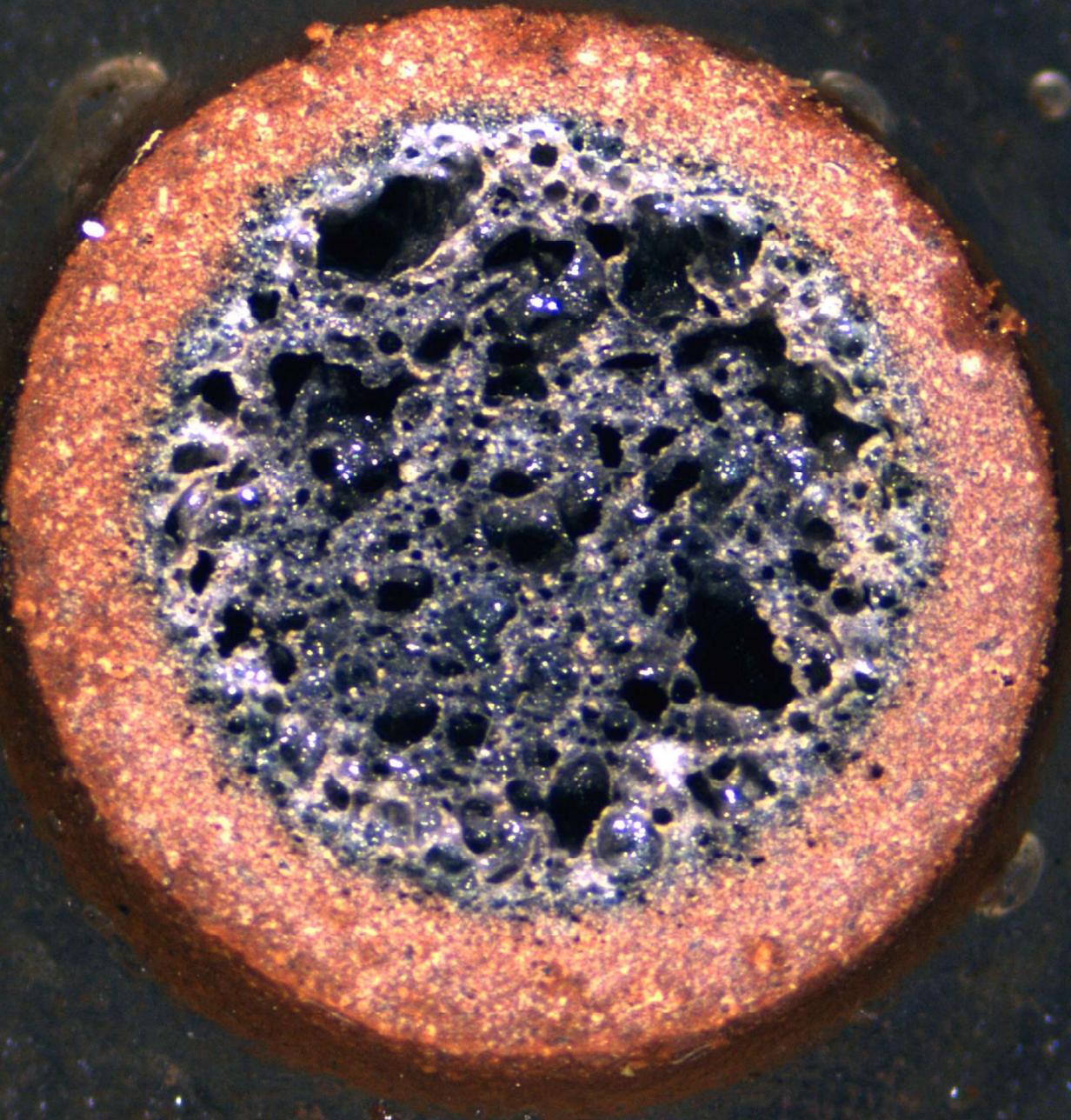


# H65

Revista HORMIGÓN



0.1 cm



ASOCIACIÓN ARGENTINA  
DE TECNOLOGÍA DEL  
**HORMIGÓN**

## Editorial

Estimados socios de la AATH y lectores de la revista Hormigón

Tenemos el agrado de comunicarles que luego de tres años de mucho trabajo, la Revista Hormigón ha sido indexada en Latindex Catálogo 2.0. Esto se logró gracias al apoyo de la AATH y de los numerosos autores que apuestan por la revista. El objetivo primordial de indexar una revista es lograr su visibilidad y difusión, tanto a nivel nacional como internacional, para favorecer un control bibliográfico de la producción científica en la especialidad. Latindex es una red de 24 instituciones cuya misión es reunir y difundir la información sobre las revistas científicas producidas en Iberoamérica. Por otro lado, que la revista esté indexada en el Catálogo Latindex significa que cumple con los más altos estándares de calidad según la metodología de Latindex, posibilitando la presentación a otras bases de datos que siguen estos mismos criterios.

Como es habitual en esta sección compartimos con ustedes algunos datos estadísticos actualizados sobre la actividad de los usuarios en la página web de la revista. Desde su primera publicación online en julio de 2021 se registran visitas desde 73 países, con 30.168 vistas de página (`page_view`) y 3.523 descargas de archivos (`file_download`). Argentina lidera la lista de países con más usuarios (5241), seguida por España (903), México (743), Estados Unidos (611), Perú (589), Chile (481), Colombia (362), China (276), Bolivia (259) y Ecuador (246).

En este número encontrarán dos artículos que fueron seleccionados durante las III Jornadas de Jóvenes Investigadores en Tecnología del Cemento y el Hormigón, llevadas a cabo en la ciudad de Bahía Blanca los días 2 y 3 de noviembre de 2023. Los mismos corresponden a versiones extendidas de los resúmenes presentados en dichas Jornadas y fueron sometidos a evaluación por pares según el procedimiento estipulado en la revista. En el primer artículo se presentan los resultados de un estudio llevado a cabo para la utilización de aserrín como agente formador de poros en la obtención de agregados livianos. El segundo artículo aborda la evaluación de la capacidad de carga de tubos de hormigón reforzado con fibras híbridas.

