

## RESISTENCIA Y TENACIDAD DE MORTEROS CON VIRUTAS DE CUERO

Beriain, F. A. A.<sup>1</sup> y Zerbino, R.<sup>2</sup>

### RESUMEN

En los últimos años se han desarrollado con interés creciente, estudios para el aprovechamiento y disposición de residuos en materiales de la construcción. En este trabajo se presenta un estudio experimental sobre las propiedades de morteros que incorporan un residuo sólido de la industria del cuero conocido con el nombre de "Virutas", evaluando los efectos que las mismas provocan sobre la deformabilidad del material y cuantificando el aporte en tenacidad que estas proveen, tanto en morteros como en hormigones. Se realiza un estudio comparativo con un mortero sin virutas, incluyendo ensayos de impacto por caída libre y la determinación del comportamiento tensión – deformación en ensayos de flexión y compresión. Además se incluyen medidas de resistencia a tracción por compresión diametral, absorción y densidad.

### INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento y disposición de residuos constituye una de las prioridades para el siglo XXI. En este sentido el hormigón y otros materiales de la construcción aparecen como uno de los medios más propicios, con numerosos ejemplos que incluyen el uso de escorias, cenizas volantes y otros subproductos industriales, así como también reciclado de hormigones, disposición de residuos de la industria del vidrio y cenizas de residuos patogénicos, entre otros. En particular en el LEMIT se han estudiado dos residuos sólidos de la industria del cuero conocidos como "pelo" y "virutas", evaluando su compatibilidad con algunos ligantes cálcicos (cemento y cal), ajustando las proporciones de las mezclas y valorando las propiedades físicas y mecánicas.

Ensayos preliminares (1) mostraron que la incorporación de virutas de cuero en materiales cálcicos, produce entre otras cosas, una reducción de la densidad, un aumento de la absorción, un incremento de la deformabilidad y una importante pérdida de resistencia estática del material. Su justificación es inmediata y sencilla considerando la alta deformabilidad del residuo, su alta absorción y su baja resistencia. Teniendo en cuenta los mecanismos de transferencia de energía, la mayor deformabilidad del mortero con virutas, podría ser un aspecto favorable al momento de considerar la respuesta del material ante sollicitaciones dinámicas, mientras que la menor resistencia estática actuaría en sentido opuesto.

Este trabajo presenta un estudio experimental sobre el aporte en tenacidad que las virutas de cuero provocan en los morteros de matriz cementicea. Se incluyen ensayos de impacto y ensayos de flexión y compresión instrumentados para obtener las curvas carga deformación incluyendo la zona de post-pico. Complementariamente se incluyen medidas

---

<sup>1</sup> Becario CIC-LEMIT-CITEC

<sup>2</sup> Investigador CONICET-LEMIT- Prof. UNLP

flavioberiain@hotmail.com

de resistencia a tracción por compresión diametral, absorción y densidad. El estudio resulta de aplicación desde el punto de vista básico para considerar el efecto de la incorporación de inclusiones de alta deformabilidad en matrices de cemento portland.

## MEDIDAS DE LA RESISTENCIA AL IMPACTO Y TENACIDAD

El impacto de un cuerpo con otro es una transferencia de energía que se produce mediante un pulso casi instantáneo, cuya magnitud depende de la masa y velocidad del cuerpo que impacta. Al chocar la energía cinética es transmitida en parte al elemento impactado, respondiendo a esta transferencia mediante dos mecanismos: uno por medio del cual absorbe energía en su masa transformándola en una energía de deformación y en una energía de fisuración (disipación interna). El otro, transfiriendo energía desde el blanco a sus apoyos (disipación externa). Cuanto más frágil es el material, más significativa es la parte de la energía de impacto que se disipa por vibraciones de la máquina de ensayo, y a mayor capacidad de la máquina, mayor es la pérdida de energía por este medio.

Por lo tanto para caracterizar un material frente al impacto, se debe estudiar la forma en que el material responde ante tal transferencia de energía, es decir si lo hace fisurándose y/o deformándose. Obviamente, resultan más atractivos los materiales más tenaces, es decir, los que absorben energía deformándose.

Por otro lado, la resistencia al impacto es una propiedad que debe ser determinada en función de la aplicación que se pretende para al material en cuestión, por lo que los métodos son variados y aplicables a diferentes situaciones. Por ejemplo, en construcciones militares, es de utilidad valorar la resistencia de elementos tipo tabique frente a impactos balísticos o explosiones. En otros casos como pisos industriales o revestimientos, es útil la caracterización mediante la resistencia de golpes por caída libre.

Entre los ensayos más aceptados para evaluar la resistencia al impacto aparecen el de impacto repetido de caída libre de un peso aplicado sobre una probeta tipo disco (2) que somete al material a esfuerzos de tracción por compresión localizada y el impacto de un peso pendular aplicado sobre una probeta tipo viga, que somete al material a esfuerzos de tracción por flexión (3).

Si bien estos ensayos pueden ser útiles para comparar diferentes mezclas, se debe tener en cuenta que sus resultados dependen de la geometría de la probeta, capacidad de repetitividad del ensayo, configuración de la carga y de los criterios de falla predeterminados (4). Además de su alta variabilidad de resultados, este tipo de ensayos no instrumentados puede desestimar las cualidades de ciertos materiales al no registrar la deformabilidad de la probeta y por lo tanto no proveer de la información necesaria para obtener la curva carga-deformación imposibilitando la estimación de la energía de fractura.

