

Análisis de los datos obtenidos en el proyecto titulado *Trabajos de conservación del Patrimonio Histórico en Piedra Natural*

## 1 Análisis de los datos correspondientes a los informes de laboratorio 08/208 y 07/0257<sup>1</sup>.

En estos dos informes<sup>2</sup> se presentan los resultados correspondientes al estudio de seis variedades de piedra sometidas a ensayos de hielo deshielo, para evaluar tanto la variación de la velocidad de propagación del sonido, como la variación de la resistencia a la compresión simple, es decir, la variación de capacidad mecánica frente a la heladicidad del material.

En todas las variedades se realizó el ensayo de resistencia a compresión simple de manera doble: con las probetas secadas hasta masa constante y con las probetas saturadas en agua (durante un mínimo de 48 horas).

El ensayo de resistencia a la compresión se ha realizado según la norma UNE-EN 1926:1999, vigente en el momento de la planificación de los ensayos. Actualmente esta norma ha sido anulada y sustituida por la UNE-EN 1926:2007.

### 1.1 Tratamiento de los datos<sup>3</sup>.

Como resultado de los ensayos obtenemos, para cada variedad de piedra, cuatro grupos de datos de velocidad de propagación del sonido y resistencia a la compresión: antes de la heladicidad en seco y en húmedo (denominados en adelante con las siglas Sah y Hah) y después de la heladicidad en seco y en húmedo (denominados en adelante con las siglas Sdh y Hdh).

Para cada uno de estos grupos se ha calculado el valor medio ( $m$ ), la desviación típica ( $s$ ) y el coeficiente de variación ( $c$ ) en porcentaje.

Para eliminar posibles valores aberrantes, se ha utilizado el criterio de rechazo conocido como Test  $T_n$  propuesto por la American Society for Testing Material (ASTM)<sup>4</sup>, para un nivel de confianza del 95%. Este Test se ha aplicado tanto a los valores de resistencia a la compresión, como a los valores de velocidad de propagación del sonido.

En aquellos casos en los que se han detectado valores discrepantes, las probetas se han clasificado como anómalas, y se ha procedido a eliminar todos los valores asociados a dicha probeta, y a volver a calcular los parámetros estadísticos básicos.

Así mismo también se han realizado estudios de correlación lineal por el método de mínimos cuadrados, para evaluar la posible correlación entre la velocidad de propagación del sonido y la resistencia a la compresión.

A continuación se exponen los resultados obtenidos para cada una de las muestras, manteniendo la denominación indicada por la Universidad de Salamanca.

---

<sup>1</sup> Este informe es anterior a la firma del convenio de colaboración, pero se incluye en esta memoria porque en él se ensayaron las mismas variedades de piedra antes de someterlas a ensayos de alteración.

<sup>2</sup> Incluidos en el Anexo II de la presente memoria.

<sup>3</sup> Todos los cálculos aquí indicados se encuentran recogidos en el Anexo I de la presente memoria

<sup>4</sup> Del libro *Fundamentos de Química Analítica* D.A. Skoog, D.M. West. Editorial Reverté.

1.2 Muestra VG (Villamayor Gruesa).

		Antes de la heladicidad			Después de la heladicidad		
Seco	RC (MPa)	m	s	c (%)	m	s	c (%)
		14.68	2.15	15	12.11	5.14	42
Húmedo	V (km/s)	m	s	c (%)	m	s	c (%)
		1.97	0.03	1	1.56	0.19	12
Húmedo	RC (MPa)	m	s	c (%)	m	s	c (%)
		1.81	0.61	34	2.09	0.37	18
Húmedo	V (km/s)	m	s	c (%)	m	s	c (%)
		1.97	0.04	2	1.53	0.07	5

Tabla 1

Según la clasificación del ISRM (1981)<sup>5</sup>, en el caso de las probetas saturadas estaríamos ante rocas **muy blandas** (muy próximas a los suelos), y en el caso de probetas secas ante rocas clasificadas como **blandas**.

Si suponemos que los resultados siguen una distribución normal, podemos considerar con un 95% de probabilidad, que el resultado esperado para la RC estará incluido en el intervalo  $m \pm 2s$ , lo que gráficamente se puede expresar como:

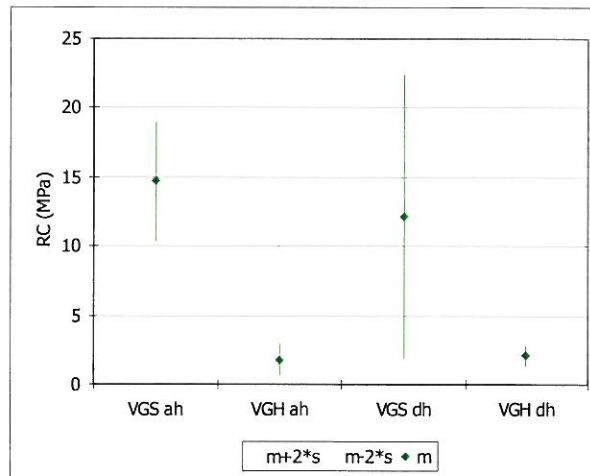


Gráfico 1

Los coeficientes de variación obtenidos son bastante altos especialmente en el caso de VGSdh. Si aplicamos el criterio de rechazo antes expuesto a los cuatro grupos de datos, sólo se eliminan dos valores; uno la muestra VGS ah y otro en la VGH ah, lo que provoca una mejora en los coeficientes de variación, pasando de 15% a 7% en el primer caso y de 34% a 17% en el segundo.

		Antes de la heladicidad	
Seco	RC (MPa)	m	13.87
	V (km/s)	m	1.96
Húmedo	RC (MPa)	m	1.58
	V (km/s)	m	1.96

Tabla 2

<sup>5</sup> Clasificación extraída del libro *ingeniería Geológica*. Glez de Vallejo. Ed. Prentice Hall.

Sin embargo, dicho test, no elimina ningún resultado en la muestra VGSdh, que es la que presenta un valor de  $c$  extremadamente alto. Esto es debido a que los valores se agrupan en entorno a dos valores medios muy alejados, por lo que el test no distingue diferencias significativas de cada valor con la media global.

Como los valores de velocidad de propagación del sonido también presentan valores con un alto coeficiente de variación, hemos de atribuir esta dispersión de resultados a la muestra, y no a un posible error en la realización del ensayo. Parece evidente que el ensayo de alterabilidad no ha afectado a todas las probetas por igual.

En cuanto a los valores de RC en húmedo, son tan bajos, que casi podrían considerarse similares, ya que los valores de carga de rotura obtenidos están por debajo del 20% del fondo de escala de la prensa empleada. De esta manera se explica que se haya obtenido un aumento de RC en vez de una disminución.<sup>6</sup>

Como podemos observar, los valores de resistencia a compresión en húmedo son significativamente mucho más bajos que los valores de compresión en seco. Una vez eliminados los valores discrepantes se obtiene una diferencia antes de la heladicidad del 89% y después de la heladicidad del 83%.

De los resultados obtenidos en la Tabla 2 se deducen las siguientes cifras de variación<sup>7</sup> de capacidad mecánica % respecto a la medida inicial:

En seco		En húmedo	
RC (MPa)	V (km/s)	RC (MPa)	V (km/s)
<b>12.75</b>	20.57	<b>-31.90</b>	21.93

Tabla 3

Sólo consideraremos válido el resultado obtenido en seco.

El gráfico 1 queda modificado como:

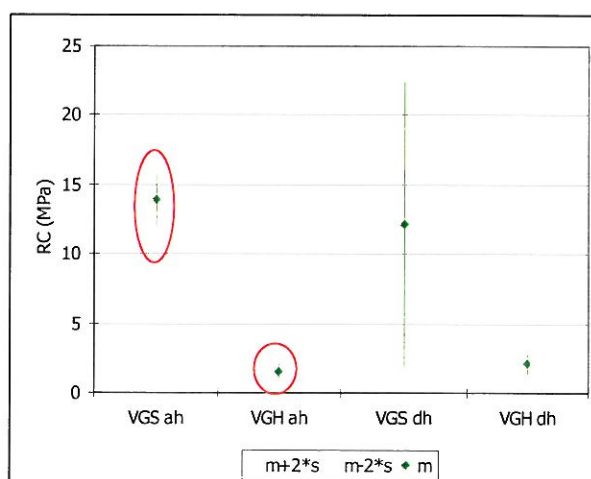
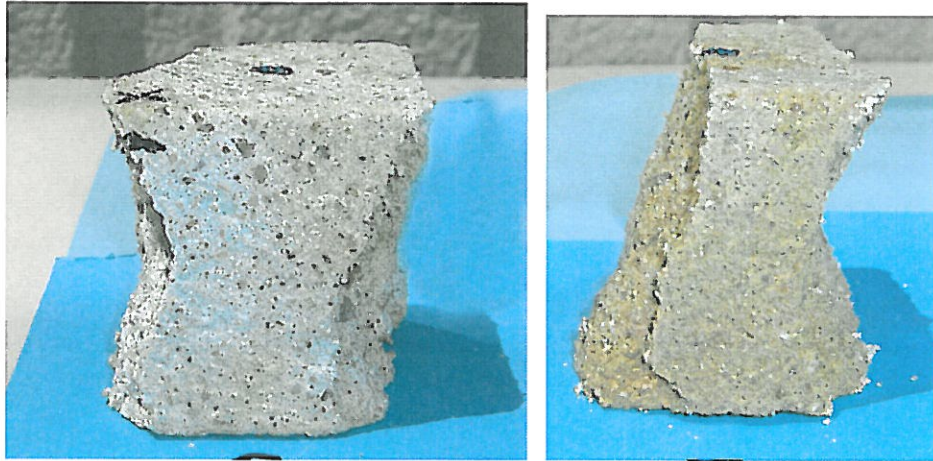