Aprovechamos la oportunidad para recordarles que durante todo el año se encuentra abierta la recepción de artículos. Los mismos deberán ajustarse a las normas para autores que obran en la página web de la revista y, una vez recibidos, serán sometidos a evaluación por pares.

Podrán encontrar novedades de la revista en nuestra cuenta en Instagram <https://www.instagram.com/revistahormigon/>.

Esperamos contar con sus contribuciones.

Celeste Torrijos  
Directora de la revista Hormigón  
(CONICET-LEMIT-UNLP)

Francisco Locati  
Director asociado de la revista Hormigón  
(CONICET-CICTERRA-UCC)

## SUMARIO

**5 Agregados livianos a partir de lutita y aserrín**

C. Martinefsky, A. Mocciaro, F. Irassar y A. Tironi

**15 Evaluación de la resistencia de tubos de hormigón reforzado con fibras híbridas**

F.A. González y V.C. Rougier

### Dirección de la Revista

Corrientes 2438 - 4º Piso - Oficina 4 (C1046AAP).

Ciudad Autónoma de Buenos Aires – República Argentina.

[www.aath.org.ar](http://www.aath.org.ar)

Entidad con personería jurídica N° 05005/81

### Contacto:

[revistahormigon@gmail.com](mailto:revistahormigon@gmail.com)

Foto de portada: Imagen tomada bajo lupa de un corte de un agregado liviano de lutita y aserrín sinterizado a 1125 °C (de Martinefsky Cecilia).

Los artículos son publicados con la sola responsabilidad de los autores. La Dirección no se solidariza con las opiniones vertidas en los mismos. Los artículos pueden reproducirse total o parcialmente citando la fuente. Registro Nacional de la Propiedad Intelectual N° 5.344.085. Propietario: Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón.

La revista solicita a los autores la obligatoriedad de requerir los datos respaldatorios de las investigaciones y su depósito de acuerdo a la Ley N° 26899, Repositorios Digitales Institucionales de Acceso Abierto.