Otro concepto íntimamente ligado a la resistencia al impacto es la tenacidad, que se define como la capacidad de absorción de energía de un material para resistir sin romper cuando es sometido a esfuerzos estáticos, dinámicos o cargas de impacto (5). Las dificultades de llevar a cabo ensayos de tracción directa restringen su uso para evaluar la tenacidad y se recomienda el uso del ensayo de flexión. Además de ser más sencillo, el ensayo de flexión simula condiciones de carga de muchas aplicaciones prácticas. Considerando que los materiales a base de cemento portland se emplean principalmente

bajo sollicitaciones de compresión, resulta de interés obtener la curva carga-deformación en compresión y a partir de ésta tener una valoración comparativa de la tenacidad. De todos modos cabe aclarar que mientras en los ensayos de flexión las medidas de las deformaciones se realizan sobre una zona de fractura que queda claramente definida (las curvas carga – flecha o carga – apertura de fisuras pueden emplearse para estimar valores de la energía de fractura) en los ensayos de compresión sólo se valora un comportamiento generalizado de toda la probeta.

## PROGRAMA EXPERIMENTAL

### Materiales y mezclas

En este trabajo se compara la respuesta de dos morteros de consistencia similar, un mortero convencional (muestra de referencia, C) y un mortero con 10 % en peso de cemento de viruta de cuero (V). Pretendiendo poner de manifiesto la influencia de dicho residuo ante tales sollicitaciones, se elaboraron dos mezclas con las mismas proporciones de sus materiales componentes, diferenciándose únicamente en la incorporación o no de la viruta de cuero (Virutas sin Cromo). La viruta ocupa un volumen significativo que modifica la densidad de la mezcla, además de generar un aumento en la demanda de agua si se desea realizar la compactación en forma convencional.

En la Tabla 1 se muestran las proporciones en  $\text{kg/m}^3$  de los componentes de ambos morteros. Los materiales utilizados fueron cemento CPC-40 y arena silíceo natural. En la Tabla 2 se incluyen resultados del análisis de la viruta de cuero.

Tabla 1. Proporciones ( $\text{kg/m}^3$ ) de los morteros.

Morteros	Cemento	Arena	Agua	Viruta
C	480	1440	240	0
V	440	1317	220	44

Ambos morteros fueron elaborados en una hormigonera de eje vertical, en pastones de 100 litros, alcanzando una adecuada consistencia en estado fresco para moldear y terminar las probetas con facilidad. Si bien el mortero con viruta (V) tuvo una consistencia un poco más seca debido a la alta absorción del residuo, para no modificar la relación agua/cemento, se humedeció al residuo con una cantidad de agua equivalente a 1.5 veces su peso. Ambas mezclas fueron compactadas manualmente mediante la técnica de varillado.

Cabe destacar que al utilizar una pequeña proporción de viruta de cuero no se produjo un retardo apreciable en el tiempo de fraguado, permitiendo el desmolde a las 24 horas. Todas las probetas fueron curadas en cámara húmeda durante 28 días, luego se dejaron en ambiente de laboratorio hasta el momento del ensayo (90 días).

Tabla 2. Análisis de las virutas utilizadas.

Estudio Granulométrico	
Retenido tamiz 4 (4.75 mm)	15.0 %
Retenido tamiz 12 (1.70 mm)	28.0 %
Retenido tamiz 16 (1.18 mm)	10.0 %
Pasa tamiz 16 (< 1.18 mm)	46.8 %
Análisis Químico (*)	
Cenizas (600 °C)	7.2 %
Materias Grasas (Solubles en diclorometano)	0.8 %
Nitrógeno total	14.2 %
Sólidos solubles totales (Sust. Org. + inorg.)	7.6 %
Sólidos solubles volátiles	6.0 %
Cloruros (NaCl)	2.2 %
Sulfatos (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	2.0 %
Valor del pH del extracto acuoso	6.8 %
(*) Todos los porcentajes están referidos a base seca de virutas	

## Procedimientos de ensayo

### Impacto repetido

Uno de los dos métodos aceptados para evaluar la resistencia al impacto y escogido para ser utilizado en esta oportunidad, es el de Impacto repetido por caída libre. Un esquema del equipamiento se muestra en la Fig. 1.

La medida standard de la probeta para este ensayo es de 6'' (15 cm) de diámetro y 2 1/2'' (6.3 cm) de altura, pudiéndose variar esta última medida para valorar los efectos del espesor en la resistencia al impacto o para seleccionar un espesor, de acuerdo a esta propiedad, para una aplicación en particular del material.

La probeta de ensayo se coloca sobre una base lo suficientemente rígida como para no disipar energía externamente en cada golpe y con libertad de moverse horizontalmente una distancia igual a 3/16'', distancia para la cual se encuentran los "topes" del equipo. Sobre el centro de la probeta se coloca una esfera de acero maciza con libertad de moverse verticalmente dentro de un cilindro sujetado por un soporte de acero tomado de los topes del equipo. Dicha esfera es golpeada por un martillo y se toma en cuenta el número de golpes (NG), hasta producir un nivel de daño predeterminado conforme la aplicación que se designe para el material en cuestión así como también del tipo de material.