Gráfico 2

A continuación se muestran fotografías de algunas de las probetas para ilustrar los modelos de rotura:

<sup>6</sup> Para futuros ensayos este tipo de muestras deben romperse en una prensa de capacidad más pequeña.

<sup>7</sup> El valor positivo indica disminución de la variable y el valor negativo aumento de la variable



Fotografía 1. VGH ah (probetas 8 y 9)



Fotografía 2. VGS dh (probetas 3 y 6)

### 1.2.1 Conclusiones generales extrapolables a todas las muestras.

Del análisis de los resultados obtenidos para la velocidad de propagación del sonido, podemos deducir que es una técnica mucho más robusta que la RC, ya que obtiene unos coeficientes de variación mucho más pequeños, que permiten comparar mejor los valores medios finales para calcular la pérdida de capacidad mecánica.

Otro factor que ha contribuido a la alta dispersión de resultados en las muestras ensayadas después de la heladicidad, es el hecho de que las probetas no se sometieron a ningún proceso de refrentado, por lo que la planitud de las bases excedía los valores máximos contemplados en la norma<sup>8</sup>.

En cuanto a la correlación entre RC y velocidad de propagación del sonido, para todas las muestras, podemos concluir que, en el caso de las muestras secas, la correlación es moderada, no superando nunca el  $R^2=0.8$ ; y en el caso de las muestras en húmedo es prácticamente inexistente, con unos coeficientes  $<0.1$ .

<sup>8</sup> Valores recogidos en los informes del Anexo I.

1.3 Muestra VF (Villamayor Fina).

Antes de la heladicidad				Después de la heladicidad			
Seco	RC (MPa)	m	s	c (%)	m	s	c (%)
		<b>37.01</b>	9.47	26	<b>39.10</b>	15.49	40
	V (km/s)	m	s	c (%)	m	S	c (%)
		1.89	0.02	1	1.88	0.08	4
Húmedo	RC (MPa)	m	s	c (%)	m	s	c (%)
		<b>9.57</b>	1.28	13	<b>5.82</b>	0.82	14
	V (km/s)	m	s	c (%)	m	s	c (%)
		1.92	0.03	1	1.80	0.07	4

Tabla 4

Según la clasificación del ISRM (1981), en el caso de las muestras saturadas estaríamos ante rocas clasificadas como **blandas** y en le segundo ante rocas clasificadas como **moderadamente duras**.

Si suponemos que los resultados siguen una distribución normal, podemos considerar con un 95% de probabilidad, que el resultado esperado para la RC estará incluido en el intervalo  $m \pm 2s$ , lo que gráficamente se puede expresar como:

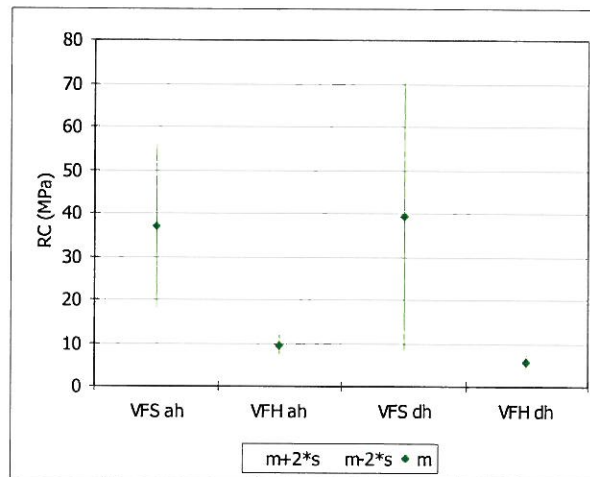


Gráfico 3

Al igual que en el caso anterior, el coeficiente de variación de la muestra VFS dh es muy elevado y el Test  $T_n$  no elimina ningún valor aberrante, porque los valores de RC se agrupan entorno a dos valores medios muy diferentes entre si.

En esta muestra, se procede a eliminar un valor perteneciente al grupo VFS ah, que presenta un valor de  $T_n$  muy próximo al valor tabulado, ya que su eliminación permite mejorar considerablemente el coeficiente de variación, pasando de 26% a 18%.

Antes de la heladicidad		
Seco	RC (MPa)	m
		<b>39.83</b>
	V (km/s)	m
		1.9

Tabla 5

De los resultados obtenidos en la Tabla 4 se deducen las siguientes cifras de variación de capacidad mecánica en % respecto a la medida inicial:

En seco		En húmedo	
RC (MPa)	V (km/s)	RC (MPa)	V (km/s)
<b>1.85</b>	0.88	39.17	6.26

Tabla 6

En cuanto a las muestras saturadas, en este caso, se obtienen coeficientes de variación aceptables, siendo importante destacar la buena correlación que existe en la muestra VFH dh entre la velocidad de propagación y la RC.

Una vez eliminados los valores aberrantes, la diferencia entre la resistencia a compresión en seco y en húmedo, antes y después de la heladicidad es de 76% y 85% respectivamente.

El gráfico nº 3 se modifica para quedar de la siguiente manera:

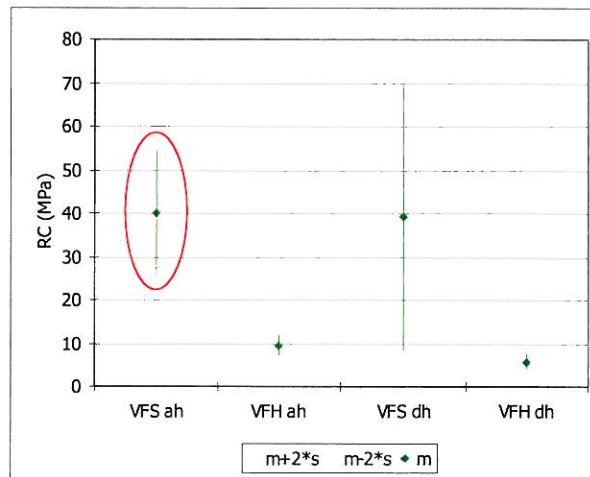
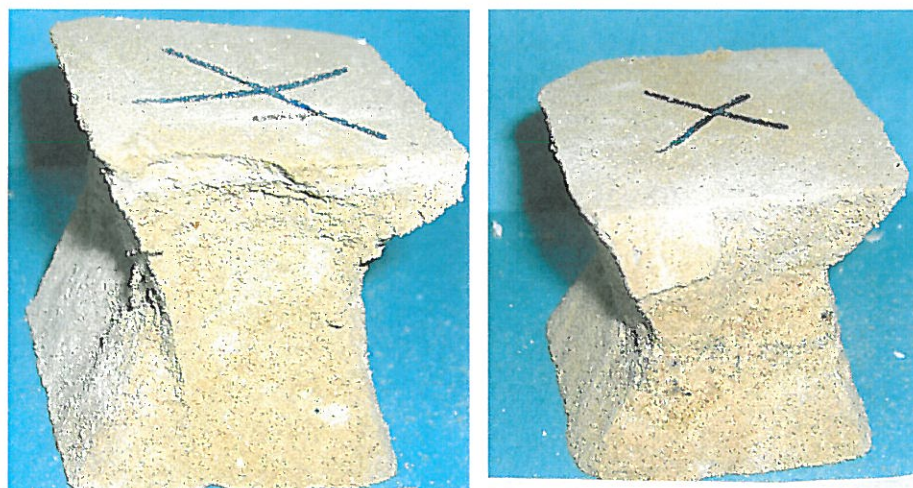


Gráfico 4

A continuación se muestran fotografías de algunas de las probetas para ilustrar los modelos de rotura:



Fotografía 3. VFH ah (probetas 12 y 9)



Fotografía 4. VFH dh (probetas 22 y 24)

1.4 Muestra TO

		Antes de la heladicidad			Después de la heladicidad		
Seco	RC (MPa)	m	s	c (%)	m	s	c (%)
		43.65	6.08	14	33.64	10.69	32
	V (km/s)	m	s	c (%)	m	s	c (%)
		3.04	0.03	1	2.77	0.20	7
Húmedo	RC (MPa)	m	s	c (%)	m	s	c (%)
		24.61	2.05	8	22.57	7.02	31
	V (km/s)	m	s	c (%)	m	s	c (%)
		3.09	0.05	2	2.98	0.19	6

Tabla 7

Según la clasificación del ISRM (1981), podemos considerar que los resultados nos clasifican la muestra como **moderadamente dura**.