## Equipo Editorial revista Hormigón

### **Directora**

TORRIJOS, María Celeste

### **Director Asociado**

LOCATI, Francisco

### **Secretaria General**

MARTÍNEZ, Graciela Armenia

### **Comité Editorial**

CORALLO, Patricio

CUENCA ASENSIO, Estefanía

GIACCIO, Graciela

MARFIL, Silvina

MILANESI, Carlos

RAGGIOTTI, Belén

RAHHAL, Viviana

VILLAGRÁN, Yury

## Comisión Directiva AATH

### **Presidente**

RAHHAL, Viviana (Período 2023-2025)

### **Vicepresidente**

SOSA, María Eva (Período 2022-2024)

### **Secretario**

STUMPF, Pablo (Período 2022-2024)

### **Secretario de Actas**

POSITIERI, María Josefina (Período 2023-2025)

### **Tesorero**

FORNASIER, Gastón (Período 2023-2025)

### **Protesorero**

CALO, Diego (Período 2022-2024)

### **Vocal Titular 1°**

ZEGA, Claudio Javier (Período 2023-2025)

### **Vocal Titular 2°**

ROSSETTI, Agustín (Período 2022-2024)

### **Vocal Titular 3°**

PRIANO, Carla (Período 2023-2025)

### **Vocal Titular 4°**

BENÍTEZ, Graciela Alejandra (Período 2022-2024)

### **Vocal Suplente 1°**

ORLANDO, Sebastián (período 2022-2024)

### **Vocal Suplente 2°**

ESPELET, Alejandra (Período 2023-2025)

### **Revisor de cuentas 1°**

BÁLZAMO, Humberto (Período 2023-2024)

### **Revisor de cuentas 2°**

RAUTENBERG, Dayana (Período 2023-2025)

## COMISIONES INTERNAS AATH

### BOLETÍN DE NOVEDADES

*Director Editorial*  
MILANESI, Carlos

*Editor Ejecutivo*  
MARFIL, Silvina

### CURSOS y SEMINARIOS

*La Comisión está integrada por:*

CÓRDOBA, Gisela  
ORLANDO, Sebastián  
PRIANO, Carla  
ROSSETTI, Agustín  
SOSA, María Eva

### COMUNICACIÓN

*La Comisión está integrada por:*

CABRERA, Oscar  
SOSA, María Eva  
STUMPF, Pablo  
ZEGA, Claudio

### LIBROS

*La Comisión está integrada por:*

ZERBINO, Raúl  
CARRASCO, María Fernanda  
GARCÍA, Adriana  
POSITIERI, María Josefina

## Agregados livianos a partir de lutita y aserrín

C. Martinefsky<sup>a\*</sup>, A. Mocciaro<sup>b</sup>, F. Irassar<sup>a</sup>, A. Tironi<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires (CIFICEN, CONICET-CICPBA-UNCPBA), CP B7400, Olavarría, Argentina. [cmartinefsky@fio.unicen.edu.ar](mailto:cmartinefsky@fio.unicen.edu.ar), [atironi@fio.unicen.edu.ar](mailto:atironi@fio.unicen.edu.ar), [firassar@fio.unicen.edu.ar](mailto:firassar@fio.unicen.edu.ar)

<sup>b</sup>Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica (CETMIC, CONICET-CICPBA-UNLP), CP B1897, Manuel B. Gonnert, Argentina. [anamocciaro@cetmic.unlp.edu.ar](mailto:anamocciaro@cetmic.unlp.edu.ar)

Recibido: 21 de diciembre de 2023

Aceptado: 8 de enero de 2024

### RESUMEN

La creciente conciencia medioambiental y el desarrollo de economías sostenibles han incrementado el interés en el uso de hormigones livianos y térmicamente aislantes. El amplio stock de lutitas proveniente del destape de las canteras de caliza (Olavarría, Buenos Aires) es una materia prima potencialmente viable para elaborar agregados livianos y generar una alternativa con valor agregado. El objetivo de este trabajo es evaluar la eficacia del aserrín, residuo de la industria maderera, como agente formador de poros para obtener agregados livianos a diferentes temperaturas de sinterizado, cuando se utiliza una lutita como principal materia prima. Los resultados obtenidos demostraron que el aserrín es un adecuado agente formador de poros para obtener agregados livianos, mejorando la porosidad obtenida respecto a los agregados elaborados únicamente con lutita. Se logró la sinterización de agregados livianos con un interior negro poroso, corteza rojiza y propiedades similares a un agregado liviano comercial.

