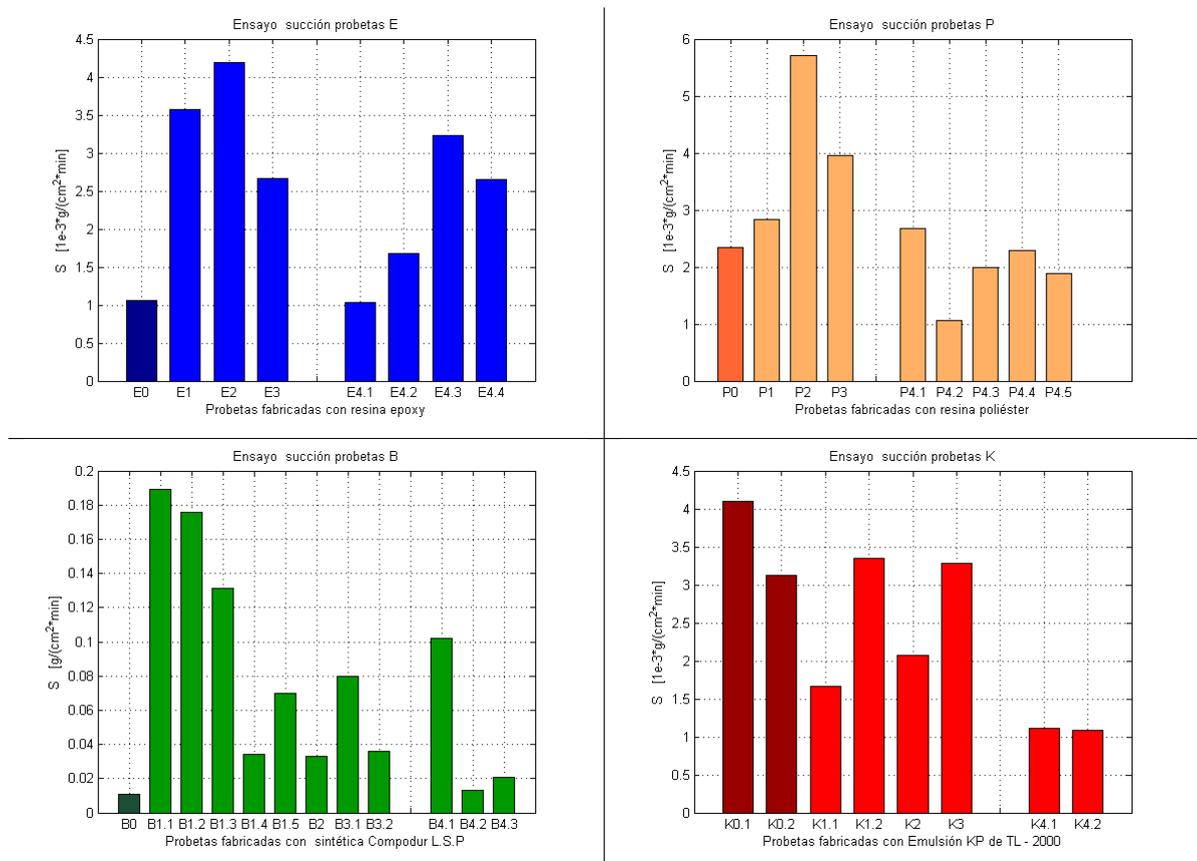


Figura 5.10: Valores de coeficiente de succión obtenido en los ensayos de las diferentes muestras.

5.2.4. Ensayo de compresión

Según lo especificado en el apartado 4.4.2, se ha llevado a cabo la realización del ensayo de compresión. Los resultados se muestran a continuación.

Resina epoxy

La tabla 5.17 muestra los resultados del ensayo en las probetas fabricadas con resina epoxy.

Resina epoxy								
Designación	E0	E1	E2	E3	E4.1	E4.2	E4.3	E4.4
$F_{m\acute{a}x}$ [KN]	140.6	94.023	78.7	120	212.4	150.2	145.4	165.6
σ_{rot} [Mpa]	135.701	52.023	39.081	58.239	99.898	69.889	68.941	79.714

Tabla 5.17: Valores de fuerza máxima y carga de rotura de las probetas tipo E.

Todas las probetas presentan unos buenos resultados, superando la limitación mínima de 10 Mpa que impone la norma. De los resultados se extrae que la adicción de árido provoca una disminución de su capacidad a compresión, si bien es la tierra de diatomeas la que la reduce más drásticamente. El polvo de vidrio y el TiO_2 reducen la capacidad de compresión más suavemente, por lo que su utilización como árido permite obtener hormigones muy por encima del valor mínimo establecido. Por otro lado, la inclusión de fibra de vidrio discontinua en la resina epoxy muestra como su capacidad a compresión se ve mejorada.

Resina poliéster

Los resultados se muestran en la tabla 5.18.