Si suponemos que los resultados siguen una distribución normal, podemos considerar con un 95% de probabilidad, que el resultado esperado para la RC estará incluido en el intervalo  $m \pm 2s$ , lo que gráficamente se puede expresar como:

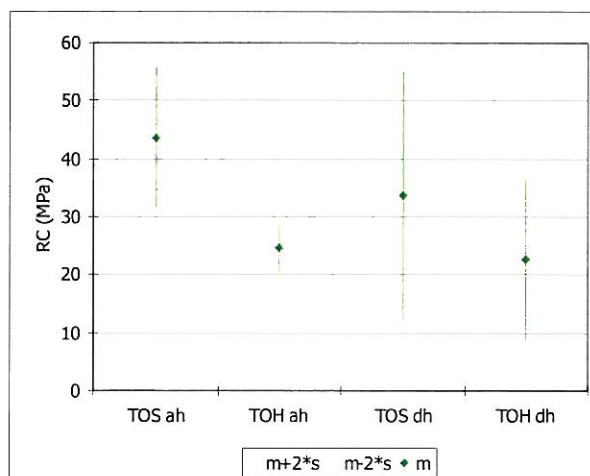


Gráfico 5

El Test Tn, detecta un valor de velocidad de propagación del sonido significativamente discrepante en el grupo de datos TOS ah, pero su eliminación no supone ninguna mejora en el



coeficiente  $c$  de la resistencia a compresión, ni cambios apreciables en el cálculo de la variación en % de la resistencia; por lo que se decide no eliminar el valor.

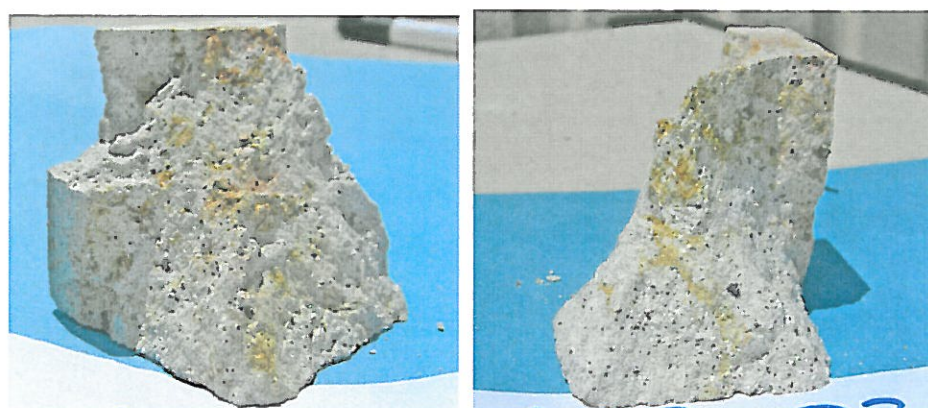
De los resultados obtenidos en la Tabla 7 se deducen las siguientes cifras de variación de capacidad mecánica en % respecto a la medida inicial:

En seco		En húmedo	
RC (MPa)	V (km/s)	RC (MPa)	V (km/s)
<b>22.94</b>	8.94	<b>8.30</b>	3.49

Tabla 8

La diferencia entre la resistencia a compresión en seco y en húmedo, antes y después de la heladicidad es de 44% y 33% respectivamente.

A continuación se muestran fotografías de algunas de las probetas para ilustrar los modelos de rotura:



Fotografía 5. TOH ah (probetas 8 y 12)



Fotografía 6. TOS dh (probetas 25 y 28)

### 1.5 Muestra TG.

		Antes de la heladicidad			Después de la heladicidad		
Seco	RC (MPa)	m	s	c (%)	m	s	c (%)
		<b>108.48</b>	25.28	23	<b>109.92</b>	25.37	23
Húmedo	V (km/s)	m	s	c (%)	m	s	c (%)
		4.28	0.18	4	3.94	0.18	5
Húmedo	RC (MPa)	m	s	c (%)	m	s	c (%)
		<b>68.69</b>	16.84	25	<b>60.02</b>	14.59	24
Húmedo	V (km/s)	m	s	c (%)	m	s	c (%)
		4.21	0.15	4	3.99	0.11	3

Tabla 9

Según la clasificación del ISRM (1981), podemos considerar que los resultados nos clasifican la muestra como **dura**, en el caso de las muestras saturadas, y **muy dura**, en el caso de las muestras secas.

Si suponemos que los resultados siguen una distribución normal, podemos considerar con un 95% de probabilidad, que el resultado esperado para la RC estará incluido en el intervalo  $m \pm 2s$ , lo que gráficamente se puede expresar como:

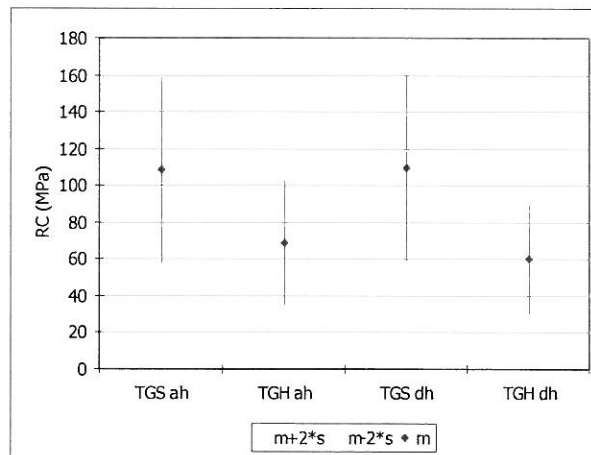


Gráfico 6

El Test Tn, detecta un valor significativamente discrepante en el grupo de datos TGS ah, por lo que los valores medios recalculados de este grupo son:

Antes de la heladicidad		
Seco	RC (MPa)	m
		<b>115.33</b>
	V (km/s)	m
		4.35

Tabla 10

El coeficiente c de la resistencia a compresión varía, por la eliminación de este valor, de 23% a un 18%.

De los resultados obtenidos en la Tabla 10 se deducen las siguientes cifras de variación de capacidad mecánica en % respecto a la medida inicial:

En seco		En húmedo	
RC (MPa)	V (km/s)	RC (MPa)	V (km/s)
<b>4.68</b>	9.50	<b>12.62</b>	5.19

Tabla 11

Una vez eliminados los valores aberrantes, la diferencia entre la resistencia a compresión en seco y en húmedo, antes y después de la heladicidad es de 40% y 45% respectivamente.

El Gráfico 7 queda modificado como:

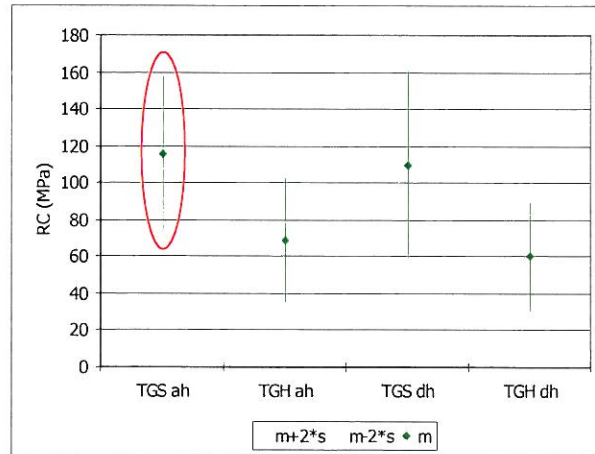
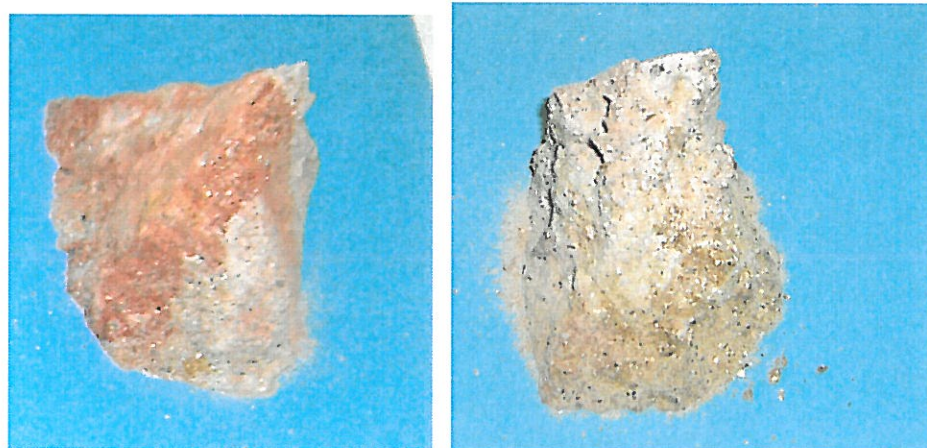