**PALABRAS CLAVE:** Agregados livianos, propiedades tecnológicas, microestructura, lutitas, agente formador de poros

### ABSTRACT

The growing environmental awareness and the development of sustainable economies have increased interest in using lightweight and thermally insulating concrete. The large shale stock extracted from the upper layers in limestone quarries (Olavarría, Buenos Aires) is a potentially viable raw material to produce lightweight aggregates and generate an added-value alternative. This work aims to evaluate the effectiveness of sawdust, a waste from the wood industry, as a pore-forming agent to obtain lightweight aggregates at different sintering temperatures when shale is the primary raw material. The results demonstrated that sawdust is a suitable pore-forming agent for obtaining lightweight aggregates, improving the porosity compared to aggregates made only with shale. Lightweight aggregates with a porous black core, red cortex and properties similar to a commercial lightweight aggregate were successfully sintered.

**KEYWORDS:** Lightweight aggregates, technological properties, microstructure, shales, pore-forming agent

\*Autor de correspondencia

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC-BY-NC-SA 4.0).

Citar como: Martinefsky, C., Mocciaro, A., Irassar, F., y Tironi, A. (2024). Agregados livianos a partir de lutita y aserrín. *Revista Hormigón*, 65, 5–14. <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s27189058/0zar7twr8>

## 1. Introducción

La industria de los agregados es la mayor proveedora de materias primas para la construcción. Los requisitos anuales de agregados en el mercado mundial de la construcción alcanzaron los 55 mil millones de toneladas en 2020 y podría llegar a duplicarse en la próxima década. La escasez de agregados naturales será un problema en un futuro próximo. Además, la creciente conciencia medioambiental y el desarrollo de economías sostenibles han incrementado el interés en el uso de hormigones livianos [1]. El consumo de agregados livianos artificiales se ha mantenido estacionario durante algunas décadas, sin embargo, la creciente preocupación medioambiental y las importantes ventajas de los agregados livianos han impulsado su investigación y producción en los últimos años, por lo que se espera que su mercado crezca principalmente a medida que aumenta la demanda de hormigón liviano y térmicamente aislante [2]. La baja densidad, alta porosidad, el carácter inerte y resistencia mecánica razonable de los agregados livianos, hacen que también sus aplicaciones se extiendan en multitud de campos además del hormigón liviano y elementos estructurales prefabricados, como ser en aplicaciones geotécnicas, tratamiento de aguas, jardinería, hidroponía y techos verdes [1,3,4]. Su producción se realiza en muchos países con diferentes nombres como Leca, Liapor, Argex y Keramzite [5].

Las arcillas naturalmente disponibles tienen un enorme potencial para ser utilizadas como materia prima para agregados livianos artificiales [6]. En la región de Olavarría, centro de la provincia de Buenos Aires, se cuenta con un amplio stock de lutitas, obtenido del destape de las canteras de caliza utilizada para la elaboración del clinker Portland. Las lutitas de la región presentan una composición mineralógica predominante de cuarzo y minerales arcillosos: illita y clorita [7], resultando una materia prima potencialmente viable para elaborar agregados livianos, a la vez que se genera una alternativa con valor agregado para las

lutitas de la región. El agregado liviano artificial consiste en pequeñas esferas con una corteza, generalmente densa y poco permeable, que contienen un interior poroso. La porosidad del agregado dependerá de la materia prima y del tratamiento térmico: es fundamental lograr la formación de una capa exterior con la viscosidad adecuada para retener los gases generados a partir de la deshidroxilación de los minerales arcillosos, o por la descomposición de otra especie [8-10].