Resina Poliéster									
Designación	P0	P1	P2	P3	P4.1	P4.2	P4.3	P4.4	P4.5
$F_{m\acute{a}x}$ [KN]	47.5	161.1	4.3	22	189.7	186.4	241.1	205.2	167.9
σ_{rot} [Mpa]	23.161	75.281	2.010	10.283	87.698	86.700	114.627	95.847	79.029

Tabla 5.18: Valores de fuerza máxima y carga de rotura de las probetas tipo P.

En este caso, los resultados muestran como la aportación de polvo de vidrio mejora sustancialmente el comportamiento de la resina poliéster por sí sola. No es el caso de la tierra de diatomeas, que no cumpliría la mínima resistencia a compresión impuesta por la norma, y por tanto invalida su uso como hormigón, si bien podría utilizarse para otro tipo de tareas cuyas sollicitaciones sean menos rigurosas que aquellas donde se precisa hormigón. El TiO_2 para esta probetas también disminuye su capacidad ante esfuerzos de compresión, si bien se encuentra en el límite de la norma, por lo que podría ser añadido en aquellos hormigones que sean necesarios. Cabe destacar la gran mejora que

experimenta la resina poliéster a la que se le ha añadido fibra de vidrio discontinua. En estos, la resistencia a compresión ha sido aumentada entre 3 y 5 veces su valor sin fibra de vidrio.

Emulsión sintética Compodur L.S.P.

Los resultados del ensayo se muestran en la tabla 5.19

Emulsión sintética Compodur L.S.P.							
Designación	B0.1	B0.2	B1.1	B1.2	B1.3	B1.4	B1.5
$F_{m\acute{a}x}$ [KN]	*	8.65	2.4	No reg	9.8	10.9	9.2
σ_{rot} [Mpa]	*	2.162	1.236	No reg	1.105	5.089	4.239

Emulsión sintética Compodur L.S.P.						
Designación	B2	B3.1	B3.2	B4.1	B4.2	B4.3
$F_{m\acute{a}x}$ [KN]	10.2	10.9	10.9	8.8	6.5	6.8
σ_{rot} [Mpa]	4.777	6.489	7.002	4.107	3.933	4.178

Tabla 5.19: Valores de fuerza máxima y carga de rotura de las probetas tipo B.

Los resultados que presentan las probetas fabricadas a partir de Emulsión sintética Compodur L.S.P no son válidos para su uso como hormigón tal y como establece la normativa. Además, es necesario aclarar que la resina por sí sola no cura adecuadamente, necesitando árido para que esto se produzca. Se trata de una resina muy deformable, para la que incluso la fibra de vidrio en cantidades muy superiores a las añadidas en las anteriores resinas apenas mejoran su capacidad.

Emulsión KP de TL - 2000

La tabla 5.20 muestra los resultados de este ensayo.

Emulsión KP de TL - 2000								
Designación	K0.1	K0.2	K1.1	K1.2	K2	K3	K4.1	K4.2
$F_{m\acute{a}x}$ [KN]	1.5	1.4	9.9	7.3	1.2	3.5	1.8	1.3
σ_{rot} [Mpa]	0.700	0.654	5.509	4.077	0.56	1.923	0.842	0.613

Tabla 5.20: Valores de fuerza máxima y carga de rotura de las probetas tipo K.

Los resultados no presentan unos valores óptimos atendiendo a lo marcado por la norma. Sin embargo, la realización de este ensayo para estas probetas ha sido muy impreciso, debido a la alta deformabilidad que presentan.

Como se ha realizado en los ensayos anteriores, en la figura 5.11 se pueden comparar los resultados obtenidos por cada tipo de probeta en el ensayo de compresión.