Gráfico 7

A continuación se muestran fotografías de algunas de las probetas para ilustrar los modelos de rotura:



Fotografía 7. TGH ah (probetas 8 y 10)



Fotografía 8. TGH dh (probetas 43 y 45)

1.6 Muestra Z1.

		Antes de la heladicidad			Después de la heladicidad		
Seco	RC (MPa)	m	s	c (%)	m	s	c (%)
		54.36	5.87	11	47.97	8.38	17
	V (km/s)	m	s	c (%)	m	s	c (%)
		3.63	0.06	2	2.88	0.22	8
Húmedo	RC (MPa)	m	s	c (%)	m	s	c (%)
		37.24	6.36	17	39.56	19.20	49
	V (km/s)	m	s	c (%)	m	s	c (%)
		3.56	0.05	1	2.79	0.38	14

Tabla 12

Según la clasificación del ISRM (1981), podemos considerar que los resultados nos clasifican la muestra como **moderadamente dura**.

Si suponemos que los resultados siguen una distribución normal, podemos considerar con un 95% de probabilidad, que el resultado esperado para la RC estará incluido en el intervalo  $m \pm 2s$ , lo que gráficamente se puede expresar como:

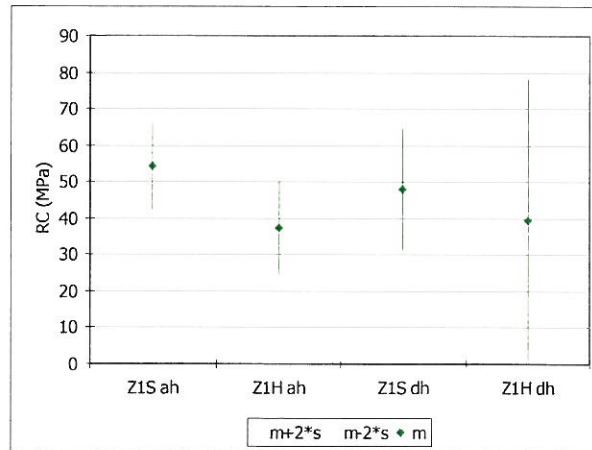


Gráfico 8

El Test Tn, detecta un valor significativamente discrepante en el grupo de datos Z1S ah, y otro en el grupo Z1H dh, por lo que los valores medios recalculados de estos grupos son:

		Antes de la heladicidad		Después de la heladicidad	
Seco	RC (MPa)	m	55.77		
	V (km/s)	m	3.61		
Húmedo	RC (MPa)			m	
				31.84	
	V (km/s)			m	
				2.79	

Tabla 13

Esta eliminación provoca una gran mejoría en el coeficiente c de la resistencia a compresión del grupo Z1H ah, pasando de un 49% a un 12%.

De los resultados obtenidos en la Tabla 13 se deducen las siguientes cifras de variación de capacidad mecánica en % respecto a la medida inicial.

En seco		En húmedo	
RC (MPa)	V (km/s)	RC (MPa)	V (km/s)
<b>13.98</b>	20.51	<b>14.49</b>	21.60

Tabla 14

Una vez eliminados los valores aberrantes, la diferencia entre la resistencia a compresión en seco y en húmedo, antes y después de la heladicidad es de 33% y 34% respectivamente

El gráfico 9 se modifica como sigue:

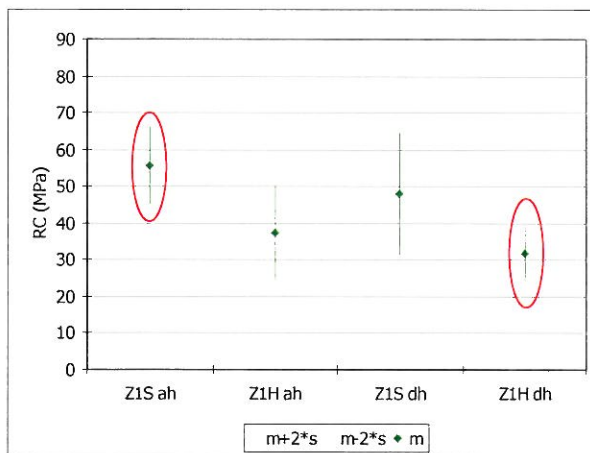
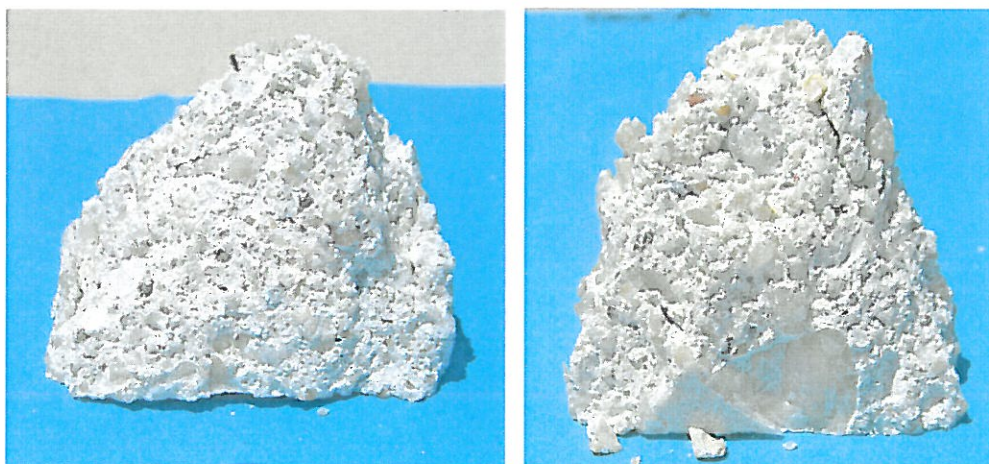
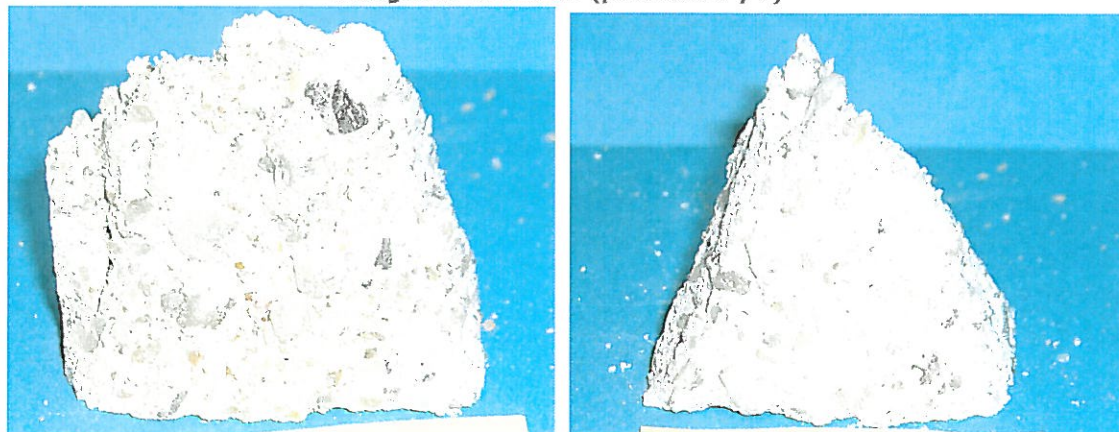


Gráfico 9

A continuación se muestran fotografías de algunas de las probetas para ilustrar los modelos de rotura:



Fotografía 9. Z1S ah (probetas 3 y 6)



Fotografía 10. Z1S dh (probetas 49 y 51)

1.7 Muestra Z2.

Antes de la heladicidad				Después de la heladicidad			
Seco	RC (MPa)	m	s	c (%)	m	s	c (%)
		<b>86.92</b>	14.42	17	<b>59.45</b>	14.01	24
	V (km/s)	m	s	c (%)	m	s	C (%)
		4.51	0.06	1	3.43	0.43	13
Húmedo	RC (MPa)	m	s	c (%)	m	s	c (%)
		<b>78.04</b>	7.76	10	<b>48.44</b>	12.43	26
	V (km/s)	m	s	c (%)	m	s	c (%)
		4.45	0.10	2	3.99	0.14	3

Tabla 15

Según la clasificación del ISRM (1981), podemos considerar que los resultados nos clasifican la muestra como **dura**.