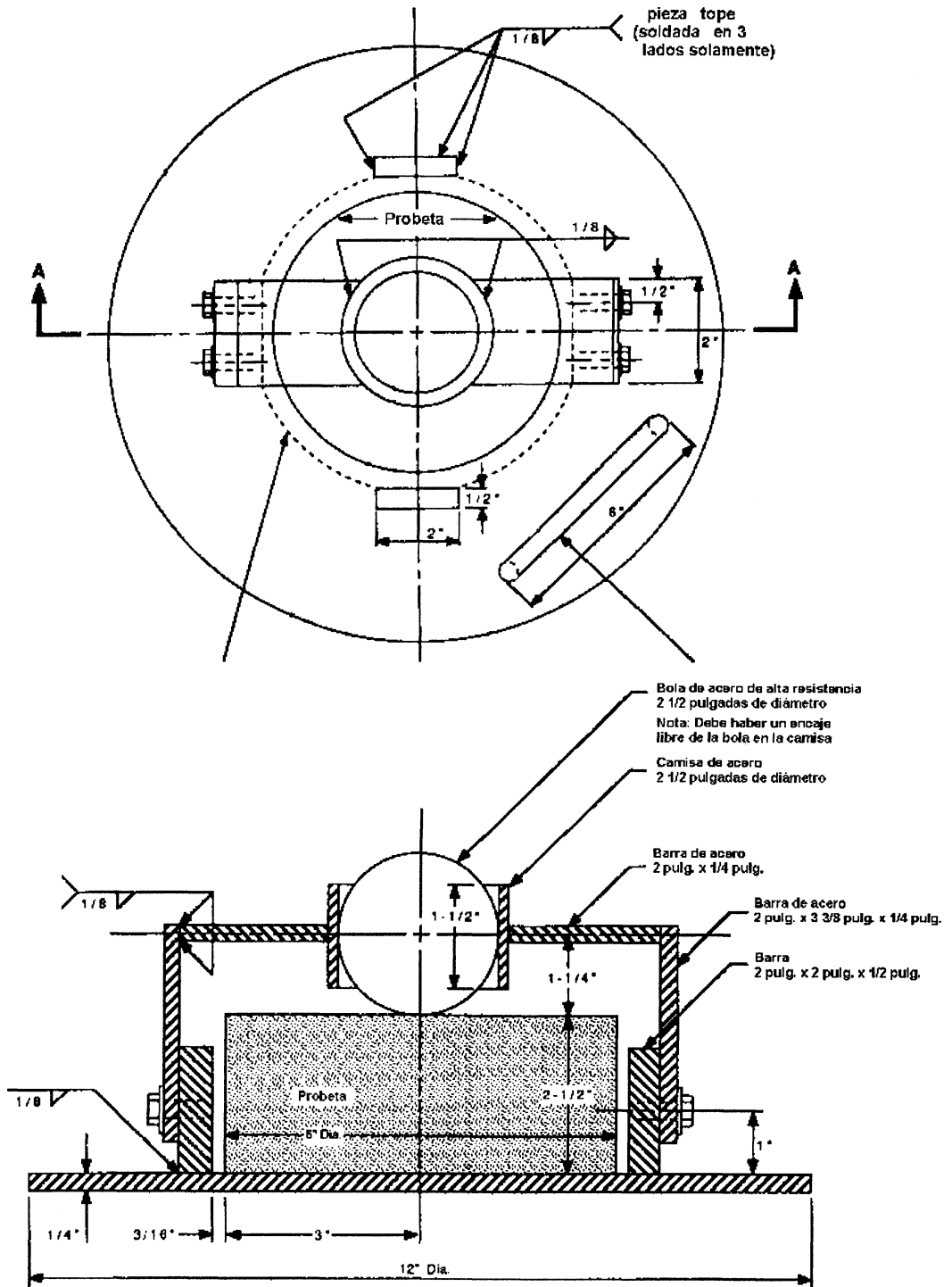


Fig. 1. Esquema del equipo para el ensayo de impacto por caída libre.

Para hormigones convencionales generalmente se registra el NG para el final del ensayo, definido por el NG que provoca una fisura de espesor superior a los 3 mm o que la probeta toque 3 de los 4 toques del aparato; en hormigones reforzados con fibras de acero se registra además el NG para diferentes aberturas de fisuras, 1 mm, 3 mm, etc. El martillo generalmente empleado es el que se utiliza para compactar probetas de asfalto (Ensayo Proctor o Proctor modificado) cuyo peso es de 4.50 kg y con una altura de caída de 45.7 cm por lo que en cada golpe se imprime una energía de 20.2 Nm.

Como debilidades se ha observado que los resultados de este ensayo muestran una alta dispersión y posee una configuración muy sensible al sistema en el que se soporta el plato de ensayo. De todos modos el número de golpes sirve como estimación cualitativa de la energía absorbida por la probeta para un dado nivel de deterioro.

En esta oportunidad se moldearon con cada mortero 7 probetas de 15 cm de diámetro y 6.5 cm de altura utilizando moldes de acero con base rectificada (Fig. 2). El ensayo también se puede realizar sobre rodajas cortadas de las probetas cilíndricas utilizadas para compresión, pero dado que la superficie de apoyo de la probeta influye significativamente en los resultados se prefirió el uso de probetas con las medidas definitivas.