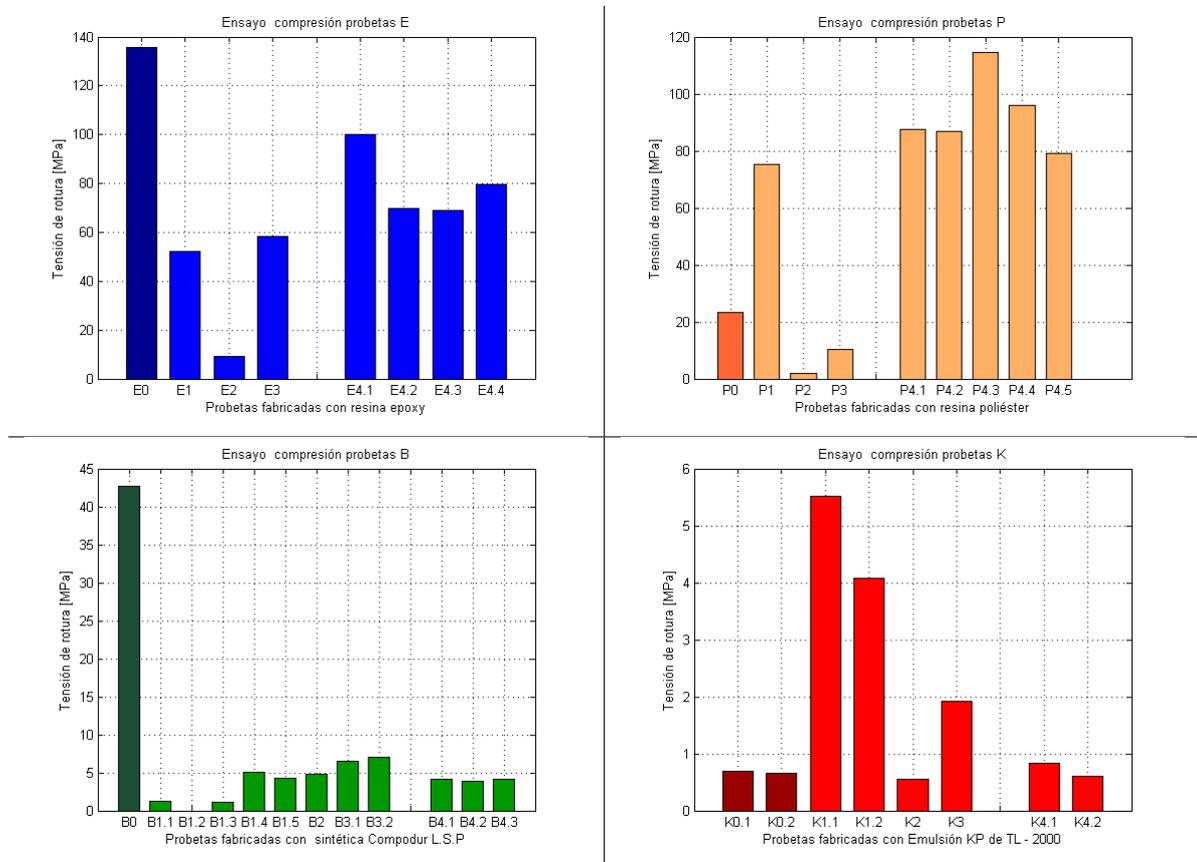


Figura 5.11: Valores de carga de rotura obtenido en los ensayos de compresión de las diferentes muestras.

5.2.5. Ensayos térmicos

Los resultados obtenidos de la realización de los ensayos térmicos, para cada resina, se muestran a continuación. Para cada una de las muestras se muestran, en las siguientes gráficas, las curvas tga (negro), su primera derivada (rojo), y las curvas dsc (azul).

Resina epoxy

Las siguientes figuras muestran las curvas resultantes de realizar los ensayos térmicos anteriormente descrito a las diferentes muestras de epoxy. Como se aprecia en las siguientes gráficas, durante el endurecimiento de la resina se produce una reacción exotérmica en torno el rango de temperatura de $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. La pérdida de masa que experimentan todas las muestras anteriores es similar y muestran un comportamiento análogo.

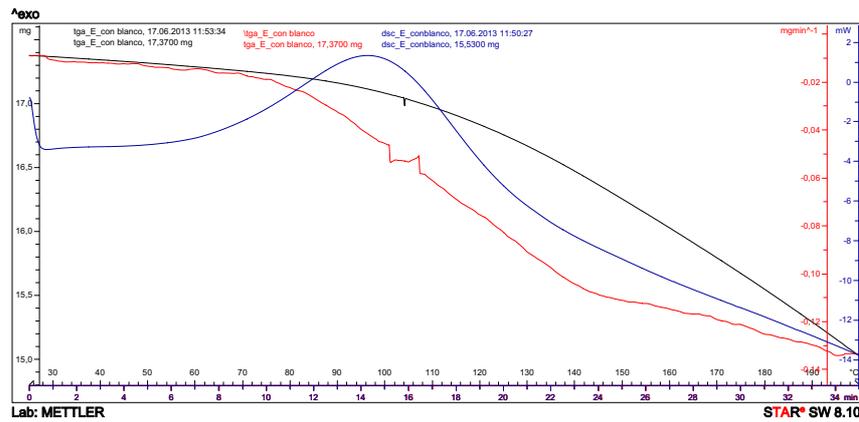


Figura 5.12: Tga y dsc de la muestra resina epoxy (E)

La gráfica tga muestra la pérdida de masa que va sufriendo la muestra. A partir de la gráfica dsc se puede determinar que la resina sufre una reacción exotérmica a una temperatura en torno a 100°C , y es partir de unos 130°C cuando la resina comienza a curar. Mediante la gráfica tga se muestra la disminución de masa que se produce.

