

4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los distintos valores obtenidos de los parámetros medidos y analizados, se incluyen en los siguientes apartados, comenzando por las características generales de los hormigones confeccionados.

4.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS HORMIGONES ESTUDIADOS

A continuación se presentan una serie de cuadros en los que se recogen las características de los hormigones realizados, tanto las referentes al estado fresco como al endurecido.

En la Tabla 20 se expone la dosificación definitiva empleada con las cantidades exactas correspondientes de los componentes utilizados, teniendo en cuenta las características de los componentes (humedad, absorción).

Designación	Cantidades en kg/m ³						
	Agua	Cemento	Filler	Arena	Grava 1	Grava 2	SP (%)
HAC G45/A45	175,0	350	245	939	223	565	4,6 (1,3%)
HV Qb	184,9	350	64	747	383	719	2,1 (0,6%)

Tabla 20. Dosificación definitiva de los hormigones ensayados

En todas las amasadas de hormigón autocompactante se realizaron los ensayos correspondientes para caracterizar sus propiedades en estado fresco.

La primera de las amasadas se confeccionó especialmente para determinar en ella las características más relevantes en estado fresco (escurrimiento,

escurrimiento con anillo J, embudo en V y caja en L), mientras que en las otras tres, necesarias para rellenar los moldes y confeccionar las probetas, sólo se realizaron medidas de escurrimiento y embudo como control.

En la Tabla 21 se recogen todas las determinaciones realizadas.

Características en estado fresco del HAC							
Amasadas	ESCURRIMIENTO		EMBUDO EN V	CAJA EN L		ESCURRIMIENTO CON ANILLO J	
	Diámetro (cm)	T ₅₀ (s)	T _V (s)	T _L (s)	HI/H2	Diámetro (cm)	H1-H2 (mm)
1	77,2	2,2	8,4	3,0	0,90	70,0	10
2	75,0	1,5	4,4	--	--	--	--
3	67,2	4,1	7,5	--	--	--	--
4	73,0	2,0	7,7	--	--	--	--

Tabla 21: Resultados de los ensayos de autocompactabilidad del HAC confeccionado

Atendiendo a las características en estado fresco, puede hacerse una clasificación del hormigón autocompactante con los resultados obtenidos en el ensayo de escurrimiento y tomando como referencia los criterios de la Instrucción EHE-08. En la Tabla 22 se indican además de esta clasificación, otras características del hormigón fresco.

ESTADO FRESCO						
Tipo de hormigón		Escurrecimiento			Densidad (kg/m ³)	Aire ocluido (%)
		d _f (mm)	T ₅₀ (seg)			
HAC	Amasadas	1	E3	V2	2.400	3,50
		2	E2	V3		
		3		V2		
		4		V3		

Tabla 22: Designación que le correspondería a las distintas amasadas del HAC confeccionadas de acuerdo con los criterios de la EHE-08

En la tabla 23 se exponen las del hormigón convencional (HV).

ESTADO FRESCO			
Tipo de hormigón	Asiento en cono (cm)	Densidad (kg/m³)	Aire ocluido (%)
VIBRADO	6,0	2.460	1,70

Tabla 23: *Propiedades obtenidas en la amasada del HV*

4.1.1. RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La evolución de resistencias obtenidas en el ensayo de compresión, se representa en la Tabla 24 y en la figura 109.

TIPO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)					
	A 3 días	A 7 días	A 14 días	A 28 días	A 60 días	A 180 días
HAC	24.5	34.0	39.0	42.2	45.9	51.9
HV	16.9	24.6	31.5	35.6	37.5	42.9

Tabla 24: *Valores de resistencia a compresión de ambos hormigones a diferentes edades*

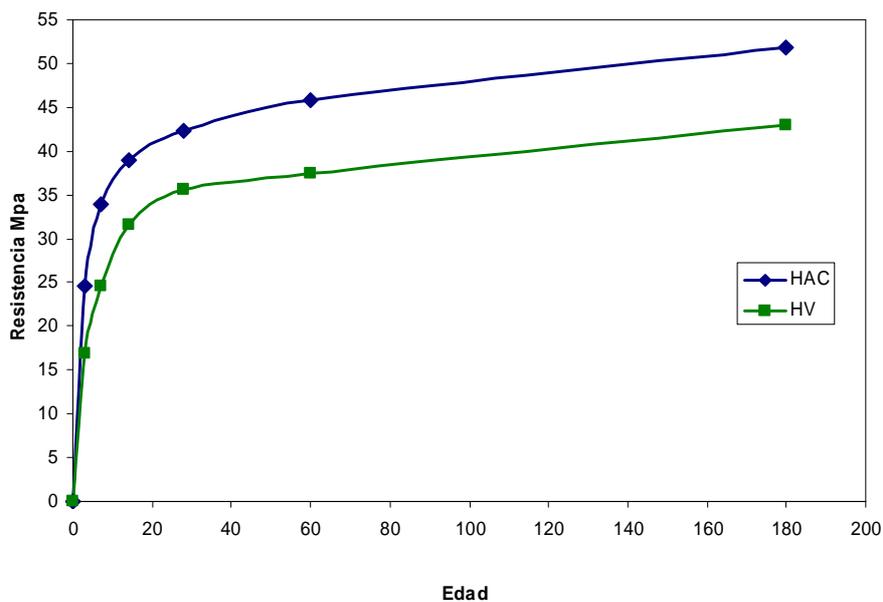


Fig. 109: *Evolución de resistencias a compresión de los hormigones estudiados*

La evolución de la resistencia a compresión del HAC puede considerarse semejante a la del hormigón tradicional. Cabría pensar en la posibilidad de un cierto retraso en el desarrollo de las resistencias debido a la mayor dosis de aditivo empleada, pero no se ha observado, al menos, en los plazos en los que se han determinado. Algunos tipos de aditivo pueden poseer un efecto secundario retardante, pero estos superplastificantes sintéticos de última generación no suelen contener sustancias que retrasen la hidratación, incluso muchos producen un efecto acelerante al permitir mayor dispersión de las partículas de cemento. En el caso del aditivo utilizado, el fabricante indica que, como función secundaria, es acelerante de endurecimiento.

Para un mismo valor de la relación A/C y unos mismos materiales, la resistencia a compresión debería verse modificada ligeramente al alza en el caso del autocompactante, dependiendo de la actividad de los filleres utilizados. Según algunos autores [27] estas mejoras son variables y no suelen pasar de un incremento marginal sobre el valor del hormigón de referencia a medio plazo; sin embargo, en el caso de los hormigones estudiados las diferencias alcanzan casi el 20 %, sin que se hayan podido encontrar razones convincentes para justificar este anómalo incremento.

Cabe señalar que en un estudio realizado con anterioridad a éste, de características muy similares en cuanto metodología seguida [52], los valores de resistencia fueron menores que los del HV.

4.2. POROSIDAD TOTAL

Los resultados de la porosidad total se han obtenido a través de los valores de las densidades (real y aparente) y son estos valores los que se presentan a continuación.

4.2.1. Densidades real y aparente

La densidad real obtenida en ambos hormigones y determinada mediante ensayo con picnómetro se obtiene de probetas, que con anterioridad se habían sometido a rotura por compresión. Evidentemente, la densidad real no depende de la porosidad y deberá ser un valor fijo para un mismo tipo de hormigón; por ello, se ha obtenido sólo un valor para cada hormigón, si bien como medida de dos determinaciones. Los resultados se muestran en la Tabla 25.

La densidad aparente, en cambio, sí se ha determinado a distintas alturas de las piezas confeccionadas, precisamente para intentar detectar la posibilidad de algún tipo de segregación o exudación. Los resultados obtenidos se reflejan en la Tabla 26.

Tipo de hormigón	Muestra	DENSIDAD REAL (kg/m ³)	
		Valor individual	Valor Medio
HAC	1	2.728	2.730
	2	2.732	
HV	1	2.750	2.760
	2	2.777	

Tabla 25: Valores de densidad real determinada con picnómetro

DESIGNACIÓN		DENSIDAD APARENTE (kg/m ³)				
		Probeta				Valor medio de las zonas
		1	2	3	4	
HAC	Alta	2.375	2.354	2.334	2.308	2.337
	Media	2.319	2.319	2.298	2.275	2.303
	Baja	2.329	2.329	2.275	2.290	2.306
HV	Alta	2.379	2.368	2.395	2.375	2.390
	Media	2.371	2.370	2.381	2.373	2.382
	Baja	2.385	2.387	2.398	2.380	2.387

Tabla 26: Densidades aparentes obtenidas mediante balanza hidrostática a distintas alturas de las piezas confeccionadas

En el gráfico de la Figura 110 pueden observarse mejor las diferencias entre las distintas partes de la pieza y entre los dos tipos de hormigón.

Inexplicablemente, aunque no se aprecian tendencias claras, se observa que la densidad aparente de las partes altas presentan valores ligeramente más altos que en la parte central de las piezas para ambos tipos de hormigones.

Como puede apreciarse, la densidad del hormigón vibrado ha resultado ser un poco más elevada que la del autocompactante, al menos, en las dosificaciones preparadas.

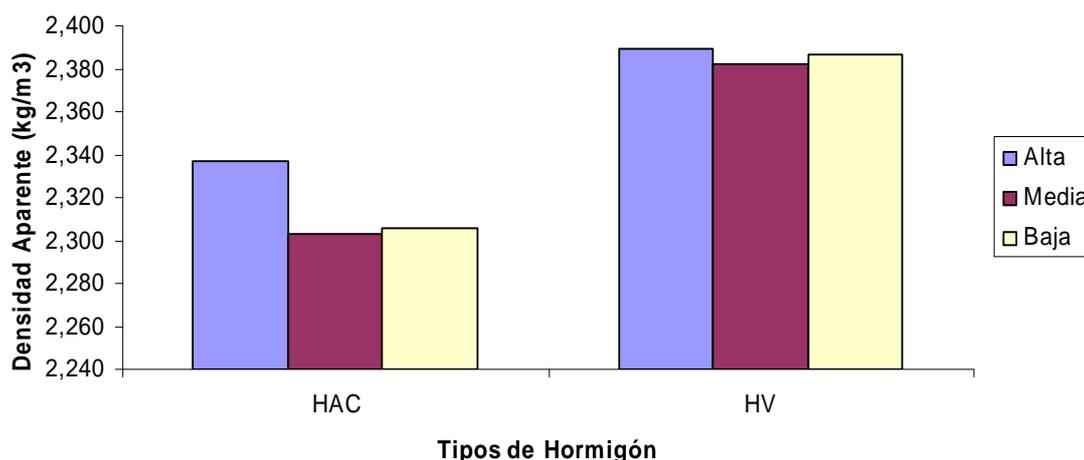


Fig. 110: Representación de los valores medios de la densidad aparente de cada zona y tipo de hormigón

4.2.2. Porosidad

Con los resultados de las densidades reales y aparentes se calculan los valores de la porosidad total, los cuales se exponen en la Tabla 27.