La incorporación de un agente formador de poros con componentes orgánicos contribuye a la generación de gases y disminuye la temperatura de sinterización. Sin embargo, debe analizarse en cada caso la efectividad de la capa exterior obtenida: una menor temperatura de sinterización no implica necesariamente una transición a la fase vítrea con viscosidad suficiente para la retención de gases y expansión del agregado [3]. Estudios previos han demostrado que el aserrín es un agente generador de poros viable, siendo un tipo de materia orgánica que produce gases a altas temperaturas. El uso de este residuo de la industria maderera, evitaría el uso de agentes provenientes de recursos naturales no renovables como el carbón y el carbonato de sodio [11,12]. El objetivo de este trabajo es evaluar la eficacia del aserrín como agente formador de poros para obtener agregados livianos a diferentes temperaturas de sinterizado, cuando se utiliza una lutita de destape de cantera como principal materia prima.

## 2. Metodología

Se utilizó una lutita proveniente del destape de canteras de caliza de la región de Olavarría, provincia de Buenos Aires. Se determinó la composición química mediante fluorescencia de rayos X (FRX) y espectroscopía de emisión óptica en un equipo Axios FAST PANalytical. Se identificaron los minerales presentes mediante difracción de rayos X (DRX) en un equipo Bruker D2 phaser con radiación Cu-K $\alpha$

( $\lambda = 0,154$ ) a 30 kV y 10 mA y se corroboró mediante espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) utilizando un espectrómetro Nicolet Magna 500. El aserrín empleado proviene del proceso de lijado de una industria maderera. Se determinó la granulometría de la lutita molida y del aserrín mediante un analizador de distribución de tamaño de partículas por difracción láser Malvern Mastersizer 2000E, con unidad de dispersión en seco Sirocco 2000M. También, se realizó análisis térmico diferencial (ATD) y termo-gravimétrico (TG) con un equipo Netzsch STA 409C, con una rampa de calentamiento de 10 °C/min hasta 1000 °C, utilizando alúmina como material de referencia, con el objetivo de identificar los rangos de temperatura en los cuales se produce la liberación de gases.

Se elaboró una pasta de 95 % p/p lutita con 5 % p/p aserrín y agua (L5A), y como referencia una pasta sólo de lutita y agua (L). Se agregó gradualmente agua a la muestra, mezclando hasta formar una pasta moldeable. Se incorporó agua en un 33 % y 28 % p/p para L5A y L respectivamente. Las pastas permanecieron cubiertas con film, para evitar el contacto con el aire, durante un día [13]. Finalizado este período, se moldearon manualmente esferas de ~0,6 cm de diámetro, luego se secaron a temperatura ambiente durante 2 días y finalmente en estufa a 105 °C. Las esferas se sinterizaron a diferentes temperaturas (1125 °C, 1150 °C, 1175 °C y 1200 °C), colocando las mismas en la mufla una vez alcanzada la temperatura objetivo, con un tiempo de permanencia de 10 minutos y posterior enfriamiento a temperatura ambiente para obtener los agregados livianos (Fig. 1). Se analizó el cambio de fases producido luego del sinterizado mediante DRX y FTIR. Se registró la pérdida de peso de las esferas y se determinó el índice de expansión ( $IE$ ), calculado como el cambio de diámetro de acuerdo a la ecuación (1) [14,15]:

$$IE = \frac{(d2-d1) \times 100}{d1} \quad (1)$$

donde  $d1$  y  $d2$  son los diámetros de las esferas antes y después del sinterizado, respectivamente. Se determinó la densidad de partícula aparente y la absorción de agua de los agregados mediante picnometría según UNE-EN 1097-6 [16]. Se midió la resistencia a la compresión directa de 10 especímenes de cada agregado en una máquina de ensayos universal, INSTRON 5985, con una velocidad de desplazamiento de 0,5 mm/min. La resistencia a compresión fue calculada a partir de la ecuación (2) [17]:

$$\sigma_c = \frac{L}{\pi R^2} \quad (2)$$

donde  $L$  es la carga aplicada,  $R$  el diámetro de la esfera y  $\sigma_c$  es la resistencia a compresión.