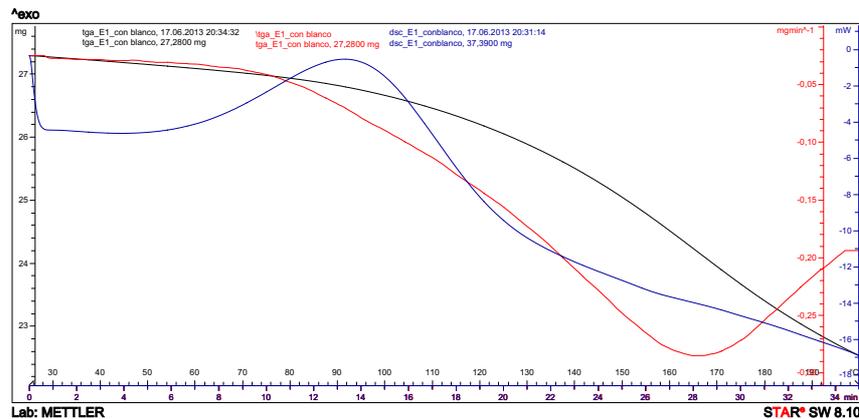


Figura 5.13: Tga y dsc de la muestra resina epoxy y polvo de vidrio (E1)

Para la muestra E1, de epoxy con polvo de vidrio se observa un comportamiento análogo al caso de la resina sola. Tan sólo la reacción se produce antes, en torno a una temperatura de 95°C . Igualmente el curado comienza a una temperatura aproximada de 120°C .

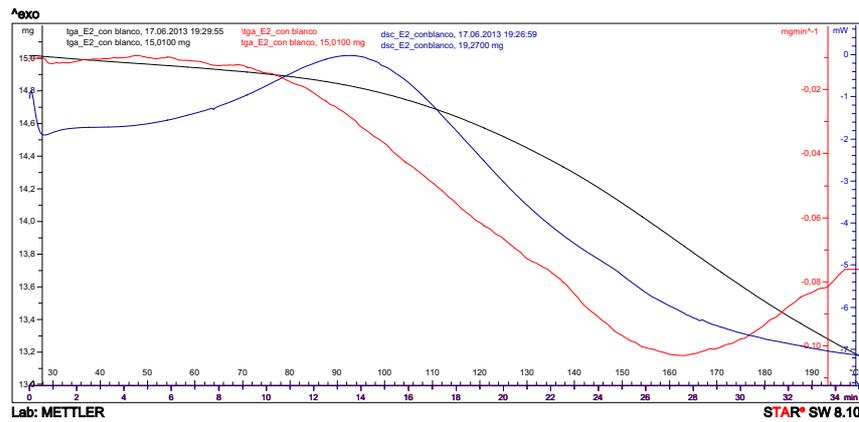


Figura 5.14: Tga y dsc de la muestra resina epoxy y tierra de diatomeas (E2)

Igual ocurre con la muestra E2, en la que la reacción exotérmica se produce a unos $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ al igual que la muestra de polvo de vidrio.

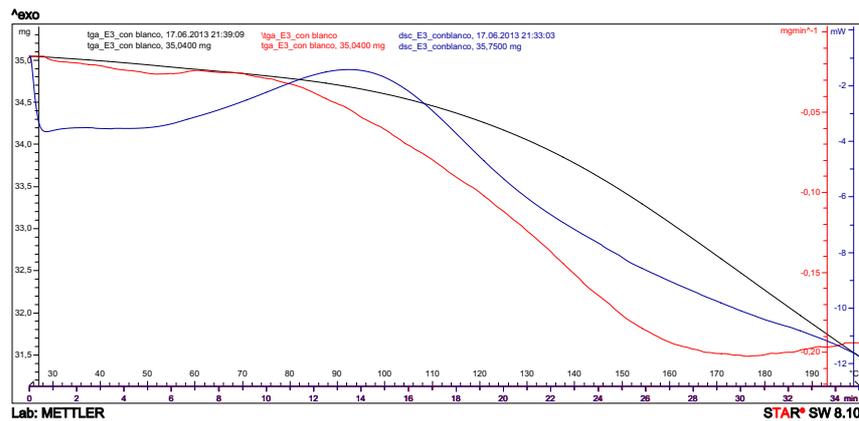


Figura 5.15: Tga y dsc de la muestra resina epoxy y TiO_2 (E3)

La reacción se adelanta un poco respecto al comportamiento mostrado por la resina sola. Al igual que en los anteriores casos, el pico exotérmico se muestra a una temperatura aproximada de $95\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Resina poliéster

Se muestran a continuación las curvas derivadas de la realización de los ensayos térmicos a las muestras formadas por resina poliéster como aglomerante.

Al igual que con la resina epoxy, la primera gráfica se corresponde con la muestra que contiene únicamente resina poliéster, designada P.