DESIGNACIÓN		POROSIDAD (%)				
		Probeta				Valores medios de las partes
		1	2	3	4	
HAC	Alta	13,8	14,5	15,46	15,5	14,8
	Media	15,1	15,8	15,9	16,6	15,9
	Baja	14,7	16,7	16,2	16,1	15,9
HV	Alta	13,5	13,3	13,8	13,1	13,4
	Media	13,4	14,5	13,9	13,0	13,7
	Baja	13,3	13,9	13,5	13,5	13,5

Tabla 27: Valores de la porosidad total

Puede observarse que las porosidades son las típicas de un hormigón estructural “de buena calidad”, comprendidos en el rango entre el 13 y el 16%, según los criterios de Gorisse. En correspondencia con los valores de densidad aparente, las porosidades son un poco más elevadas en el hormigón autocompactante.

Por otro lado, en el HAC la zona inferior se muestra ligeramente más porosa, mientras que en el HV, es la zona central la que mayor porosidad tiene, aunque las diferencias son tan poco significativas que podrían entrar dentro de la variabilidad propia de los resultados experimentales (Figura 111).

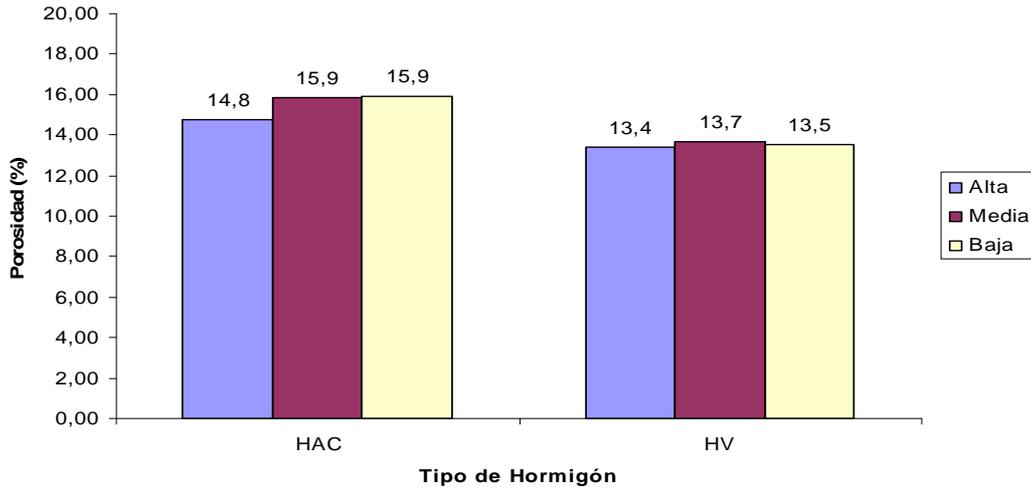


Fig. 111: Valores medios de la porosidad de cada zona en cada tipo de hormigón

4.2.3. Absorción

La absorción puede considerarse una medida de la porosidad abierta ya que indica la cantidad de agua libre que puede penetrar y quedar retenida en los capilares al sumergir las muestras en agua. Con ella se obtiene información de la magnitud de la capilaridad intercomunicada y abierta al exterior. Los valores de absorción, expresados en porcentaje respecto al peso de la muestra, son los que se exponen en la Tabla 28 y en la Figura 112 donde pueden observarse las pequeñas diferencias existentes entre las zonas de cada hormigón.

Si en vez de expresar la cantidad del agua absorbida respecto a la masa de la muestra se calcula respecto a su volumen, se podrá estimar la proporción de poros susceptibles de ser colmatados por el agua bajo inmersión, a cuyo conjunto se le puede considerar como porosidad abierta o accesible.

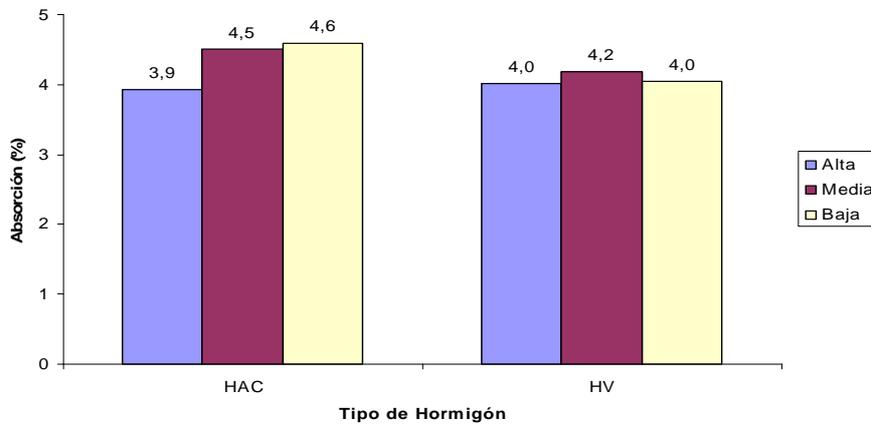


Fig. 112: Representación de los valores medios de absorción de cada zona y tipo de hormigón

DESIGNACIÓN		ABSORCION (% respecto al peso de la muestra)				
		Probeta				Valor medio de las partes
		1	2	3	4	
HAC	Alta	3,5	4,1	3,8	4,3	3,9
	Media	4,2	4,3	4,5	5,0	4,5
	Baja	3,7	4,9	5,1	4,7	4,6
HV	Alta	4,2	3,9	4,3	3,6	4,0
	Media	4,3	4,5	4,3	3,5	4,2
	Baja	4,2	4,0	4,2	3,8	4,1

Tabla 28: Valores de absorción de agua, al saturar la muestra a presión atmosférica

En la Figura 113 se han representado los valores de absorción respecto al volumen de la muestra, junto a los valores de porosidad total en las distintas partes estudiadas de la pieza de HAC, y en la Figura 114 los mismos parámetros del hormigón vibrado de referencia.

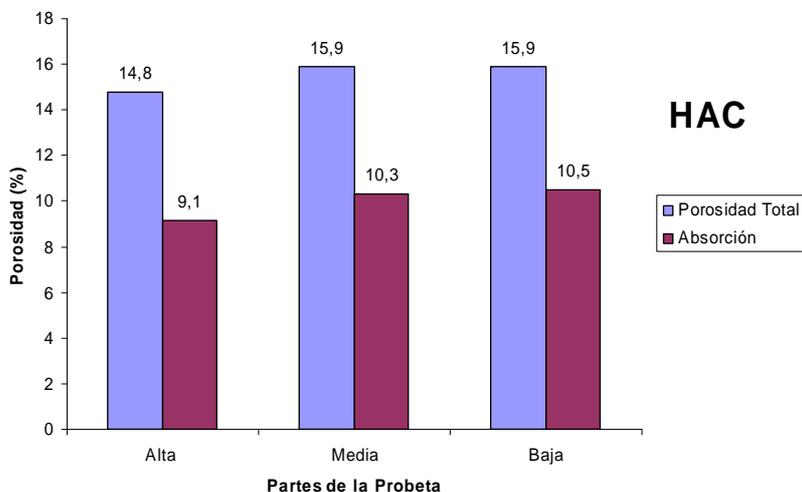


Fig. 113: Relación entre porosidad total y absorción para el HAC ensayado

Al igual que ocurre con los datos de porosidad, se observa que en el HAC, la parte con mayor absorción es la baja, mientras que para el HV, la de mayor absorción es la central.

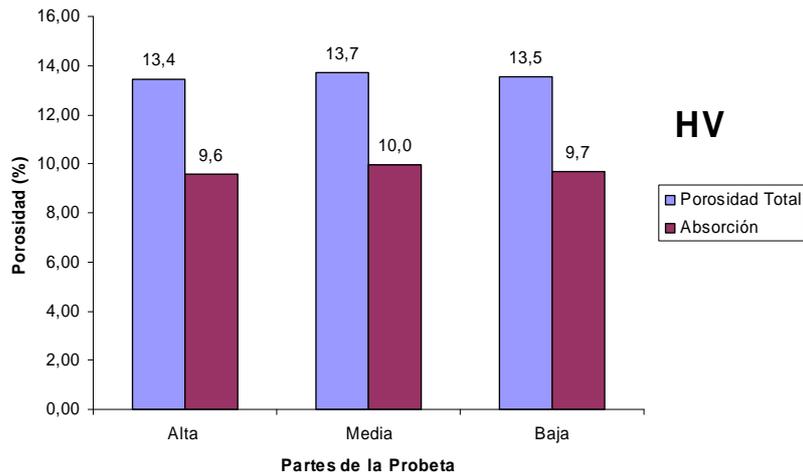


Fig. 114: Relación entre porosidad total y absorción para el hormigón vibrado

No resulta fácil interpretar estos resultados, teniendo en cuenta que ambos poseen la misma relación A/C y la misma dosis de cemento. La única explicación posible sería que el HAC, al poseer mayor proporción de filler y de superplastificante, retiene mayor cantidad de aire que podría quedar ocupado en cavidades de tamaño capilar.

La diferencia entre la porosidad total y esta porosidad abierta o accesible constituye una medida de la proporción de poros poco accesibles presentes en ambos hormigones. Estas diferencias se exponen en la Figura 115.