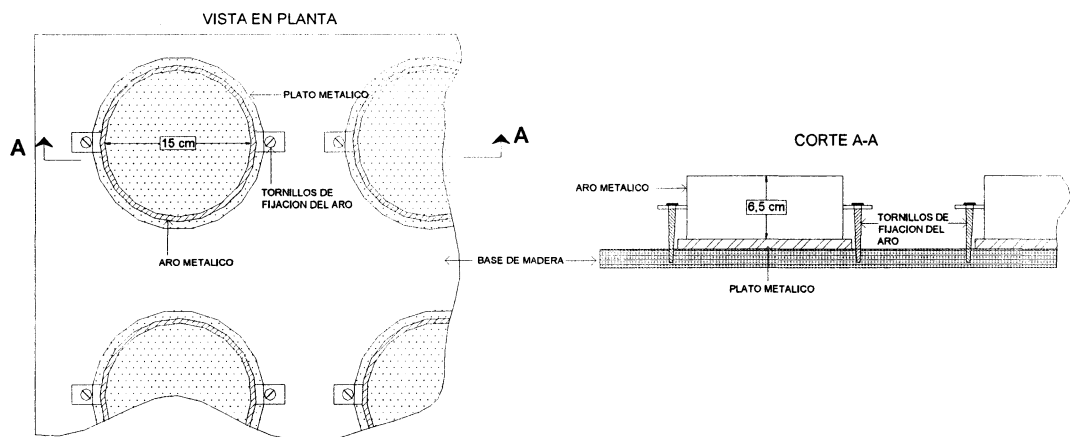


Figura 2. Esquema de los moldes para las probetas del ensayo de impacto.

En lo que se refiere al sistema de ensayo se utilizó como base un prisma macizo de acero firmemente apoyado al suelo solidario con un marco metálico por donde se deslizaba una pesa de 14 kg que impactaba sobre la esfera de acero desde una altura de 14 cm, resultando una energía de impacto del orden de 20 Nm. De este modo, se registró el número de golpes requerido para provocar una fisura de 3 mm de espesor o para hacer que la probeta tocara tres de los cuatro toques laterales del plato, los que se definieron como los momentos para los que se consideraba el final del ensayo.

Curvas carga - deformación en flexión

Se obtuvieron las curvas carga – flecha y carga – apertura de fisura (CMOD) de cada mortero utilizando una máquina con control por lazo cerrado. Para esto se moldearon en cada caso 3 prismas de 75 x 100 x 430 mm a los que se les realizó una entalladura por aserrado de la mitad de la altura. Los prismas fueron ensayados con carga central empleando una distancia entre apoyos de 35 cm, disponiendo un extensómetro tipo LVDT para determinar la flecha que fue utilizado a su vez para controlar la velocidad de ensayo (0.02 mm/min) y otro extensómetro tipo clip para determinar la apertura de fisura (CMOD). En la Fig. 3. se observa un esquema de la probeta y del instrumental y en la Fig. 4 una foto durante el desarrollo del ensayo.

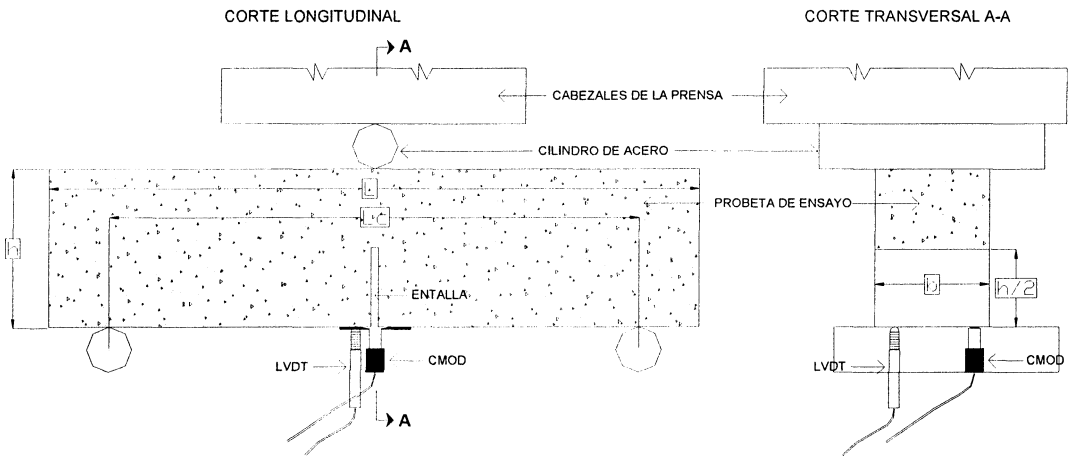


Figura 3. Esquema del montaje del ensayo de flexión.

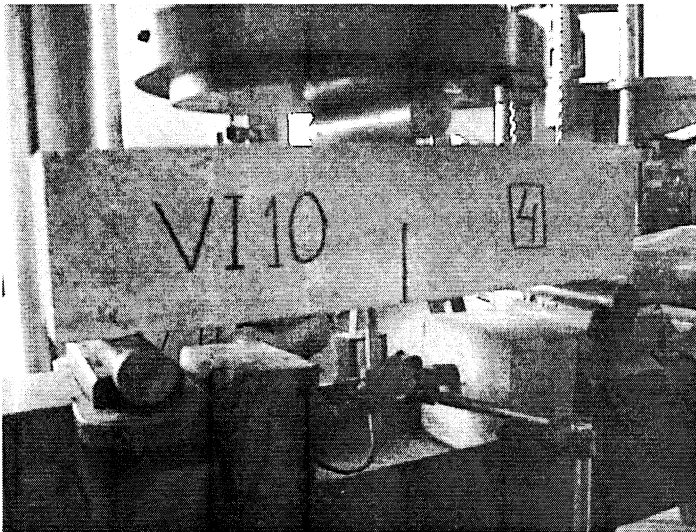


Figura 4. Ensayos de flexión sobre vigas entalladas.