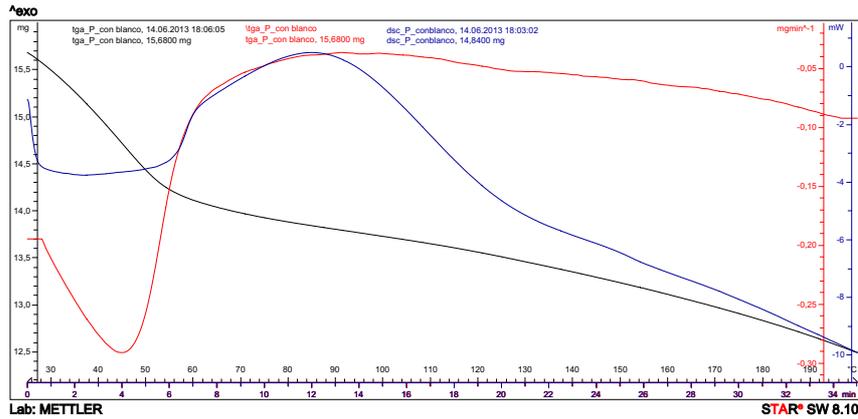


Figura 5.16: Tga y dsc de la muestra resina poliéster (P)

La curva tga muestra los saltos de pérdida de masa que se producen durante el ensayo. Esta pérdida de masa se corresponde con la pérdida por evaporación que sufre la muestra. La curva dsc muestra durante el proceso una reacción exotérmica a unos 80 °C.

Las gráficas que se muestran a continuación pertenecen a la muestra P1, correspondiente a la combinación de resina epoxy con polvo de vidrio. Como se aprecia de las figuras

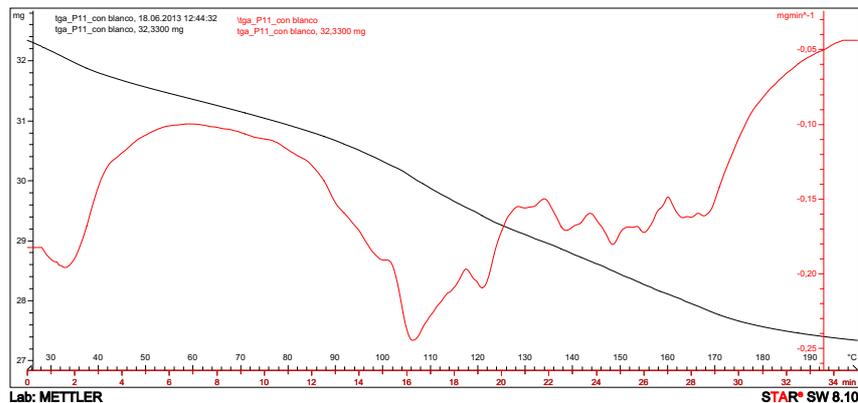


Figura 5.17: Tga de la muestra resina poliéster y polvo de vidrio (P1)

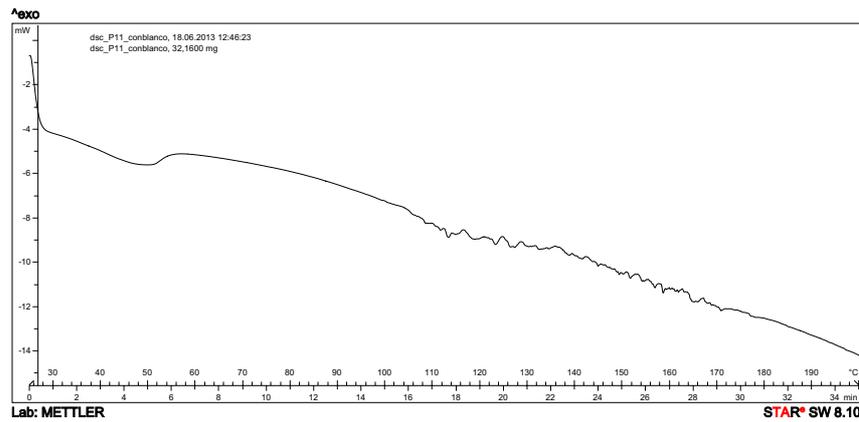


Figura 5.18: Dsc de la muestra resina poliéster y polvo de vidrio (P1)

Como se aprecia de las figuras, se produce un desplazamiento de las curvas, teniéndose la reacción exotérmica a una temperatura de aproximadamente 60°C . En el instante de la reacción es cuando se aprecian mayores velocidades de pérdida de masa.

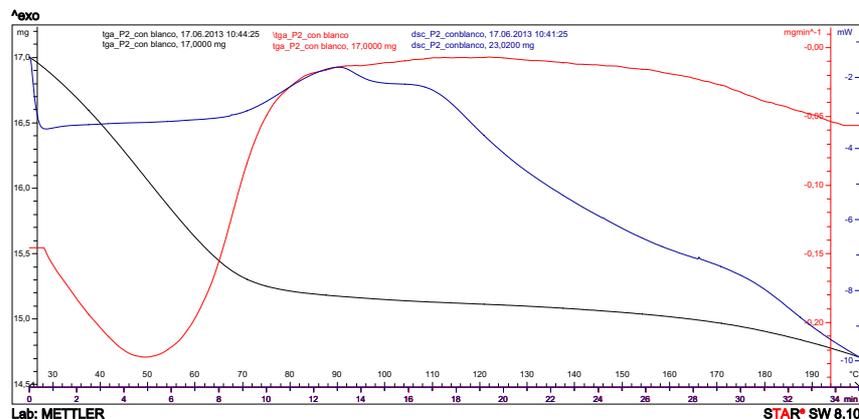


Figura 5.19: Tga y dsc de la muestra resina poliéster y tierra de diatomeas (P3)

En este caso la reacción exotérmica se localiza a la misma temperatura que presenta la resina poliéster analizada sin aditivos. La curva tga representa la pérdida de masa que se tienen durante el proceso, mostrando un escalón significativo en torno a 50°C .