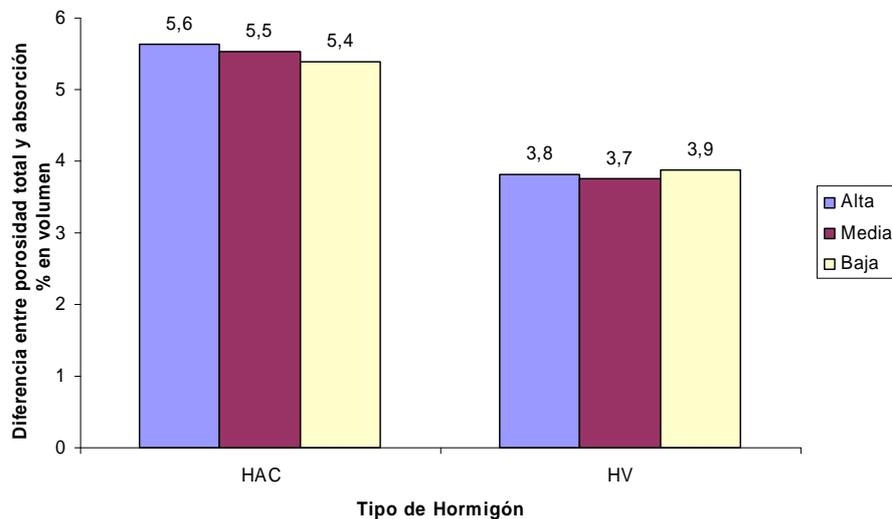


Fig. 115: Diferencia entre la porosidad total y la absorción

Según puede observarse, la porosidad poco accesible es muy parecida en las distintas zonas de las piezas de un mismo hormigón; sin embargo, entre los dos tipos de hormigón estudiados existe una diferencia considerable.

La mayor porosidad poco accesible del hormigón autocompactante puede ser debida a la reducción del tamaño de poro, quizás producida por un crecimiento mayor de los hidratos en esas cavidades, favorecido por la presencia del filler que se utiliza en mayor proporción en los hormigones autocompactantes.

Por tanto, considerando todos los resultados de porosidad y absorción estudiados no puede deducirse que haya habido exudación en las piezas confeccionadas con los dos tipos de hormigón ensayados.

4.3. OBSERVACIONES MICROSCÓPICAS

Tras la detenida observación con lupa binocular de las láminas pulidas y coloreadas en las zonas situadas bajo los granos del árido grueso, tampoco se han apreciado de forma sistemática regiones claramente débiles en ninguno de los hormigones objeto de estudio.

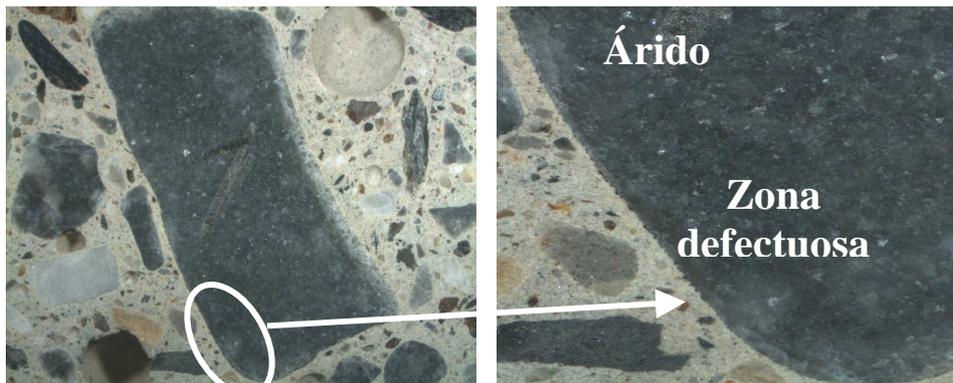
De la zona de transición pasta-árido interesaba fundamentalmente la parte inferior del árido, pues es ahí donde el fenómeno de exudación se produciría preferentemente, al actuar el grano como barrera para el agua ascendente. De haberse producido este proceso, se incrementaría la porosidad capilar en esta zona por una acumulación de agua.

Por este motivo, se intentó la localización de granos de áridos que en su posición presentasen una amplia superficie horizontal para ver si se apreciaban debilidades en su parte inferior. Pero al ser muy esporádicos los áridos en los que era apreciable alguna zona defectuosa, y no seguir ninguna pauta en cuanto a su disposición, tampoco se puede concluir que con esta técnica se hayan encontrado indicios de que hubiera podido existir exudación en las probetas realizadas.

Las figuras que se exponen a continuación son ejemplos de algunas de las muchas observaciones microscópicas realizadas. La mayoría de ellas presentan los defectos típicos que se producen en el hormigón, atribuibles a otros factores diferentes de la exudación. En primer lugar, se muestran algunas zonas bajo los granos de áridos del hormigón autocompactante.

Previamente a este análisis visual, se consideró la confección de láminas delgadas, aunque se desestimó debido a la alteración que pudiese sufrir el material en el proceso de preparación, lo cual podría enmascarar aún más los indicios que se buscaban.

Como puede apreciarse en las Figuras 116, en la parte inferior del árido observado existe una cadena de pequeñas burbujas a lo largo de su superficie, quizás en este caso podría ser consecuencia de la suciedad superficial del grano del árido en esa zona.



Figs. 116: *Regiones aparentemente más débiles en las zonas de transición pasta-árido*

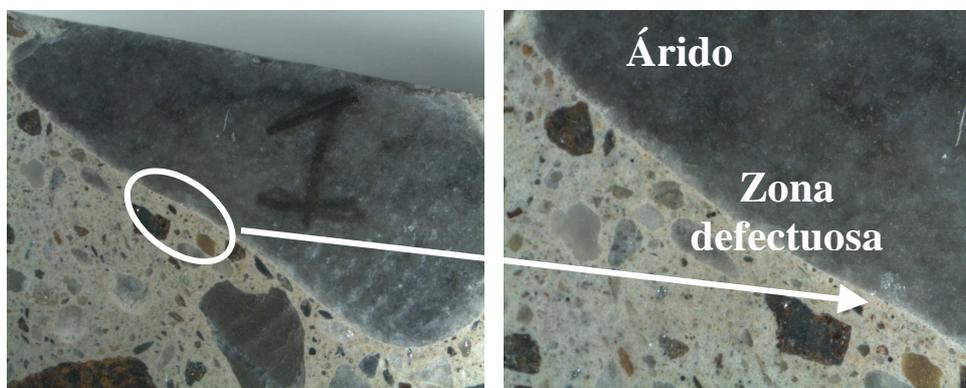


Fig. 117: *En la parte inferior de este árido perteneciente al HAC puede apreciarse una cadena de poros*

En la Figura 118 se muestra un ejemplo, de los muchos, donde la exudación no parece haberse puesto de manifiesto, ya que tanto en la parte superior del árido como en la inferior el aspecto es prácticamente el mismo, sin apreciables signos de debilidad en ninguna de ellas.



Fig. 118: *Aspecto de la zona de transición pasta-árido sin signos apreciables de exudación*

Curiosamente, en el caso del hormigón convencional, parecen observarse zonas de transición pasta-árido un poco más defectuosas aunque no se manifiestan de forma generalizada (Figuras 119-121). Por los resultados obtenidos de otras determinaciones, deberán atribuirse a causas diferentes de la

exudación como, por ejemplo, a suciedades esporádicas en algunos de los granos del árido grueso.

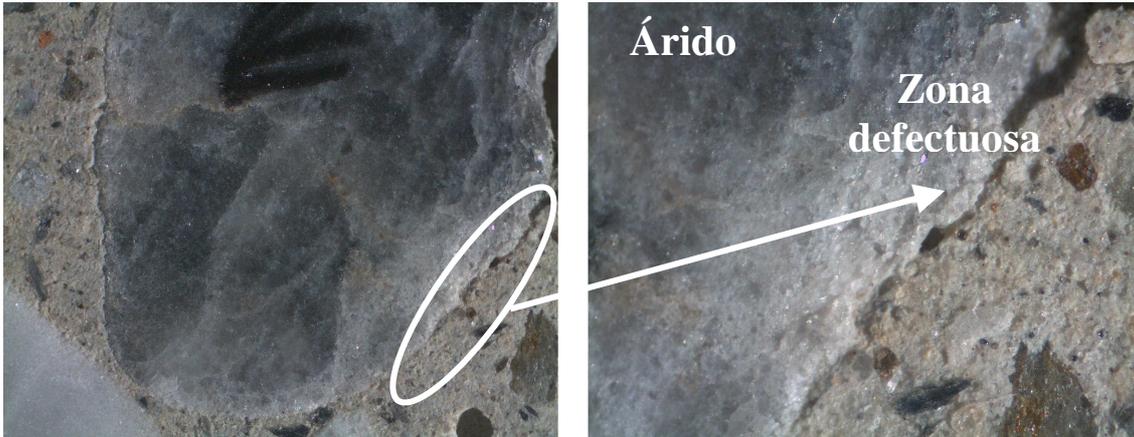


Fig. 119: El árido presenta un acusado surco prácticamente en toda la zona de transición en el HV que puede ser debido a irregularidades superficiales del árido