### Curvas carga - deformación en compresión

Para analizar la respuesta en compresión se moldearon 3 cilindros de 10 x 20 cm para cada uno de los pastones. Las muestras fueron ensayadas en una máquina con control por lazo cerrado empleando la señal de un extensómetro tipo "Clip" fijo entre los marcos habitualmente empleados para medir las deformaciones axiales y a partir de ellas determinar el módulo de elasticidad. Se utilizó una velocidad de ensayo igual a 0.08 mm/min continuando el mismo durante el postpico hasta una carga de aproximadamente el 40 % de la carga máxima. En la Fig. 5 se observa una foto de la disposición del ensayo. Una probeta de cada grupo fue ensayada directamente a rotura y en las restantes se aplicaron dos ciclos de carga y descarga hasta el 40 % de la carga de rotura. Para el cálculo del módulo de elasticidad se consideró la cuerda entre el 5 % y 40 % de la carga máxima.

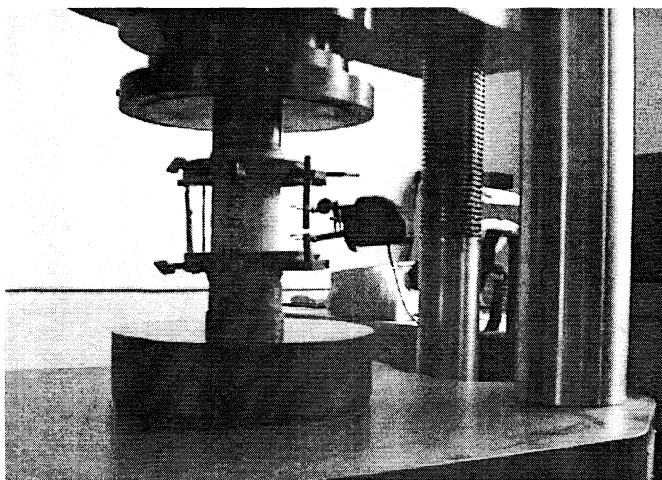


Figura 5. Montaje de los extensómetros para un ensayo de compresión.

### Ensayos complementarios

Complementariamente se determinaron la resistencia a Tracción por Compresión Diametral, así como la absorción y densidad a fin de completar la caracterización de los morteros.

El ensayo de Tracción por Compresión Diametral se realizó sobre las mitades de los prismas resultantes del ensayo de flexión, aplicando la carga a través de piezas semicilíndricas apoyadas sobre pequeños listones de madera de 4 mm de espesor, 4 mm de ancho y la longitud de la pieza, ubicados en caras opuestas de la probeta. La Fig. 6 muestra un esquema del ensayo.

Para determinar la absorción y densidad de ambos morteros se utilizaron fragmentos de dimensiones similares (aproximadamente 380 cm<sup>3</sup>) obtenidos a partir de las muestras ensayadas a impacto. Las determinaciones se realizaron siguiendo la Norma ASTM 642-90.



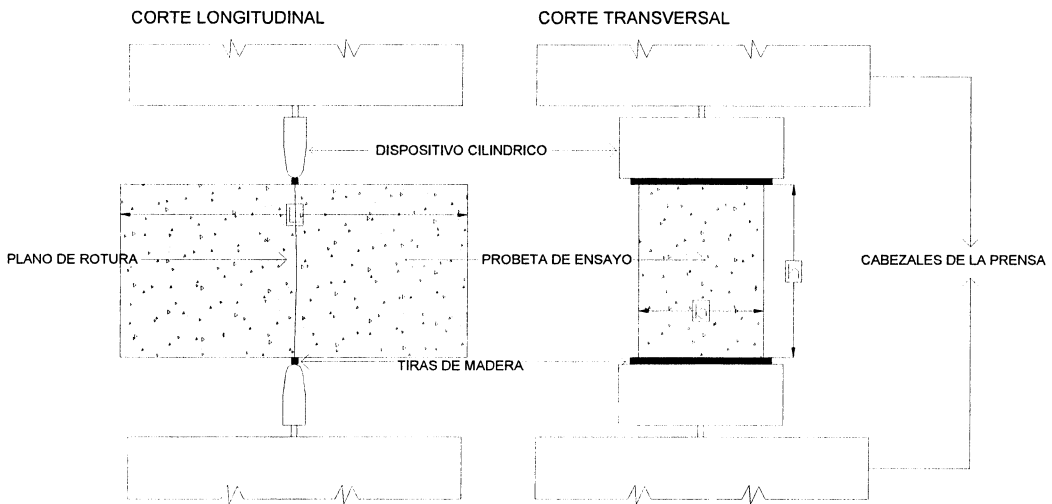


Figura 6. Esquema de la disposición de ensayo para la valoración de la resistencia a tracción por compresión diametral.