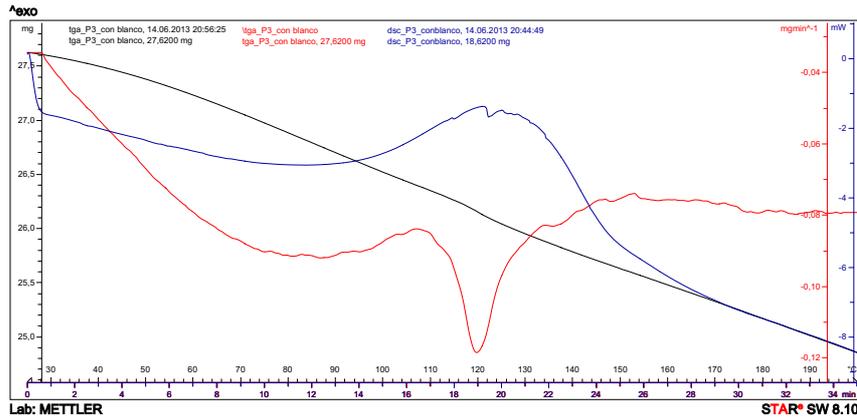


Figura 5.20: Tga y dsc de la muestra resina poliéster y TiO_2 (P3)

En esta ocasión, la muestra formada por resina poliéster y TiO_2 presenta un retraso de la reacción exotérmica que se produce en torno a $125\text{ }^{\circ}C$. La derivada de la curva tga muestra el pico de velocidad de pérdida de masa producido en el momento de la reacción exotérmica.

Emulsión sintética Compodur L.S.P.

La primera gráfica corresponde a los resultados obtenidos tras analizar la resina sola, designada por B.

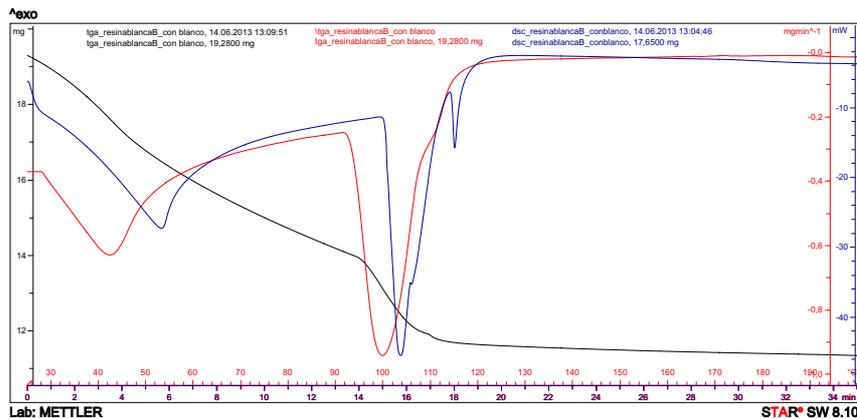


Figura 5.21: Tga y dsc de la muestra de Emulsión sintética Compodur L.S.P. (B)

Mediante la curva tga muestra un salto en la pérdida de masa que sufre la muestra en torno a $100\text{ }^{\circ}C$. La pérdida de masa que se experimenta se debe principalmente a la evaporación del disolvente. Atendiendo a su derivada así como a la curva dsc, se

observan dos reacciones durante el proceso de curado. La curva dsc presenta dos picos endotérmicos a las temperaturas aproximadas de $T_1 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_2 = 105\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A continuación se representan las curvas obtenidas para la resina junto con polvo de vidrio (B1).

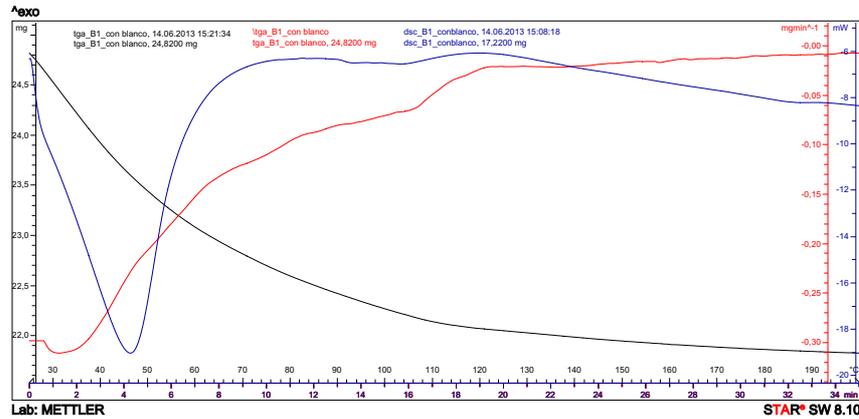


Figura 5.22: Tga y dsc de la muestra de Emulsión sintética Compodur L.S.P. y polvo de vidrio (B1)

En este caso se observa igualmente la pérdida de masa de la muestra conforme se evaporan componentes de la resina. Asimismo, al igual que en el caso anterior, se localizan en la curva dsc dos reacciones endotérmicas, si bien éstas son mucho más atenuadas. Estas reacciones se producen en torno a $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $105\text{ }^{\circ}\text{C}$.