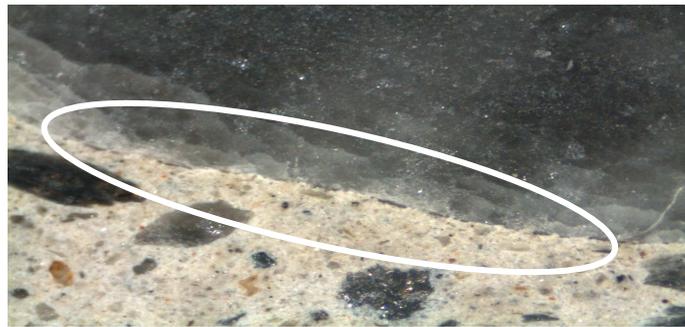


Fig. 120: Cadena de poros en la parte baja de un árido del HV

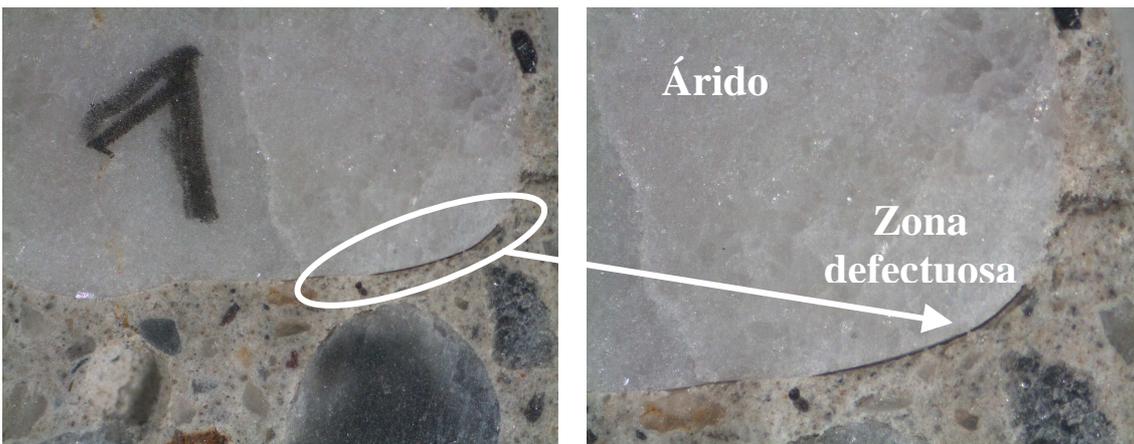


Fig. 121: Más ejemplos de debilidades visibles en la zona de transición del HV

Como conclusión, podría afirmarse que la observación de las láminas con la lupa de 80 aumentos, al menos en el presente estudio, no ha permitido apreciar las cavidades capilares en la zona inferior de la interfase pasta-árido de los

granos de árido grueso que fuese atribuible a la exudación del agua, bien sea por que no se haya presentado en los hormigones objeto del estudio o, tal vez, por no tener suficiente resolución para distinguirlo el equipo de observación.

4.4. POROSIMETRÍA DE MERCURIO

El porosímetro de mercurio puede suministrar una amplia variedad dal estudiar los hormigones. Unos de los más inmediatos son las densidades, aparente y de conjunto, con las que se determina la porosidad total de las muestras. Los valores de estos parámetros, obtenidos de las distintas zonas de las piezas confeccionadas con los dos tipos de hormigón, se exponen en la Tabla 29.

DESIGNACIÓN		Porosidad total (%)
HAC	Alta	12,0
	Media	12,0
	Baja	11,0
HV	Alta	5,8
	Media	10,0
	Baja	7,9

Tabla 29: *Parámetros obtenidos mediante la porosimetría de mercurio*

Como puede observarse, la porosidad total obtenida con esta técnica de porosimetría de mercurio es diferente de la obtenida anteriormente con el picnómetro y la balanza hidrostática. Pero los valores que aporta el porosímetro no deben tenerse como significativos para este estudio ya que la muestra de hormigón ensayada no puede considerarse representativa del conjunto de la masa de hormigón, debido a la gran heterogeneidad que presenta este material y a la elección parcial del fragmento para ensayo, que sólo ha sido de unos pocos gramos. Este, como se ha dicho, se ha elegido con el objeto de detectar la porosidad capilar alojada en una zona concreta, bajo los granos del árido grueso, con lo que se estaba lejos de asegurar la misma proporción de árido y pasta que presentara el hormigón en su conjunto.

Pero lo más interesante de la porosimetría de mercurio es que permite obtener una medida del tamaño de los poros. Esto resulta de gran interés puesto que la durabilidad depende en gran medida del transporte de las sustancias al interior del hormigón y éste se realiza a través de los poros de un determinado tamaño, fundamentalmente de dimensiones capilares.

En la Tabla 30 se indican los tamaños medios de los poros obtenidos con el porosímetro de mercurio a distintas alturas de las piezas confeccionadas con los dos tipos de hormigón.

DESIGNACIÓN		Radio de poro medio (μm)
HAC	Alta	0,0399
	Media	0,0324
	Baja	0.0436
HV	Alta	0,0457
	Media	0,0364
	Baja	0,0477

Tabla 30: *Tamaño medio de los poros obtenidos en el ensayo*

Puede observarse que el HAC presenta un tamaño de poro medio ligeramente menor que el hormigón convencional de referencia, aunque el autocompactante ha exhibido mayor proporción de poros. Esto podría justificar las diferencias entre porosidad y absorción al agua que se han observado en los ensayos realizados, donde dicha diferencia se manifiesta en sentido inverso al tamaño medio de poro.

Mayor detalle sobre la porosidad puede obtenerse también del porosímetro de mercurio a través de los conocidos como espectros de porosidad, es decir, de las proporciones de poros que hay de cada tamaño. En la Figura 122 se presentan los espectros de porosidad que se han obtenido de cada parte de las piezas fabricadas con los dos tipos de hormigón.

Para facilitar la comparación se han superpuesto los espectros de porosidad anteriores en las Figuras 123 y 124. Con los datos de estas medidas se han elaborado los respectivos porogramas (Figuras 125 y 126) en los que está representada la proporción de porosidad acumulada para cada tamaño de poro.

HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

HORMIGÓN VIBRADO

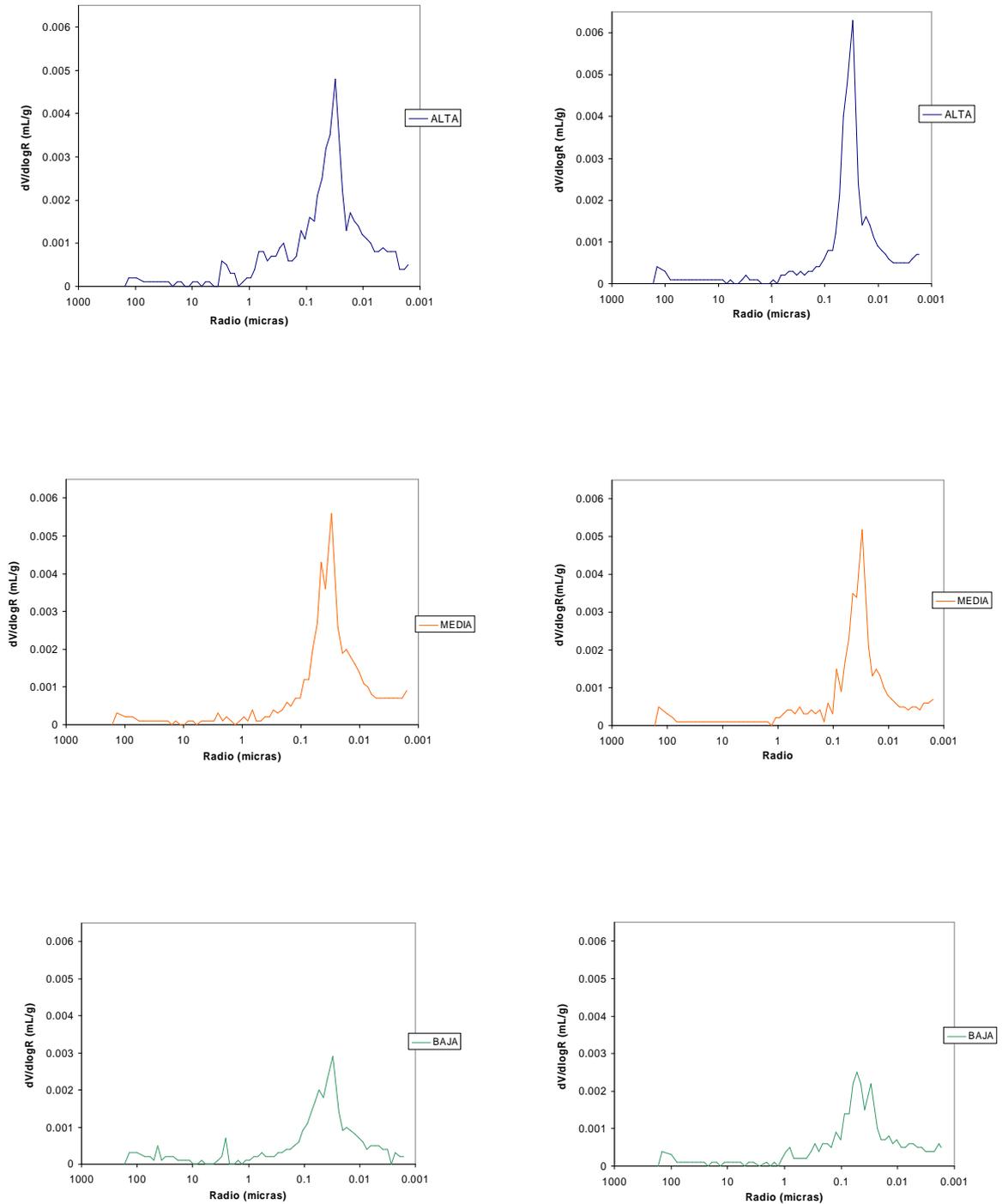


Fig. 122: Espectros de porosidad de las distintas partes de las probetas estudiadas para cada tipo de hormigón