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### Ensayos de Impacto

En la Tabla 3 se observan los resultados obtenidos del ensayo en cuestión. Se indican el número de golpes (NG) promedio, y los valores máximo y mínimo. A pesar de la alta dispersión de resultados, y teniendo en cuenta las limitaciones del ensayo, se puede afirmar que las virutas de cuero no produjeron beneficios en la resistencia al impacto dado que el número de golpes promedio se redujo casi al tercio del correspondiente al mortero convencional. De todos modos se puede apreciar que los valores máximos y mínimos del mortero C son mayores y menores que el mortero con virutas. Finalmente, respecto al ensayo en sí mismo cabe notar que en todos los casos la diferencia del número de golpes necesario para producir la primera fisura y para alcanzar el final del ensayo, cuando existió, fue de 1 o 2 golpes.

En las Figs. 7 y 8 se observa respectivamente el aspecto que presentan las probetas de los morteros C y V luego del ensayo.

Tabla 3. Resultados del Ensayo de Impacto.

MUESTRA	NG	NG máx	NG mín	Desv. St.	Dispersión
C	39	90	3	30	76
V	14	23	6	7	50

Observaciones: NG correspondiente al promedio de 7 probetas por mezcla.

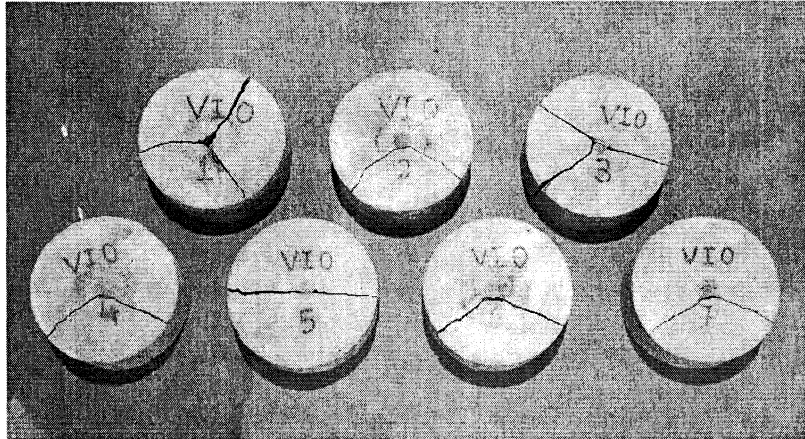


Figura 7. Probetas C (sin viruta) luego del ensayo de Impacto.

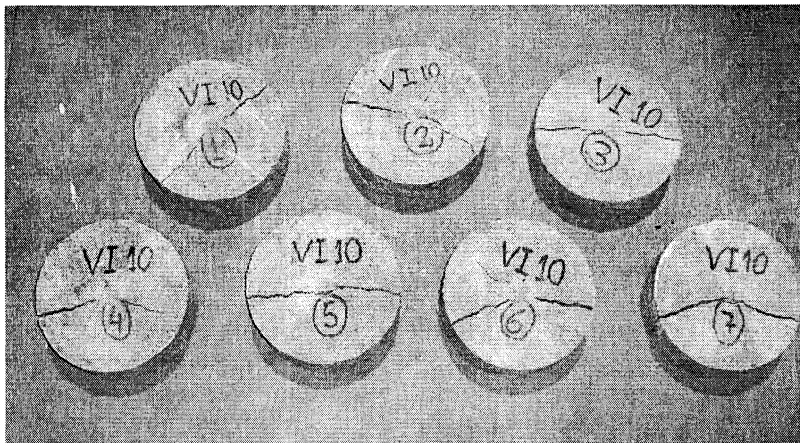


Figura 8. Probetas V (10 % de viruta) luego del ensayo de Impacto.

### Comportamiento en Flexión

En la Tabla 4 se presentan los resultados del ensayo de flexión del mortero con virutas (V) y de referencia (C), se incluyen la tensión máxima ( $f_{net}$ ) la energía de fractura ( $G_F$ ) calculada como trabajo en fractura a partir del área bajo la curva carga – flecha y los valores de flecha y apertura de fisura registrados para la carga pico y cuando la carga se reduce al 10 % de la carga de máxima.

En las Fig. 9 y 10 se comparan las curvas carga – flecha y carga – apertura de fisura en flexión de los morteros C y V representando la probeta que más se aproxima al comportamiento medio.

Tabla 4. Resultados del ensayo de flexión.

MORTERO		f <sub>net</sub> (MPa)	G <sub>F</sub> (N/m)	Flecha (μm)		CMOD (μm)	
				pico	final	pico	final
C	Promedio	3.7	69	86	334	38	374
	Desv.std	0.3	1	7	14	7	50
V	Promedio	3.2	128	125	820	58	877
	Desv.std	0.2	7	13	39	1	56

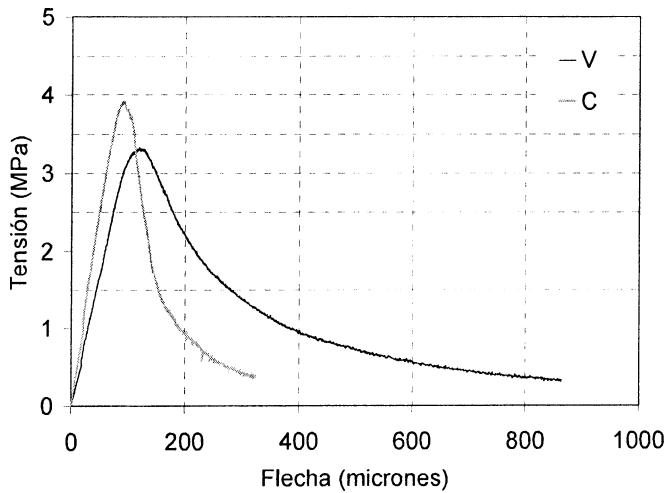


Figura 9. Curvas carga - flecha obtenidas en el ensayo de flexión.