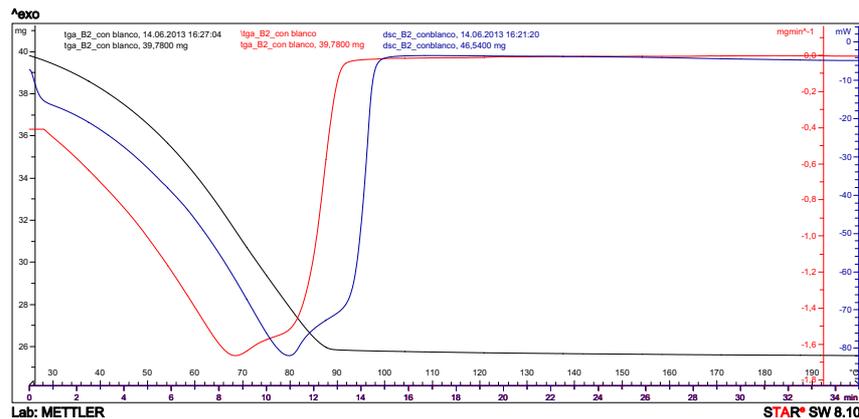


Figura 5.23: Tga y dsc de la muestra de Emulsión sintética Compodur L.S.P. y tierra de diatomeas (B2)

En el caso de la muestra B2, se observa que un desplazamiento de las curvas, observándose en la curva dsc los dos picos correspondientes a las reacciones endotérmicas que tienen lugar durante el proceso de curado. El primer pico se produce a unos $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ y seguidamente, en torno unos $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ la segunda reacción. Además estos picos son mucho

más acusados que en los casos anteriores. El curado se produce mucho antes, siendo insignificantes las variaciones tanto en transferencia de calor como en pérdida de masa que se experimentan a partir de los 100 °C.

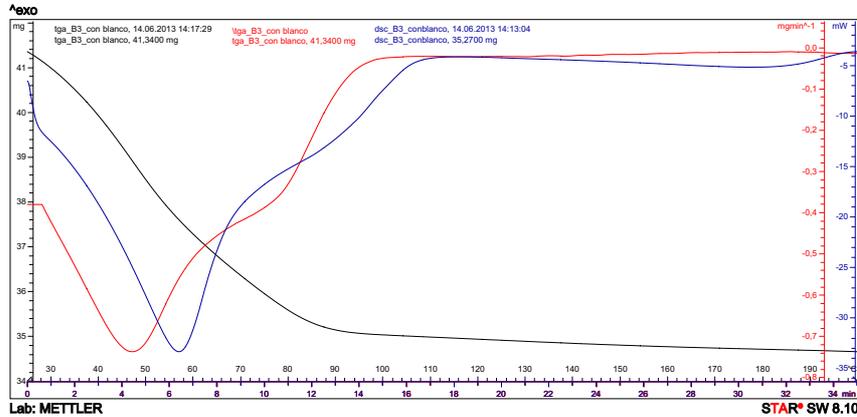


Figura 5.24: Tga y dsc de la muestra de Emulsión sintética Compodur L.S.P. y TiO_2 (B3)

La muestra designada como B3 muestra, al igual que en el caso anterior a partir de los 100 °C las variaciones que se producen son insignificantes, con lo cual el proceso de curado se produce mucho antes. Además las reacciones endotérmicas se producen en torno a 55 °C y 95 °C.

Emulsión KP de TL - 2000

A continuación se muestran los resultados de los ensayos térmicos realizados a las diferentes muestras de Emulsión KP de TL - 2000. La primera gráfica muestra las diferentes curvas resultantes del análisis de la resina sola, K.

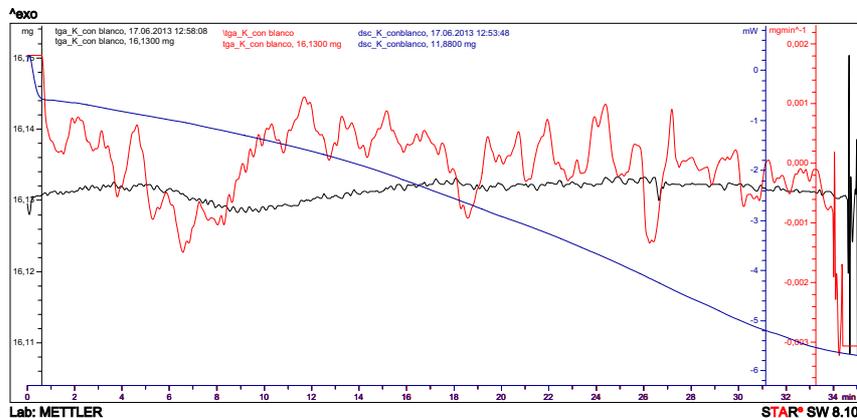


Figura 5.25: Tga y dsc de la muestra de Emulsión KP de TL - 2000 (K)