Si suponemos que los resultados siguen una distribución normal, podemos considerar con un 95% de probabilidad, que el resultado esperado para la RC estará incluido en el intervalo  $m \pm 2s$ , lo que gráficamente se puede expresar como:

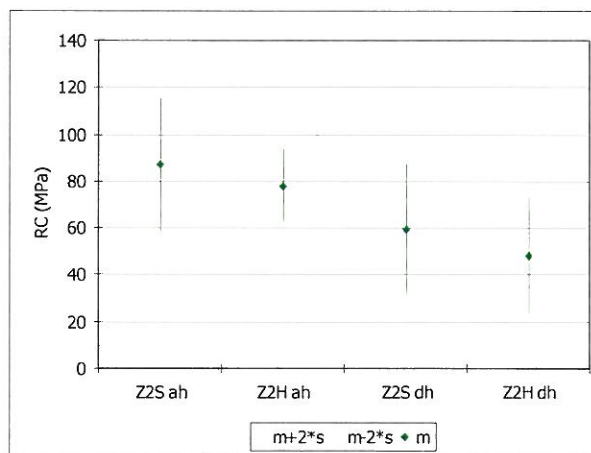


Gráfico 10

El Test Tn, detecta un valor de velocidad de propagación del sonido significativamente discrepante en el grupo de datos Z2S ah; sin embargo su eliminación no mejora los resultados, por lo que se opta por dejar este valor.

De los resultados obtenidos en la Tabla 15 se deducen las siguientes cifras de variación de capacidad mecánica en % respecto a la medida inicial.

En seco		En húmedo	
RC (MPa)	V (km/s)	RC (MPa)	V (km/s)
<b>31.60</b>	23.51	<b>37.93</b>	10.41

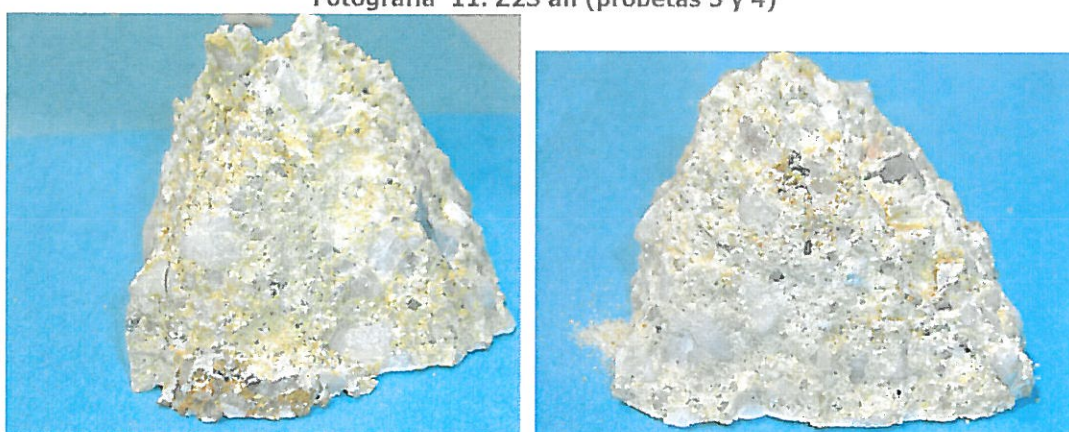
Tabla 16

la diferencia entre la resistencia a compresión en seco y en húmedo, antes y después de la heladicidad es de 12% y 19% respectivamente

A continuación se muestran fotografías de algunas de las probetas para ilustrar los modelos de rotura:



Fotografía 11. Z2S ah (probetas 3 y 4)



Fotografía 12. Z2H ah (probetas 10 y 11)

### 1.8 Recomendaciones.

Para futuros trabajos con este tipo de muestras es necesario ampliar el muestreo y obtener al menos 15 probetas por muestra, para poder obtener unos valores mejores de desviación típica que permitan aplicar de forma más exhaustiva los criterios estadísticos de rechazo.

Así mismo, en probetas con tamaño de grano grueso, se deberán cortar cubos de 7 cm de arista en vez de 5 cm, para minimizar el efecto que esta heterogeneidad textural tiene en la dispersión.

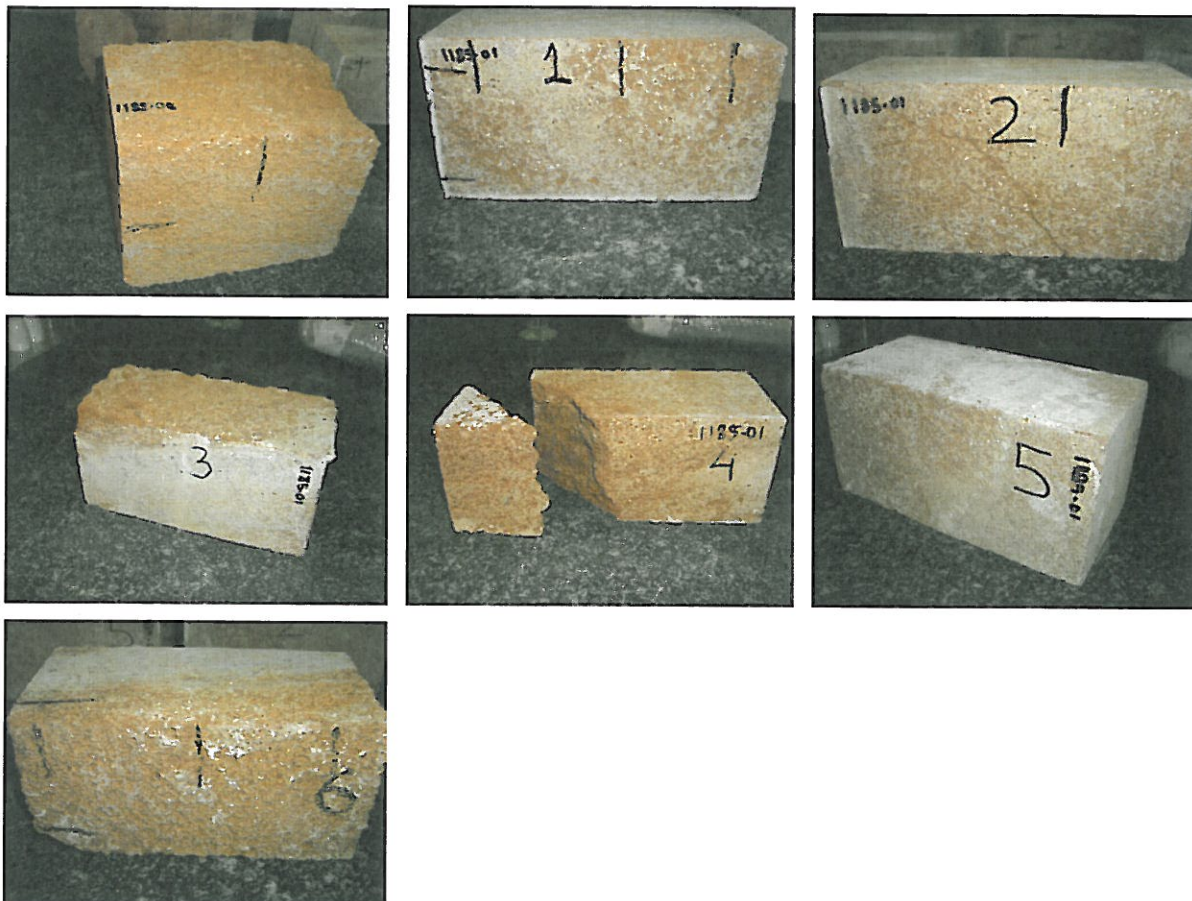
En aquellas muestras de poca cohesión, y por tanto baja resistencia, se deberá estudiar la posibilidad de romper las probetas a velocidades de carga inferiores a las establecidas en la norma, para poder registrar mejor la curva de rotura.

En aquellas muestras que sean sometidas a procesos de alteración, y que no puedan ser posteriormente refrentadas para acondicionar la planitud y rugosidad de las bases de apoyo, se deberá estudiar la posibilidad de aplicar cemento para obtener unas bases de apoyo que cumplan con los requisitos establecidos en la norma, para de ese modo minimizar la dispersión de los resultados, ya que es una constante que los coeficientes de variación de las muestras después de la heladicidad son mayores que antes de dicho ensayo.