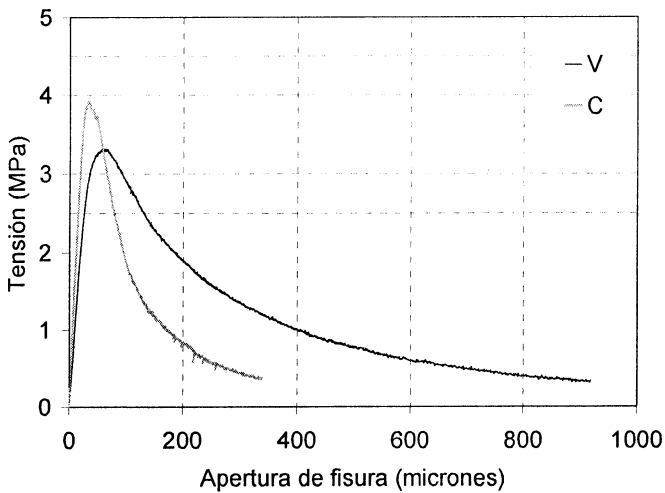


Figura 10. Curvas carga - apertura de fisura obtenidas en el ensayo de flexión.

Es posible observar que en el mortero con virutas tanto la flecha como la apertura de fisura para la carga máxima y más aún para la deformación final, se incrementan significativamente con respecto al mortero C, denotando una mayor capacidad de deformación aportada por la viruta de cuero. Por otro lado se observa que la resistencia a tracción por flexión ( $f_{net}$ ) sólo se reduce un 20 % respecto al mortero sin virutas. Estas dos circunstancias (aumento apreciable de la deformabilidad y una leve disminución de la resistencia) se traducen en un incremento del orden del 40 % del área bajo la curva de la mezcla con viruta de cuero respecto al mortero convencional.

### Comportamiento en Compresión

En la Tabla 5 se presentan para cada probeta los resultados del ensayo de compresión y en la Fig. 11 las curvas obtenidas para los morteros V y C. La presencia de la viruta de cuero provoca dos efectos significativos: una importante disminución de la resistencia (mucho más importante que en el caso de flexión) y un aumento de la deformabilidad final. Como valores de referencia, la resistencia se reduce al 33 % y el módulo de elasticidad al 45 % del medido para el mortero C. Nuevamente estos dos factores conducen a un incremento en el área bajo la curva. En la tabla se indican los valores de dicha área hasta la carga pico y luego en la descarga hasta el 60 % de la misma, así como los valores relativos (área /  $f'c$ ), que indican un crecimiento en la tenacidad relativa del mortero con virutas.

Tabla 5.- Resultados del ensayo de Compresión.

MORTERO		$f'c$ (MPa)	E (GPa)	$\epsilon_{pico}$ (mm/m)	Area (MPa.10 <sup>6</sup> )		Area / $f'c$ (10 <sup>-6</sup> )	
					pico	60 % $f'c$	pico	60 % $f'c$
C	Promedio	29.8	25.6	2.3	42.8	62.5	1.4	2.1
	Desv.std	1.6	0.7	0.1	5.3	9.1	0.2	0.3
V	Promedio	9.9	11.6	2.0	95.4	256.6	9.6	26.0
	Desv.std	0.3	0.1	0.2	8.1	78.7	0.9	8.7

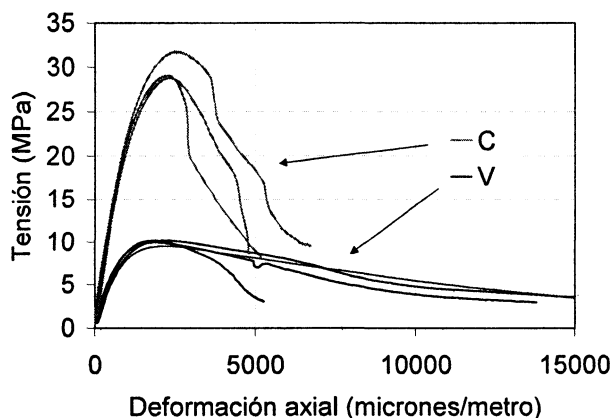


Figura 11. Curvas tensión – deformación en compresión.

## Otras propiedades

En la Tabla 6, se muestran los resultados de resistencia a tracción por compresión diametral, densidad y absorción de ambas mezclas. Como se puede observar, la resistencia a tracción del mortero con viruta de cuero dada por este ensayo arroja valores de aproximadamente el 50 % del convencional, diferencia mucho más importante que la obtenida en el ensayo de tracción por flexión. Al mismo tiempo se verifica la disminución en densidad y la mayor absorción en el mortero con virutas.