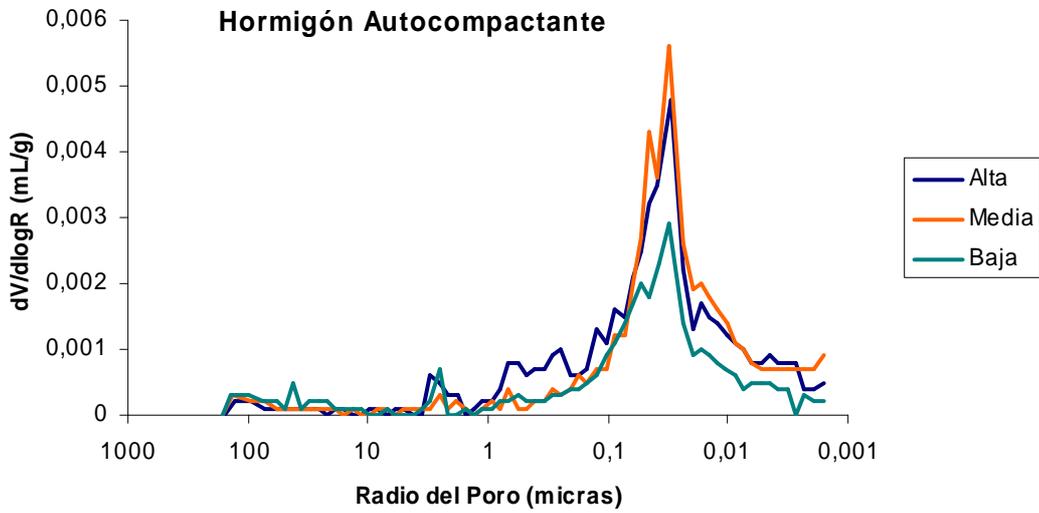


Fig. 123: Espectro de porosidad del hormigón autocompactante

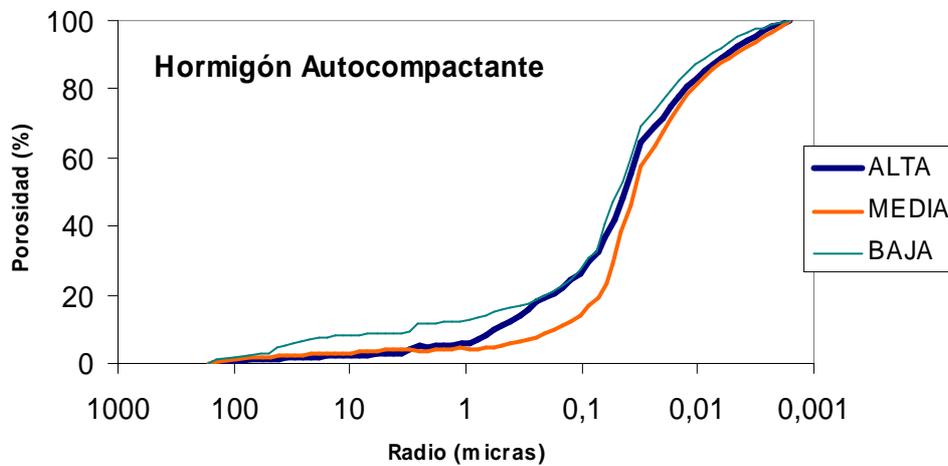


Fig. 124: Porograma del hormigón autocompactante

Los espectros y los porogramas correspondientes para el hormigón vibrado se recogen en los gráficos 125 y 126.

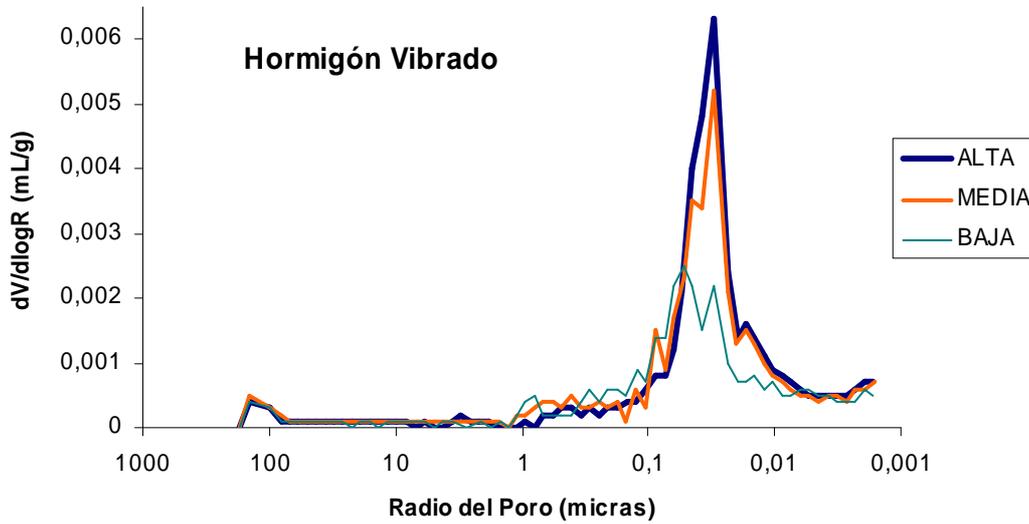


Fig. 125: Espectro de porosidad del hormigón vibrado

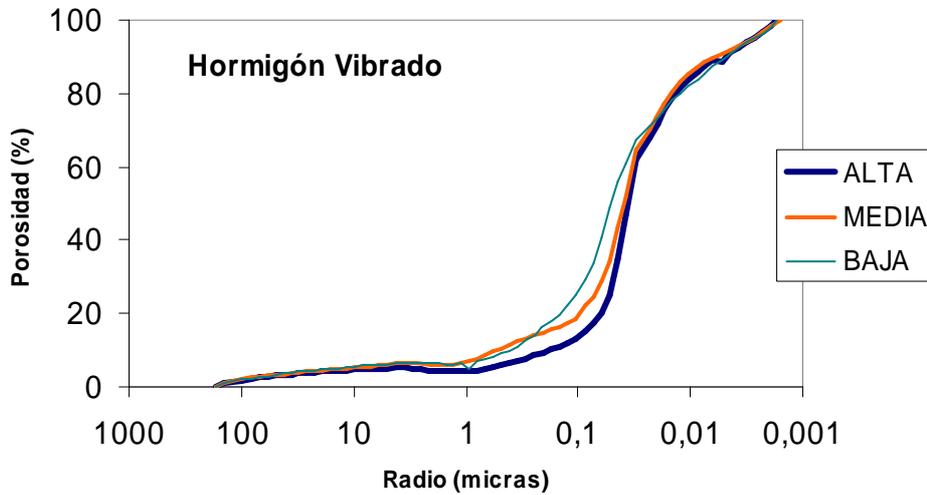


Fig. 126. Porograma del hormigón vibrado

La Figura 127, que incluye los espectros de porosidad de ambos hormigones, permite observar las diferencias que puedan existir entre las partes altas, medias y bajas de las probetas de ensayo.

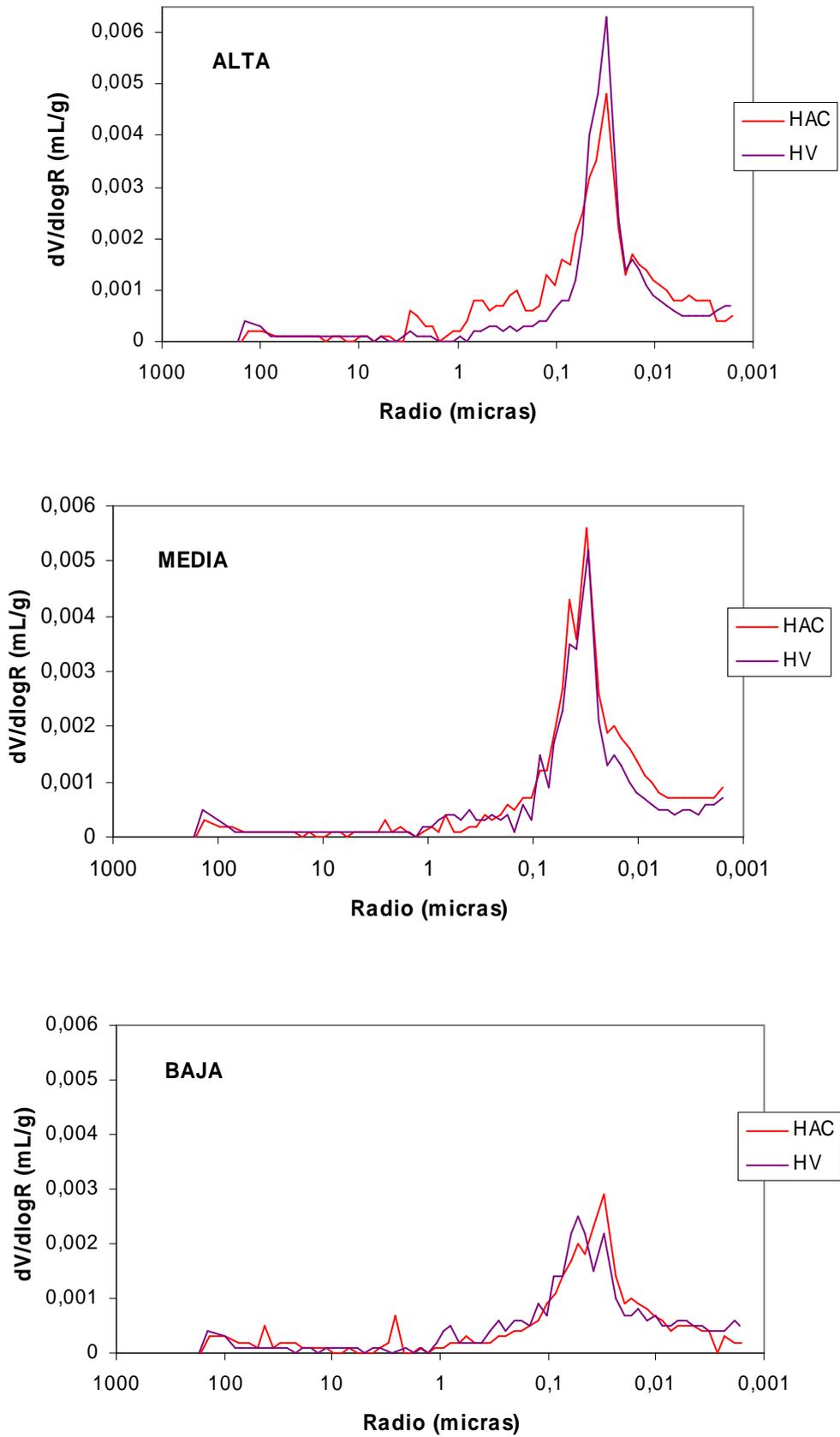


Fig. 127. Espectros de porosidad de ambos hormigones en las probetas tomadas a distintas alturas

En todos estos datos de la porosimetría de mercurio puede haber mucha información pero difícil de interpretar. Lo primero que puede extraerse de estos resultados es que la mayor parte de la porosidad detectada está dentro de la de tipo capilar de pequeño tamaño, próxima a la de tipo gel, tanto en un hormigón como en otro.

Hay que destacar la semejanza de las gráficas en todas las partes existiendo picos importantes en ambos tipos de hormigón en torno a un radio de $0,05 \mu\text{m}$.

A continuación se procede a hacer un estudio detallado de las gráficas de porosidad obtenidas en el ensayo atendiendo a la altura de la probeta estudiada:

- En la **parte alta de la pieza** se observa bastante similitud entre la gráfica de HAC y de HV, si bien en el porograma obtenido en el HAC se pueden apreciar ciertos picos de tamaño medio que podrían indicar la existencia de algo de exudación con la altura.