Para mejorar la correlación entre la velocidad y la resistencia a la compresión en aquellas muestras que son muy porosas, se deberá evaluar la posibilidad de utilizar otros medios de transmisión de la señal que no sean el gel empleado, y que mejoren la estabilidad y repetibilidad de la señal.

## 2 Informe de laboratorio 08/0208.

En este informe también se caracteriza dos muestras de calcarenita que fueron recepcionadas en varios bloques, como puede apreciarse en la siguiente fotografía:



Fotografía 13

Los bloques mostrados en la fotografía nº 13 se sanearon y se cortaron el mayor número de probetas posibles. El primero de los bloques constituye una muestra, identificada como *Calcarenita Carmona 2*, y el resto de los bloques constituyen la muestra *Calcarenita Carmona*.

De cada muestra se seleccionaron 12 probetas, y el resto de probetas conseguidas fueron enviadas a la Universidad de Salamanca para la realización de ensayos de alteración. De visu, se determinó la posición de los planos de anisotropía, rompiendo seis probetas en la dirección perpendicular a los planos de anisotropía, y seis en la paralela.

El problema es que, debido a la baja carga de rotura, algunas probetas rompieron en el proceso de precarga, por lo que sus datos no han podido ser tenidos en cuenta.

Se determinó la velocidad de propagación del sonido en la dirección de aplicación de la carga. En cuanto al tratamiento de los datos, se ha seguido el método expuesto en el apartado 1.1. El análisis de los resultados obtenidos se muestra a continuación<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Los resultados se recogen en el Anexol.



2.1 **Calcarenita Carmona.**

Dirección	m (MPa)	s (MPa)	c (%)	m (km/s)	s (km/s)	c (%)
Perpendicular	47.03	28.11	60	4.48	0.64	14
Paralela	34.70	27.36	79	3.76	0.99	26
Diferencia (%)	26			16		

Tabla 17

Aplicando el Test  $T_n$  se elimina un valor en la dirección paralela. La eliminación de este valor permite mejorar el coeficiente c que pasa de 79% a 48%, por lo que los resultados finales se muestran en la tabla 18.

Dirección	m (MPa)	s (MPa)	c (%)	m (km/s)	s (km/s)	c (%)
Perpendicular	47.03	28.11	60	4.48	0.64	14
Paralela	23.24	11.05	48	3.51	0.93	27
Diferencia (%)	51			22		

Tabla 18

Según la clasificación del ISRM (1981), podemos considerar que los resultados nos clasifican la muestra como **blanda** en la dirección paralela y como **moderadamente dura** en la dirección perpendicular.

La correlación entre la resistencia a la compresión y la velocidad de propagación del sonido se muestra en el gráfico 11.

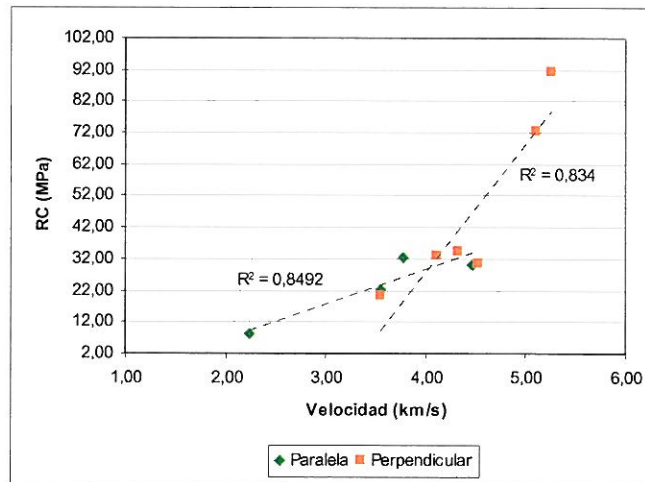
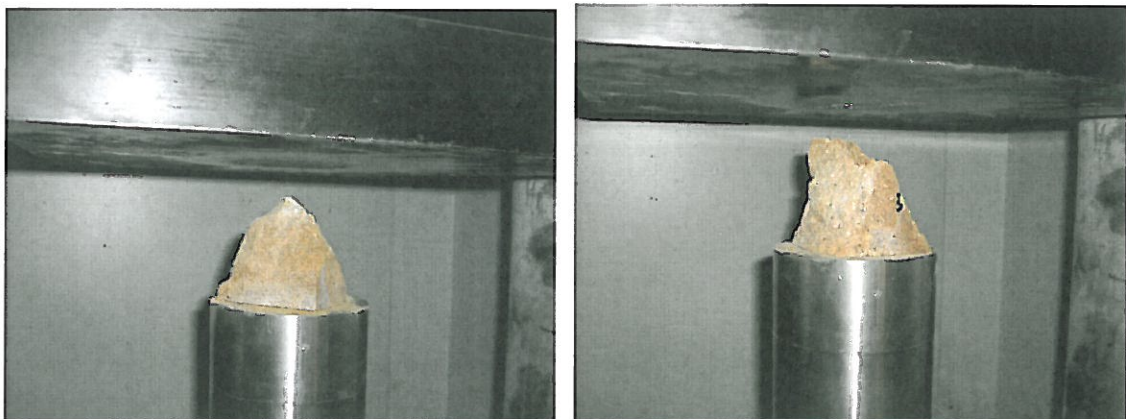
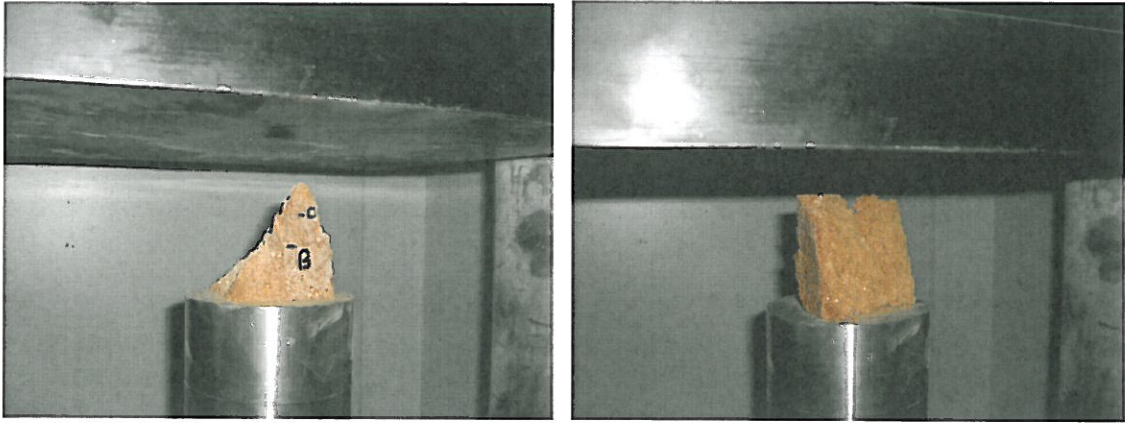


Gráfico 11

En la fotografía 14 se muestran algunos ejemplos de rotura.





Fotografía 14. Probetas 1ª, 1B, 5B y 6A.

2.2 Calcarenita Carmona 2.

Dirección	m (MPa)	s (MPa)	c (%)	m (km/s)	s (km/s)	c (%)
Perpendicular	4.11	0.72	18	2.35	0.52	22
Paralela	2.94	0.15	5	1.54	0.17	11
Diferencia (%)	28			35		

Tabla 19

Aplicando el Test  $T_n$  se elimina un valor en la dirección paralela. La eliminación de este valor permite mejorar el coeficiente c que pasa de 18% a 3%, por lo que los resultados finales se muestran en la tabla 20.

Dirección	m (MPa)	s (MPa)	c (%)	m (km/s)	s (km/s)	c (%)
Perpendicular	4.46	0.12	3	2.30	0.62	27
Paralela	2.94	0.15	5	1.54	0.17	11
Diferencia (%)	34			33		

Tabla 20

Según la clasificación del ISRM (1981), podemos considerar que los resultados nos clasifican la muestra, en ambos casos, como **muy blanda**.

La correlación entre la resistencia a la compresión y la velocidad de propagación del sonido se muestra en el gráfico 12.