Tabla 6. Resistencia a tracción por compresión diametral, densidad y absorción.

MORTERO		$f_t$ (MPa)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Absorción (%)
C	Promedio	3.1	1.99	8.3
	Desv. Std	0.1	0.02	0.2
V	Promedio	1.7	1.83	10.4
	Desv. Std	0.1	0.02	0.5

## DISCUSION

En este trabajo se analiza el efecto de la incorporación de virutas en morteros de cemento portland. La presencia de este material, aún en un bajo porcentaje modifica las propiedades mecánicas. Estudios anteriores (1) habían mostrado fuertes caídas en la resistencia a compresión, a la vez que se verificaba un aumento en la capacidad de deformación.

Para estas experiencias se realizaron ensayos de impacto por caída libre y se midieron las curvas tensión deformación en flexión sobre probetas entalladas y en compresión sobre cilindros. En la Tabla 7 se comparan la relación V/C para cada uno de los valores obtenidos en cada caso considerado.

Tabla 7. Efecto de la incorporación de virutas, valores relativos (%).

Ensayo de compresión									
Propiedad	$f'_c$	E	$\epsilon_{pico}$	Area (MPa.10 <sup>-6</sup> )		Area / $f'_c$ (10 <sup>-6</sup> )			
				pico	60 % $f'_c$	pico	60 % $f'_c$		
V/C	33	45	87	223	411	686	1238		
Ensayos de flexión, tracción, densidad y absorción									
Propiedad	$f_t$	Densidad	Absorción	$f_{net}$	$G_F$	Flecha ( $\mu$ m)		CMOD ( $\mu$ m)	
						pico	final	pico	final
V/C	55	92	125	86	186	145	246	153	234

En coincidencia con las experiencias previas se observa que la incorporación de aproximadamente  $45 \text{ kg/m}^3$  (10 % del peso de cemento) de viruta de cuero en un mortero provoca una disminución en el peso unitario cercana al 10 % y un incremento en la absorción de agua del 25 %.

La presencia de estas zonas con viruta constituye prácticamente una cavidad en el material y da lugar a una importante disminución de la resistencia. En este sentido la resistencia a tracción por compresión diametral se reduce un 45 % y mucho más la resistencia a compresión (-67 %).

Por el contrario la disminución de la resistencia a flexión fue menor al 20 %, probablemente por verse favorecido el material con una mayor capacidad de deformación. Al respecto se verifica una disminución del módulo de elasticidad en compresión de más del 50 % y deformaciones en flexión considerablemente mayores, tanto en el caso de la flecha como la apertura de fisuras, que para el final del ensayo crecieron aproximadamente al doble.

La respuesta en flexión condujo a un incremento bastante importante del área bajo la curva y por consiguiente del trabajo de fractura. Sin embargo esto no se vió reflejado en el comportamiento frente al impacto donde, con las limitaciones que muestra el ensayo con un alta dispersión de valores, la tendencia indica una disminución en el número de golpes que soportaron las muestras (-55 %).

Finalmente la deformación en rotura a compresión fue levemente inferior (-12 %) y el área bajo la curva en compresión (hasta una deformación en el postpico correspondiente al 30 % de la carga máxima) también disminuye, aproximadamente un 30 %.

Considerando los valores relativos de las propiedades aquí estudiadas se comprueba que la presencia de estas zonas de mayor debilidad que actúan prácticamente como vacíos provoca un aumento considerable de la relación tracción / compresión, particularmente a flexión como también incrementa la tenacidad relativa (relación entre el área bajo la curva y la resistencia) en flexión y en compresión.

## CONCLUSIONES

Estas experiencias indican que este tipo de residuo sólido de la industria del cuero, denominado "virutas", incorporado dentro de un mortero de cemento portland, funciona como grandes vacíos que reducen la resistencia estática con algún aumento en la deformabilidad; esto si bien incrementa la tenacidad relativa no produjo un efecto positivo sobre la resistencia al impacto con el método de ensayo empleado. Se verificaron los efectos previamente observados sobre la absorción y densidad del material.

Estos resultados son de interés desde el punto de vista del estudio de mecanismo de falla en materiales cuasifrágiles evidenciando cómo la presencia de pequeños elementos o partículas altamente deformables dentro de la estructura del material, modifica las propiedades de fractura y consecuentemente la resistencia relativa del sistema.

## REFERENCIAS

- (1) Beriain, F, Zerbino, R. y Cantera, C. "Empleo de Virutas de Cuero en la elaboración de bloques". Informe técnico, LEMIT-CIC, 2004.
- (2) ACI Committee 544, "Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete", ACI Committee Report 544 2R-78, American Concrete Institute, Detroit, 1978, 7 p.
- (3) Gopalaratnam, V. S. and Shah, S. P., John, R., "A Modified Instrumented Charpy Test for Cement-based Composites", Experimental Mechanics, Vol 24, Nº 2, June, 1984, pp. 102-111.
- (4) Gopalaratnam, V. S. and Shah, S. P., Properties of Steel Fiber Reinforced Concrete Subjected to Impact Loading, ACI Journal Proceedings Vol 83, Nº 1, Enero-Febrero, 1986, pp. 117-126
- (5) ACI Committee 544, "Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete" ACI Committee Report 544 2R-88, American Concrete Institute, Detroit, 1988, 10 p.