- En la **parte media**, los resultados son mucho más semejantes en ambos hormigones, observándose un ligerísimo aumento de la porosidad más pequeña, en torno a $0,01 \mu\text{m}$, en el hormigón autocompactante.

- Una tendencia análoga a la que presentan las partes medias puede observarse en las **partes bajas** de ambos hormigones. El HAC muestra una ligera mayor proporción de poros de menor tamaño que el convencional, pero las diferencias entre ambos es tan pequeña que no pueden considerarse significativas.

La conclusión que puede extraerse del estudio de porosimetría de mercurio es que tanto en un hormigón como en otro, no han aparecido picos significativos desplazados a tamaños superiores que indicaran exudación ni tampoco se han observado cambios en la posición de que éstos, que pudieran sugerir acumulaciones de granos de áridos grueso. Posiblemente la calidad del material cementante (gran dosis de cemento y baja relación A/C) ha hecho que con los diseños adecuados ambos hormigones presenten la adecuada resistencia a la segregación en los procesos normales de puesta en obra.

5.5. COMPORTAMIENTO ANTE UNA DISOLUCIÓN SATURADA DE YESO

Se ha intentado conocer el comportamiento de los hormigones en una clase de exposición Qb sometiendo probetas confeccionadas con ellos a inmersión parcial en una disolución saturada de yeso. Su evolución se ha intentado seguir mediante observaciones de las probetas al extraerlas, estudiando

la velocidad de propagación de ultrasonidos e identificando las especies mineralógicas a través de R-X.

5.5.1. ULTRASONIDOS

Los valores de la velocidad de propagación de ultrasonidos obtenidos en el período inicial y al final del ensayo expresan en la Figura 128.

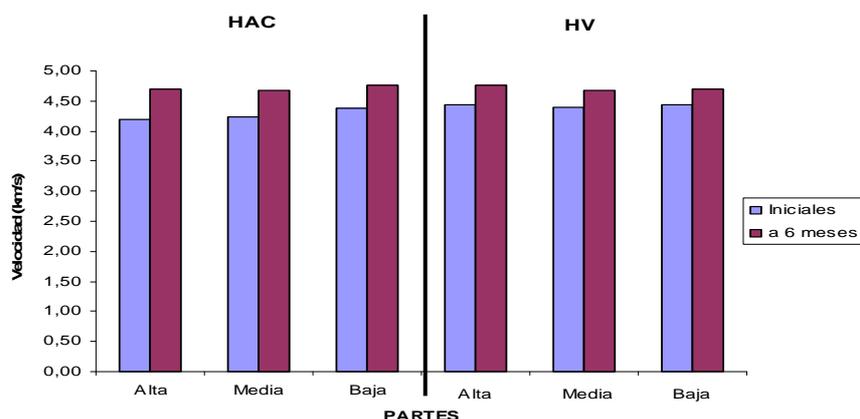


Fig. 128: Medidas de la velocidad de propagación determinadas mediante ultrasonidos, antes y después de su inmersión en la disolución de yeso.

Dado que, tanto la D R-X, como las observaciones microscópicas parecen indicar que el desarrollo de la formación de ettringita y taumasita ha sido irrelevante cuya formación podría, en un primer estadio, colmatar los poros, este incremento sólo podría ser imputable al progreso de la hidratación de la propia pasta de cemento.

Las lecturas realizadas hasta la fecha sólo pueden constituir datos de partida muy interesantes para realizar el seguimiento del deterioro conforme este se vaya progresando.

Solo queda comentar que, como puede apreciarse en las Figuras, también las velocidades de propagación de ondas ultrasónicas en las distintas partes altas, medias y bajas de las probetas ponen de manifiesto la ausencia de diferencias significativas, tanto de las propiedades intrínsecas de ambos hormigones, como en sus procesos de puesta en obra. El incremento producido en la velocidad de propagación, puede atribuirse al progreso en el desarrollo de la hidratación y en la acción puzolánica y epitáxica algo mayor en el hormigón autocompactante.

5.5.2. DIFRACCIÓN DE RAYOS X

A continuación se incluyen los difractogramas correspondientes a las distintas partes de la probeta de ambos hormigones según la profundidad de

donde se ha extraído el material (capa superficial de 1 mm, franjas entre 1-5 mm de profundidad, raspado de la superficie y de la parte central).

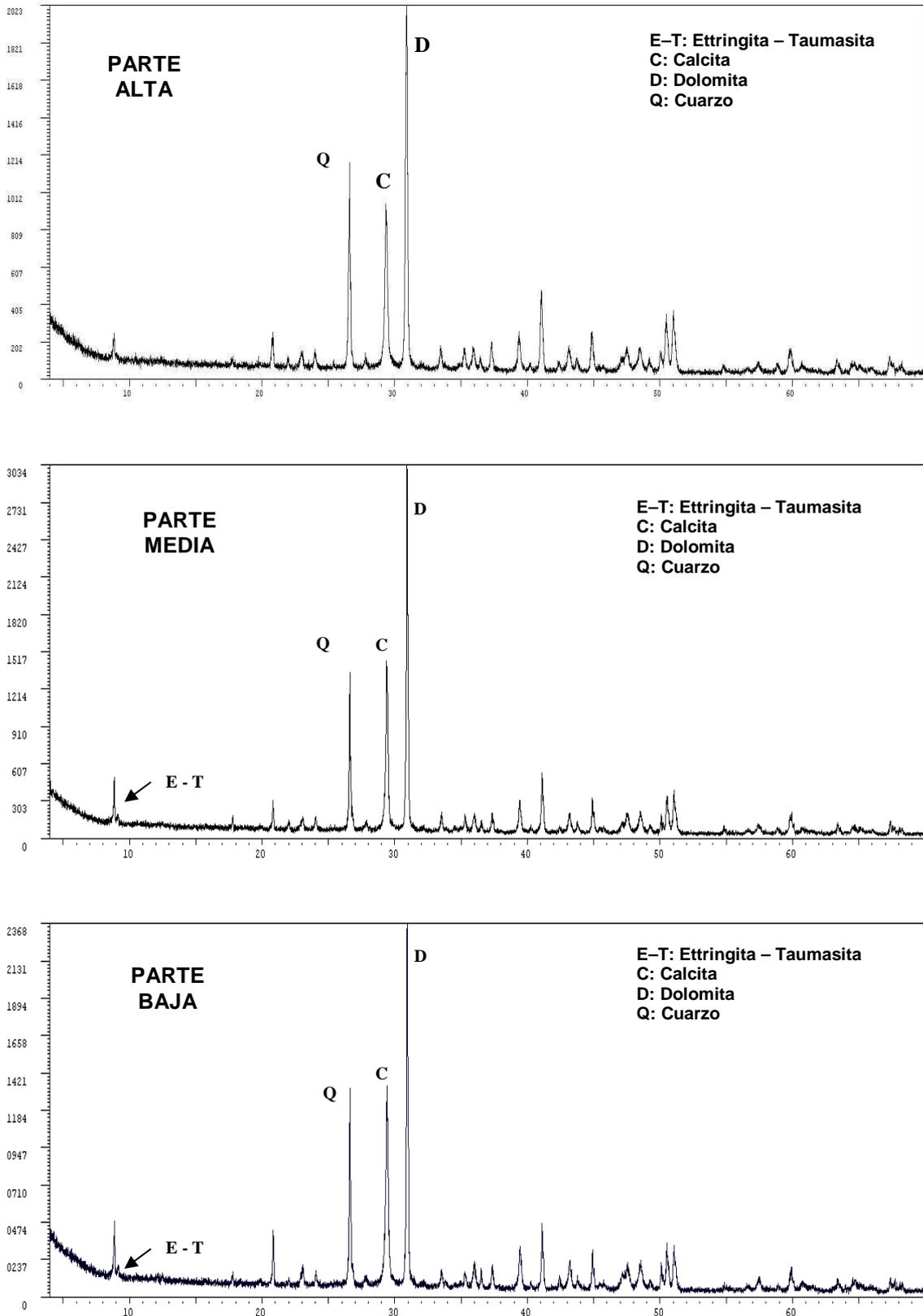


Fig. 129: Difractograma de R-X de la capa superficial de 1 mm del hormigón autocompactante.