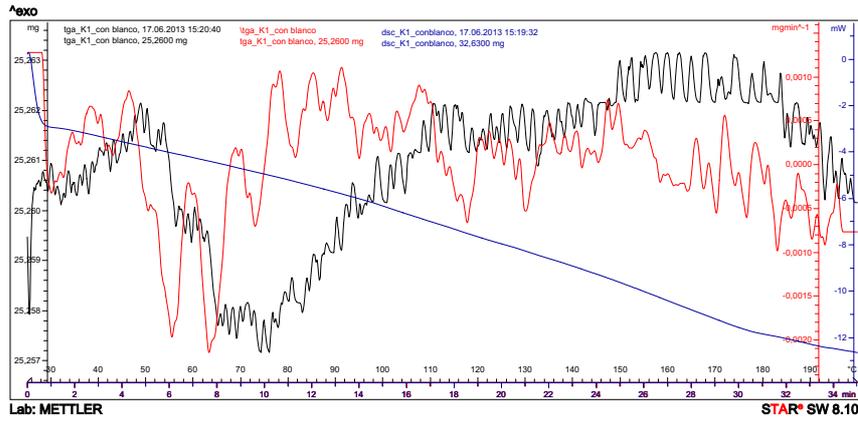


Figura 5.26: Tga y dsc de la muestra de Emulsión KP de TL - 2000 y polvo de vidrio (K1)

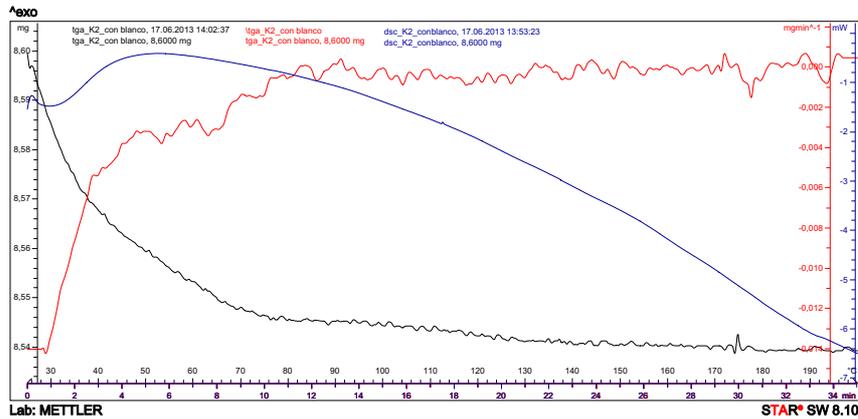


Figura 5.27: Tga y dsc de la muestra de Emulsión KP de TL - 2000 y tierra de diatomeas (K2)

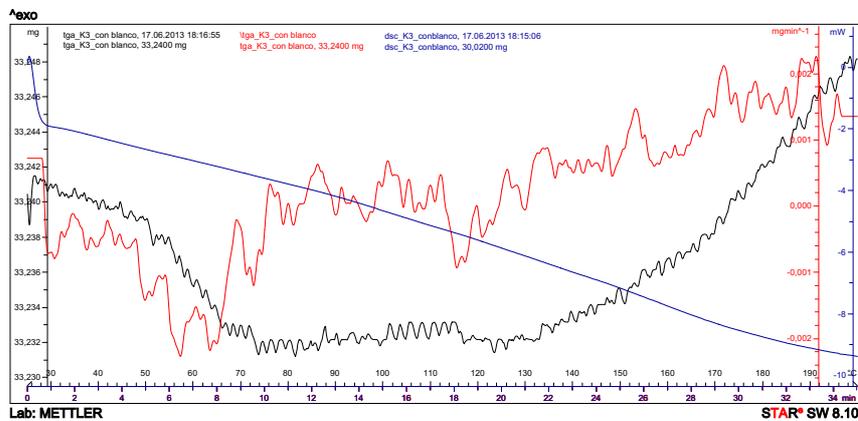


Figura 5.28: Tga y dsc de la muestra de Emulsión KP de TL - 2000 y TiO_2 (K3)

Como se aprecia de las anteriores gráficas, en las curvas no se muestran unos resulta-

dos fiables. En ellas se observa ruido, además, atendiendo a la escala, las variaciones son totalmente despreciables. Por otro lado, la curva dsc no muestra ningún tipo de reacción. Esto es debido al tipo de resina, pues las uniones se llevan a cabo mediante fuerzas de Van der Waals, que no pueden identificarse mediante estos ensayos. Es por ello que para este tipo de resina los ensayos no tienen ninguna validez.