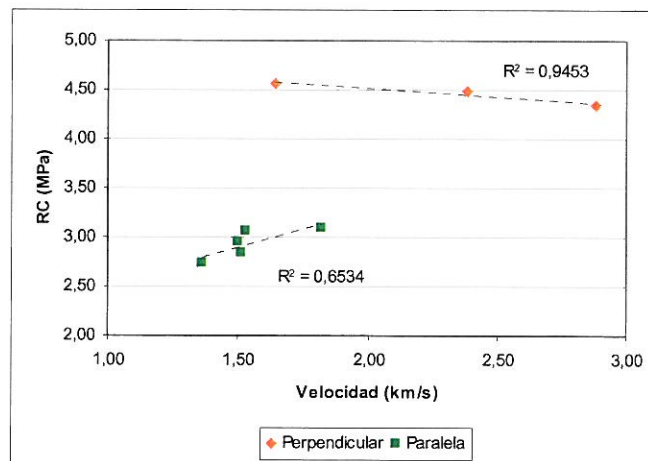
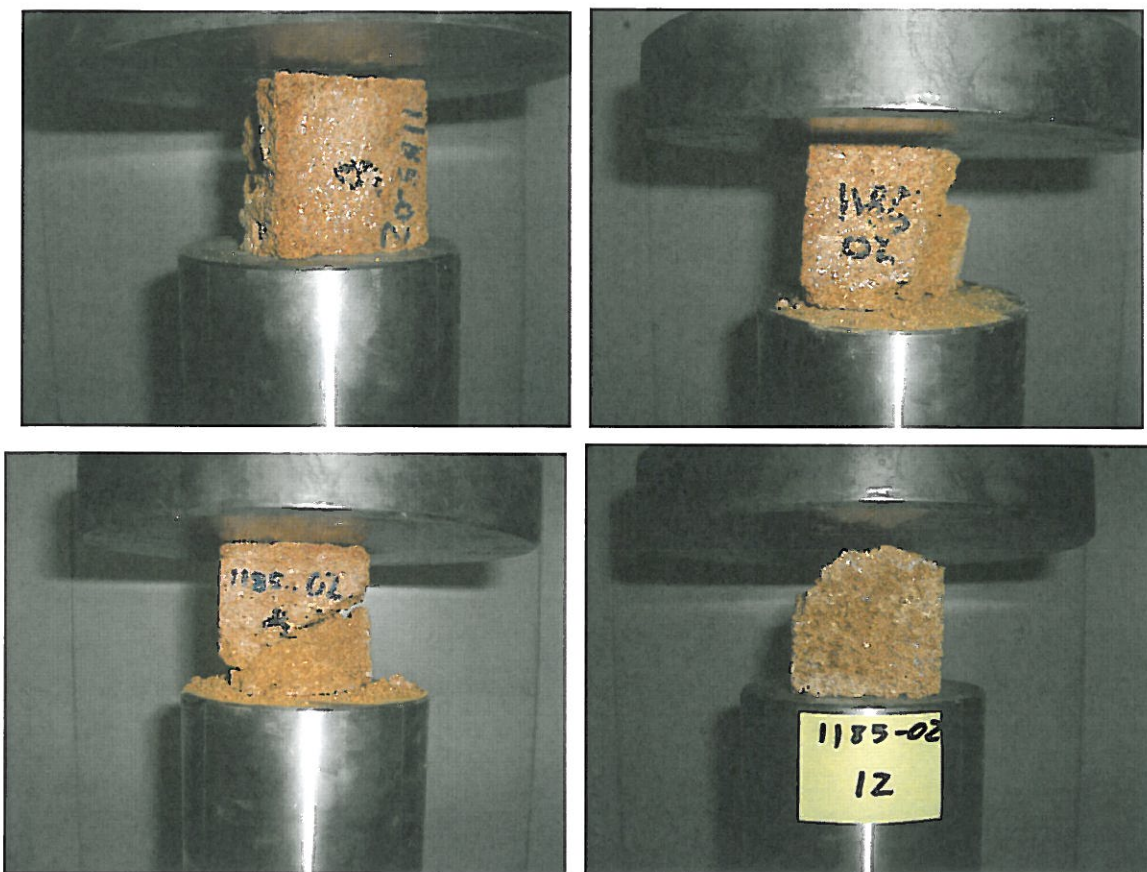


Gráfico 12

Algunos ejemplos de rotura se muestran en la fotografía 15.



Fotografía 15. Probetas 6, 8, 10 y 12

Antes de la finalización del presente proyecto no se han recibido las muestras sometidas a tratamientos de alteración, por lo que la comparativa de resultados no se incluye en la presente memoria.

### 3 Informe de laboratorio 08/0330.<sup>10</sup>

De cada muestra se seleccionaron el mayor número de probetas posibles para la realización del ensayo, y el resto de probetas conseguidas se enviaron a la Universidad de Salamanca para la realización de ensayos de alteración.

Se ha medido la velocidad de propagación del sonido en tres direcciones ortogonales para seleccionar la dirección de aplicación de la carga, excepto en la muestra denominada *Palomera*, en la que, debido a las malas características superficiales de las mismas se optó por seleccionar las bases de apoyo que presentaban una mayor planitud, y se midió la velocidad de propagación en esta dirección.

En las tres muestras de granito restantes se ha optado por elegir la dirección de menor velocidad de propagación del sonido (para minimizar los efectos de posibles planos de anisotropía o fisuración), acondicionándose mediante refrentado con carborundum las caras de aplicación de la carga.

#### 3.1 Palomera.

El corte de las probetas pertenecientes a esta muestra se ha realizado en seco, debido a la baja cohesión del material, ya que al intentar realizar el corte por vía húmeda se deshacía.

Aplicando el Test  $T_n$  se elimina un valor, lo que permite mejorar sensiblemente el coeficiente  $c$  de la velocidad de propagación del sonido que pasa de 31% a 7%; permaneciendo prácticamente invariables los datos de resistencia a la compresión, por lo que los resultados finales se muestran en la tabla 21.

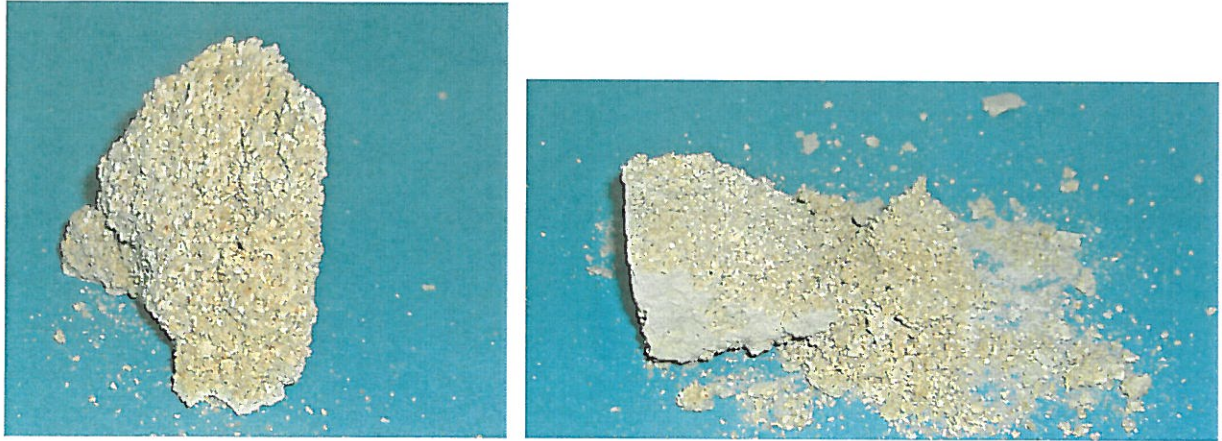
<sup>10</sup> Ensayos realizados según la norma UNE EN 1926:2007

<b>RC (MPa)</b>	<b>m</b>	<b>s</b>	<b>c (%)</b>
	0.65	0.07	10
<b>V (km/s)</b>	<b>m</b>	<b>s</b>	<b>c (%)</b>
	1.46	0.10	7

Tabla 21

Debido al bajo valor de RC obtenido, el material no puede clasificarse como una roca, según la clasificación del ISRM (1981), sino que su valor estaría dentro del rango de los suelos.

No se ha obtenido ninguna correlación lineal entre la velocidad y la RC. Algunos ejemplos de los modelos de rotura se muestran en la fotografía 16.



Fotografía 16. Probetas 1 y 4

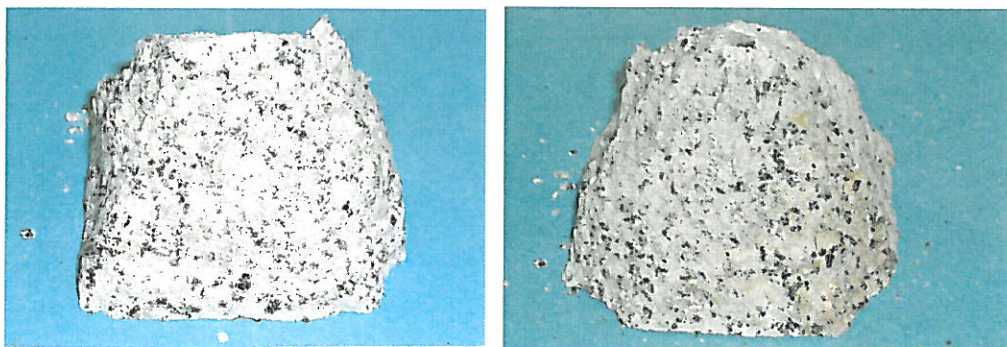
### 3.2 Magullo.