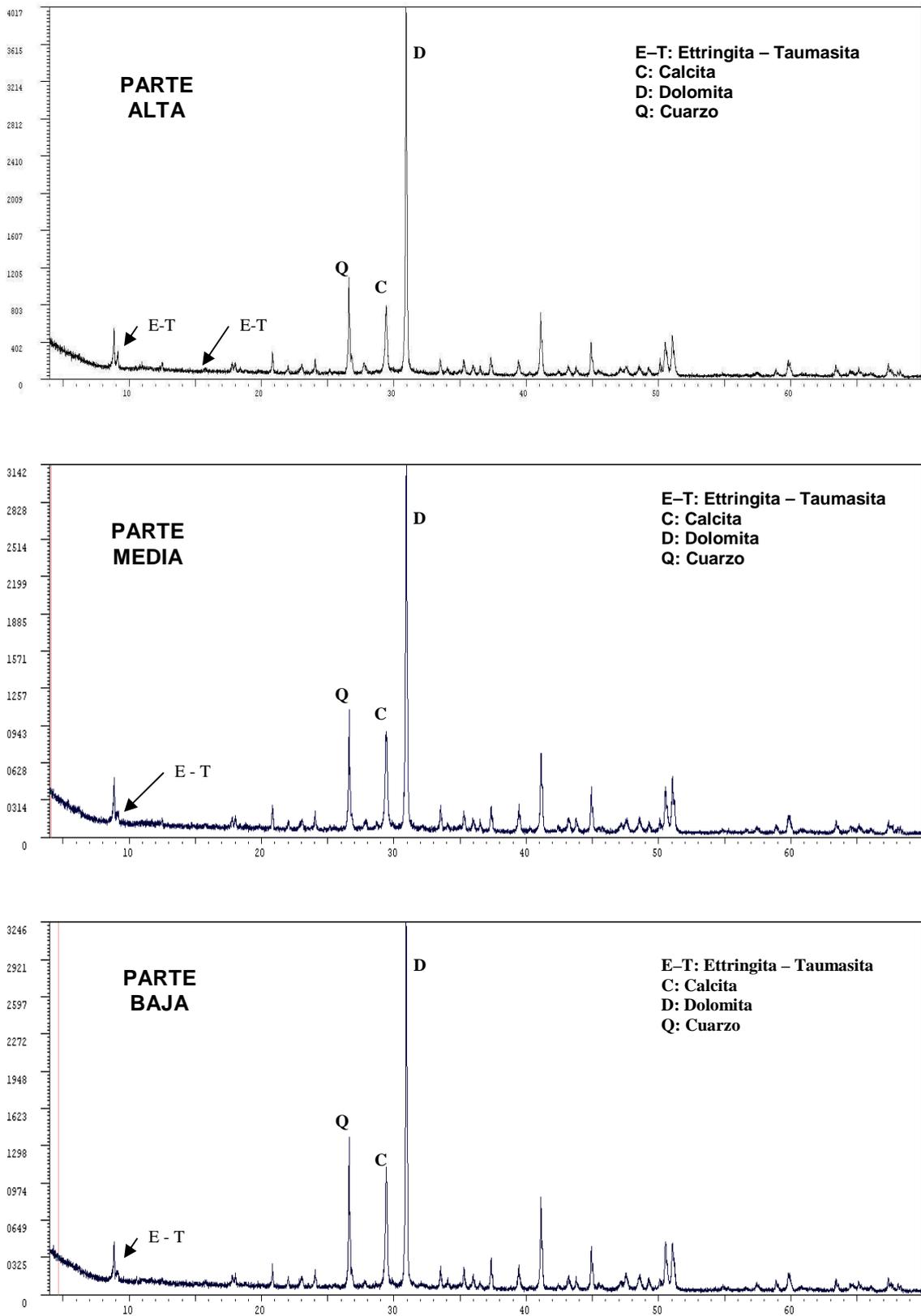


Fig. 130: Difractograma de R-X del material extraído de la franja tomada entre 1 y5 mm del material en el hormigón autocompactante.

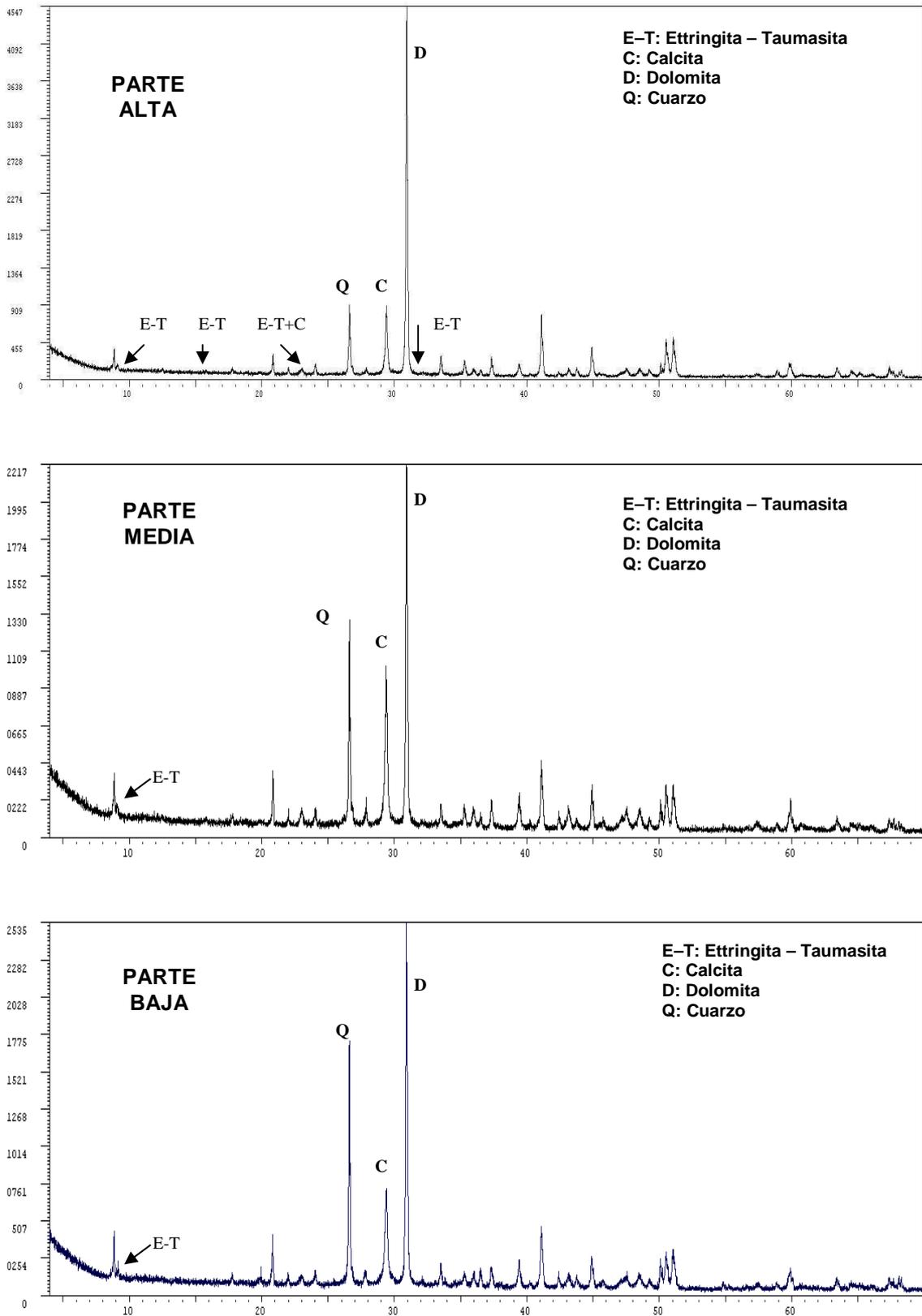


Fig. 131: Difractograma de R-X de la capa superficial de 1mm del hormigón vibrado.

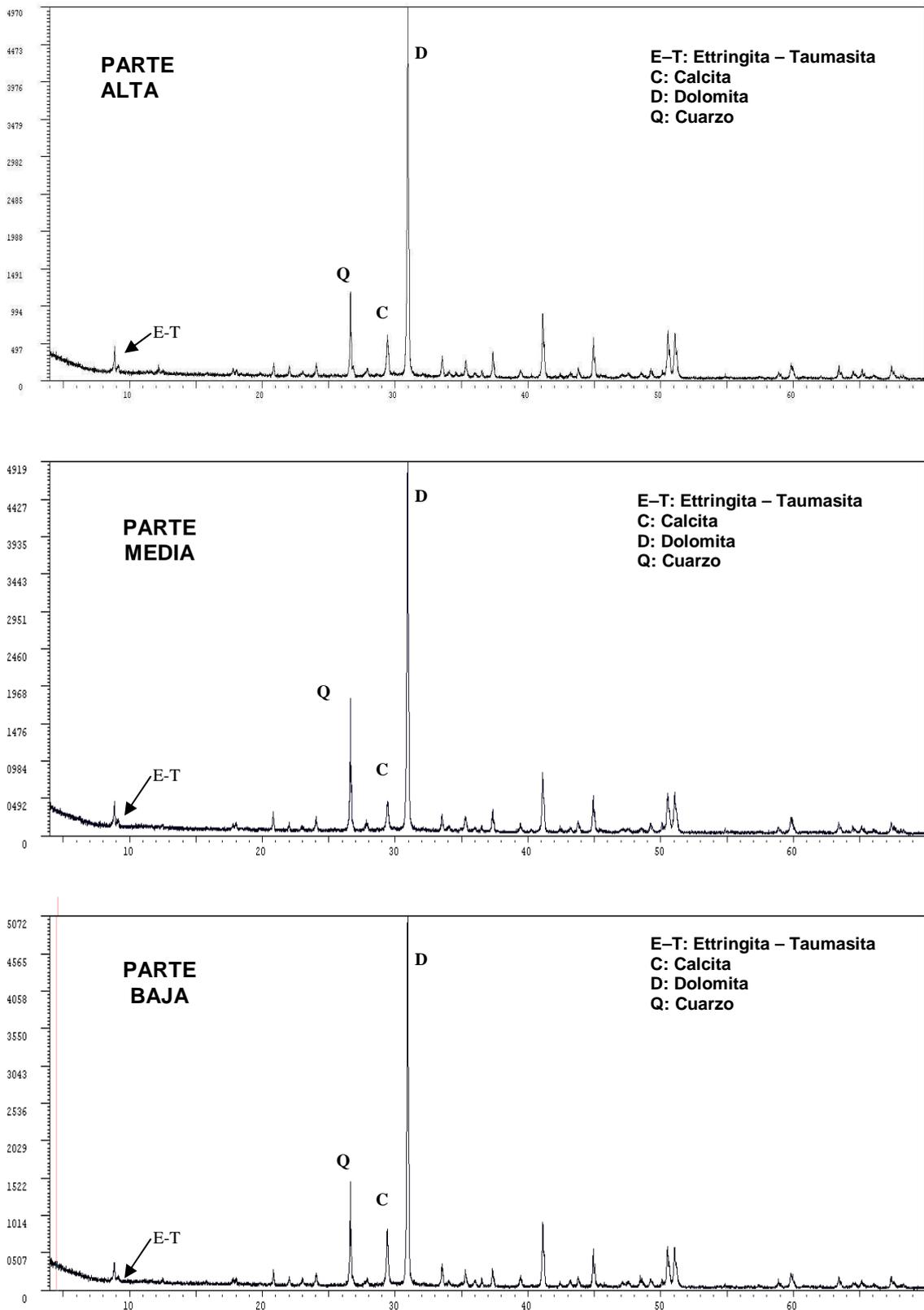


Fig. 132: Difractograma de R-X del material extraído de la franja tomada entre 1 y 5 mm del material en el hormigón vibrado.