Se observó un corte de los agregados en lupa con cámara Leica DMC4500 y en microscopio óptico Leica DM2700M, con ocular 10x y objetivo 10x, que al ser combinados proporcionan un aumento de 100x. Se determinaron las mismas propiedades en un agregado liviano comercial Liapor® 6,5 y se compararon con las obtenidas en los agregados sinterizados.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1 Materias primas

La composición química de la lutita en porcentajes en masa es: 62,22 % SiO<sub>2</sub>, 16,68 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 6,54 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1,12 % CaO, 3,75 % K<sub>2</sub>O, 2,23 % MgO, 1,72 % Na<sub>2</sub>O y 0,84 % TiO<sub>2</sub>, con una pérdida por calcinación a 1000 °C de 4,40 %. El diagrama ternario de Riley (1951) [18] es utilizado como diagrama de referencia para predecir la formación de poros y expansión de materiales que contienen minerales arcillosos según la relación de alúmina-sílice y agentes fundentes. De acuerdo a este diagrama, la lutita estudiada se encuentra dentro del área adecuada para la expansión (Fig. 2). Se identificaron mediante DRX los minerales



Figura 1. Diagrama del proceso de preparación de los agregados livianos.

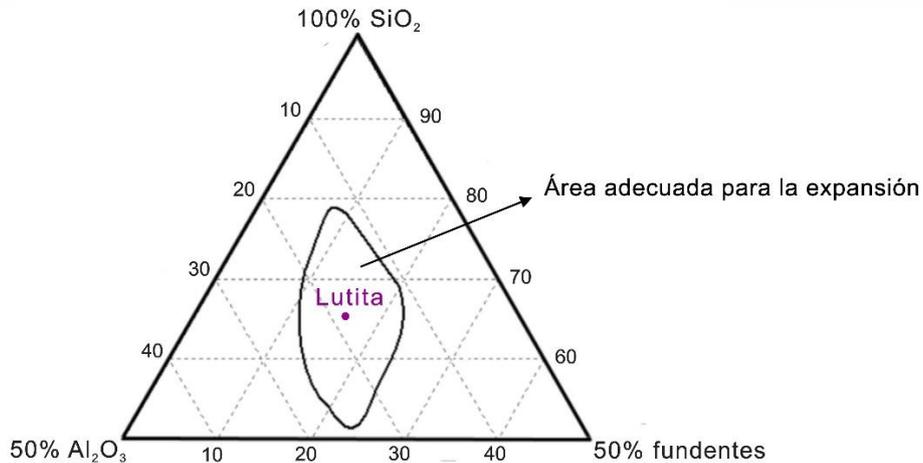


Figura 2. Representación de la composición de la lutita en el diagrama de Riley [18].

arcillosos illita (I) y clorita (Ch), cuarzo (Q), calcita (Cc) y feldespato albita (F) en la lutita (Fig. 3). Mediante el análisis FTIR se confirmó la presencia de estos minerales (Fig. 4): el doblete ancho entre 3300 cm<sup>-1</sup> y 3800 cm<sup>-1</sup> se asigna al estiramiento del grupo OH en illita y clorita; la banda a 1428 cm<sup>-1</sup> a la vibración del grupo carbonato en la calcita; la banda fuerte a 667 cm<sup>-1</sup> corresponde a la deformación de los OH de la capa 2:1 y la capa hidróxido en la clorita; y el doblete a 825 cm<sup>-1</sup> y 750 cm<sup>-1</sup> a la vibración Si-O-Al en la illita [19]. La distribución de tamaños de partículas obtenida por granulometría láser presentó un d<sub>10</sub>, d<sub>50</sub> y d<sub>90</sub> (tamaños de partículas por debajo del cual queda el 10 %, 50 % y 90 % del volumen de la muestra) de 2,12 μm, 14,17 μm y 89,94 μm, respectivamente, para la lutita; y de 24,81 μm, 110,22 μm y