En este caso sólo se han podido obtener cinco probetas del bloque muestreado. Al aplicar el Test  $T_n$ , se ha obtenido un valor discrepante en las medidas de velocidad de propagación del sonido, pero su eliminación no suponía una mejora sustancial en los coeficientes de las dos magnitudes, por lo que se ha optado por dejar este valor. Los resultados finales se muestran en la tabla 22.

<b>RC (MPa)</b>	<b>m</b>	<b>s</b>	<b>c (%)</b>
	182.30	11.91	7
<b>V (km/s)</b>	<b>m</b>	<b>s</b>	<b>c (%)</b>
	3.39	0.10	3

Tabla 22

Según la clasificación de la ISRM (1981) la roca puede clasificarse como **muy dura**. No se ha obtenido ninguna correlación lineal entre la resistencia a la compresión y la velocidad de propagación del sonido. Algunos ejemplos de los esquemas de rotura se muestran en la fotografía 17.



Fotografía 17. Probetas 2 y 6.

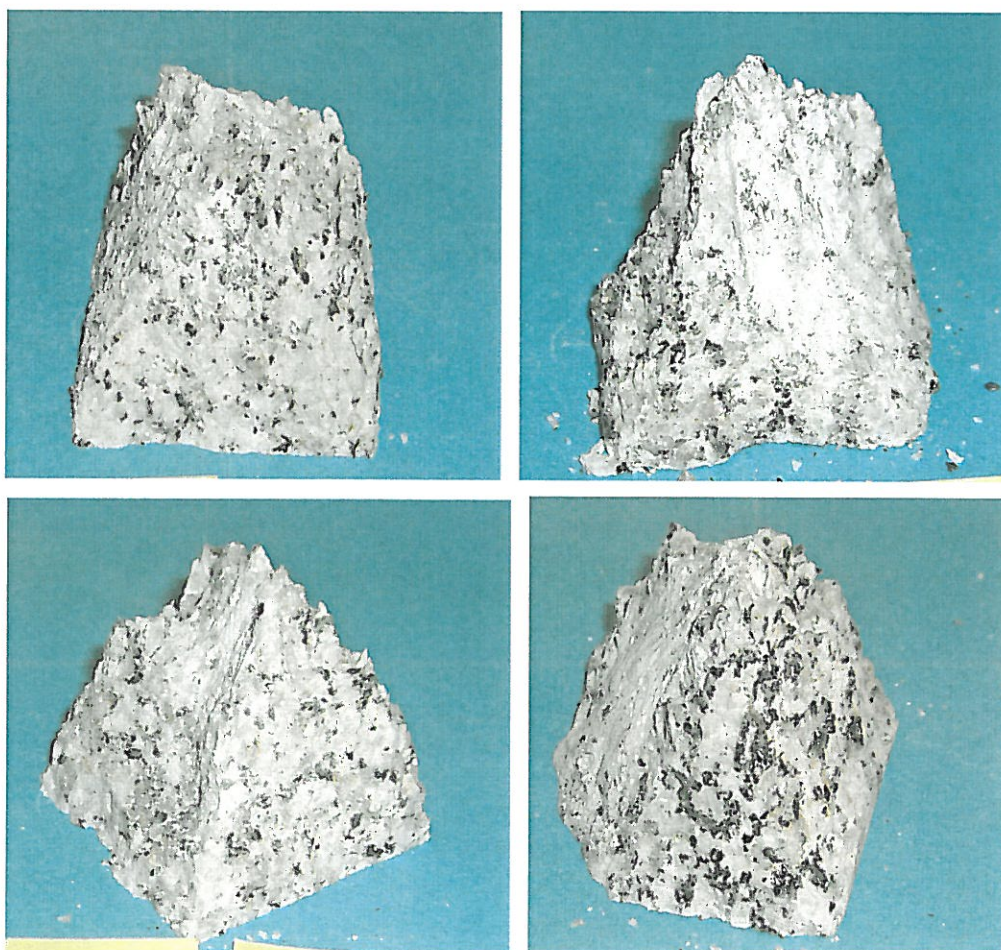
### 3.3 Otero.

Al aplicar el test  $T_n$  se ha obtenido un valor de resistencia a la compresión muy próximo al valor límite, se ha considerado este valor como aberrante y se ha procedido a su eliminación, obteniéndose una mejoría en el coeficiente de variación, que ha pasado de 9% a 6%. Los resultados finales obtenidos se muestran en la tabla 23.

RC (MPa)	m	s	c (%)
	165.5	10.6	6
V (km/s)	m	s	c (%)
	3.14	0.20	7

Tabla 23

Según la clasificación de la ISRM (1981) la roca puede clasificarse como ***muy dura***. No se ha obtenido ninguna correlación lineal entre la resistencia a la compresión y la velocidad de propagación del sonido. Algunos ejemplos de los esquemas de rotura se muestran en la fotografía 18.



Fotografía 18

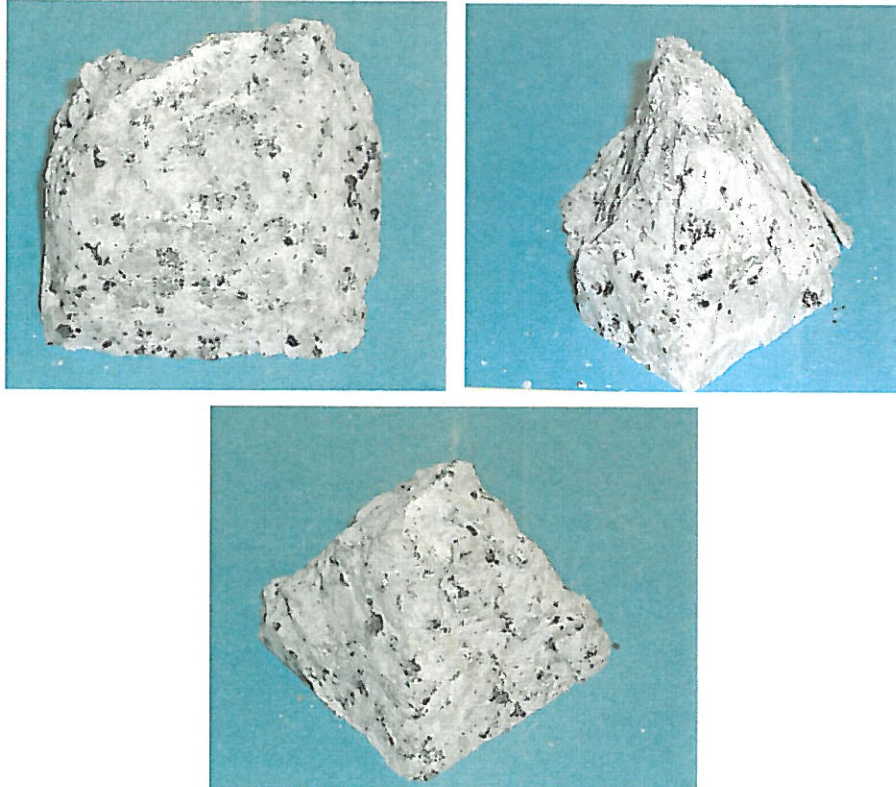
### 3.4 La Granja.

Al aplicar el test  $T_n$  se ha obtenido un valor de resistencia a la compresión muy próximo al valor límite, se ha considerado este valor como aberrante y se ha procedido a su eliminación, obteniéndose una mejoría en el coeficiente de variación, que ha pasado de 10% a 7%. Los resultados finales obtenidos se muestran en la tabla 24.

RC (MPa)	m	s	c (%)
	208.6	14.5	7
V (km/s)	m	s	c (%)
	4.41	0.18	4

Tabla 24

Según la clasificación de la ISRM (1981) la roca puede clasificarse como ***muy dura***. No se ha obtenido ninguna correlación lineal entre la resistencia a la compresión y la velocidad de propagación del sonido. Algunos ejemplos de los esquemas de rotura se muestran en la fotografía 19.



Fotografía 19. Probetas 3, 5 y 10

Tres Cantos, 20 de noviembre de 2008

Realizado por:

Fdo: Bárbara Fdez.-Revuelta

VºBº

Fdo: Santiago del Barrio  
Jefe del Laboratorio de Ensayos Tecnológicos

**ANEXO I**

**ANEXO II**