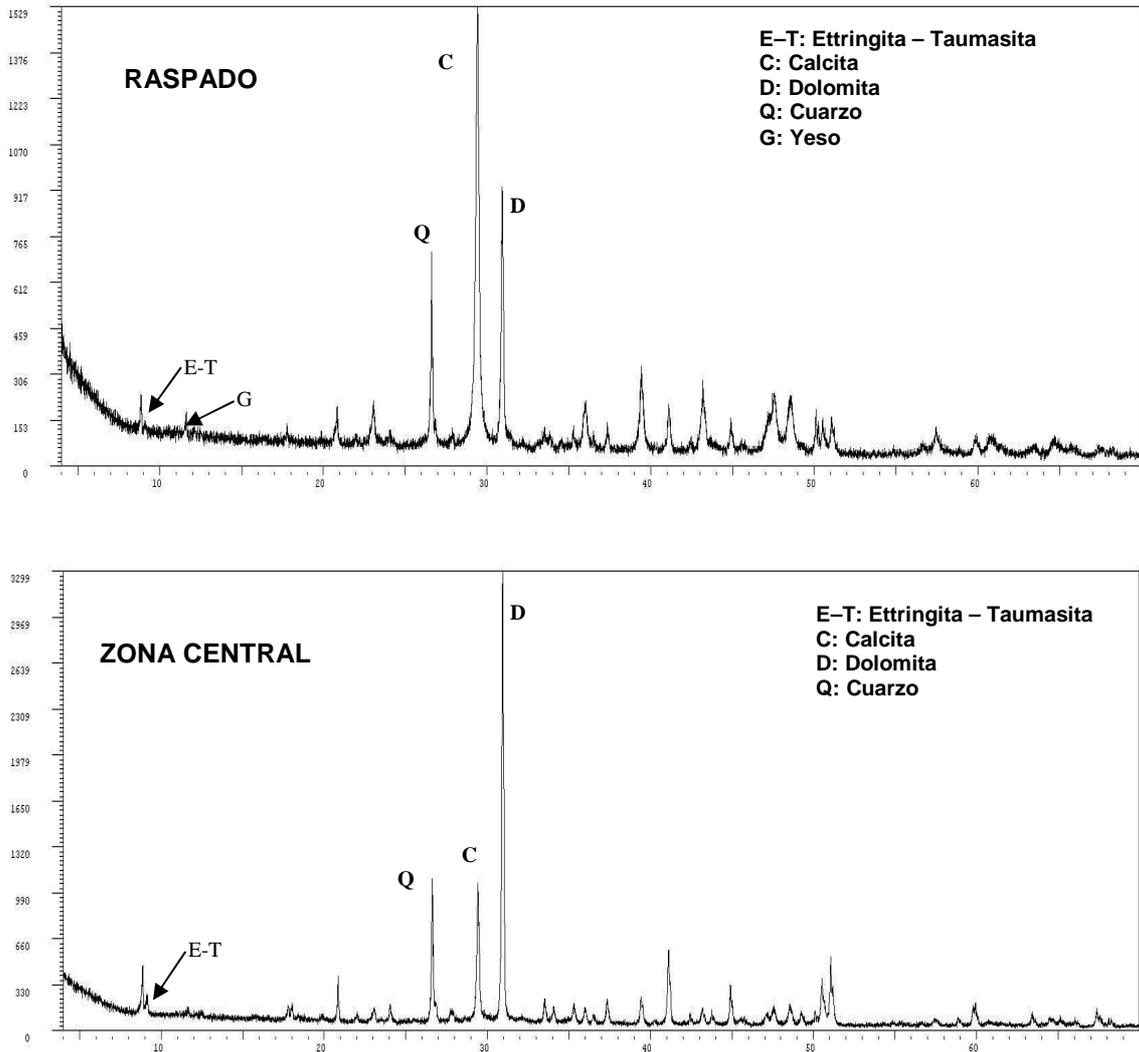


Fig. 133: Difractograma de R-X del raspado de la superficie y de la zona central del hormigón autocompactante.

Los diagramas de difracción de R-X muestran una estructura mineralógica muy semejante en ambos hormigones y en las distintas partes de las probetas ensayadas, si bien se observan ligeras diferencias, sobre todo, según las zonas de donde se han extraído las muestras. En todo caso, pueden destacarse los siguientes aspectos:

- En el material raspado de la superficie de las probetas aparecen de forma más ostensible los picos correspondientes a la calcita, lo que cabe atribuir a que se ha producido una capa superficial de carbonato cálcico, resultado de la abundante presencia de hidróxido cálcico en la disolución de ataque que se ha carbonatado, depositándose preferentemente en la superficie de las probetas de hormigón.

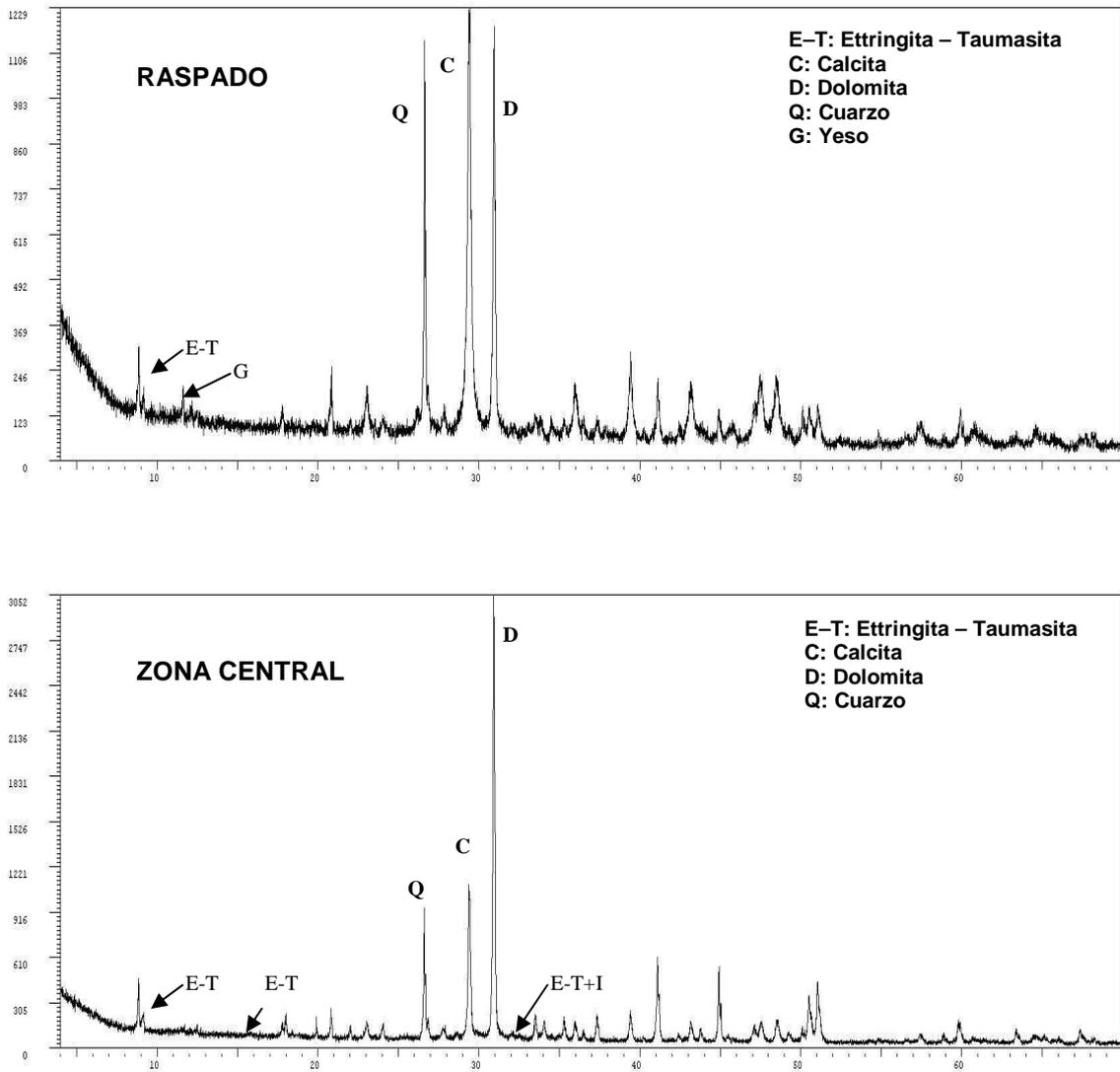


Fig. 134: Difractograma de R-X del raspado de la superficie y de la zona central del hormigón vibrado

- Lógicamente, la capa superficial debería estar contaminada de yeso. En consecuencia el material raspado de ambos hormigones se observan picos correspondientes al yeso, los cuales no aparecen en las muestras extraídas de otras partes de las probetas, ni siquiera en el material de la capa superficial de 1 mm, en este caso quizás por la presencia de gran cantidad de mineral muy cristalino que seguramente enmascara su aparición.
- Como era de esperar, en el HAC son más ostensibles los picos correspondientes a la calcita que en el HV, consecuencia lógica de la mayor proporción de filler calizo que se aporta en su dosificación.
- En prácticamente en todas las muestras de ambos hormigones se observan indicios de ettringita y taumasita (picos E-T), sobre todo, en el material extraído de las zonas menos superficiales. Esto induce a pensar que estas sustancias aparecen debido al proceso de una atracción normal de cemento y no a un proceso de ataque por la disolución saturada de yeso. La ausencia de picos E-T

en las muestras de polvo tomadas en las zonas mas superficiales pueda deberse tal vez a su disolución en el medio acuoso donde han permanecido las probetas y/o a cierto enmascaramiento en el diagrama debida a la elevada proporción de calcita depositada en estas zonas.

- No se han observado diferencias significativas de la estructura mineralógica entre las partes altas, medias y bajas de las probetas de ambos hormigones. El periodo relativamente corto de permanencia de las muestras en la disolución saturada de yeso y la semejanza de ambos hormigones en todas las partes podrían justificar esta similitud de comportamiento.
- La interpretación de los datos contenidos diagramas de R-X expuesta en los anteriores apartados permite concluir que todavía no se ha producido ataque destructivo en los hormigones debido de la aparición de sustancias expansivas del tipo ettringita- taumasita al estar por defecto con la disolución saturada de yeso. Por tanto, todavía no se ha podido evaluar el efecto del elevado contenido de filler calizo en los hormigones autocompactantes ni los efectos de la puesta en obra, aunque según el resto de los parámetros estudiados las diferencias, sobre todo de porosidad, entre las partes de las probetas han resultado ser poco significativas.