513,32 μm para el aserrín. La Fig. 5 muestra los resultados del análisis ATD-TG. Para la lutita (Fig. 5a) se observa un primer pico endotérmico y pérdida de masa debido a la deshidratación de la illita y tres pérdidas de masa endotérmicas consecutivas, en un amplio rango de temperaturas (200 - 800 °C), que se corresponde a la deshidroxilación de la illita y de la clorita [19,20]. Para el aserrín (Fig. 5b) se distingue un primer pico endotérmico con baja pérdida de masa debido a la deshidratación inicial y un pico exotérmico agudo (200 - 300 °C) con pérdida de masa relacionada a la descomposición de la materia orgánica e ignición del aserrín. La considerable cantidad de gases generados durante la ignición del aserrín contribuirán al desarrollo de la estructura porosa de los agregados livianos.

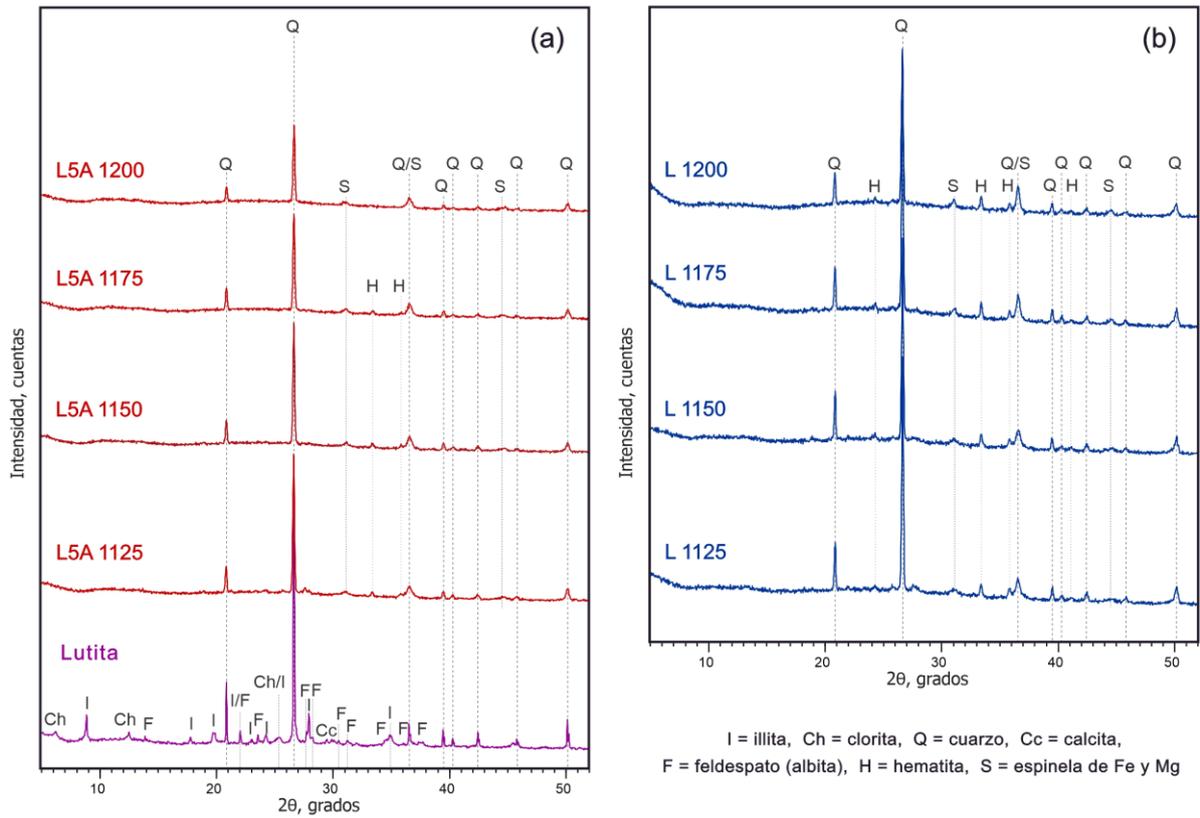


Figura 3. Difractogramas de (a) lutita y agregados con 5% aserrín (L5A) a diferentes temperaturas, (b) agregados de sólo lutita (L).

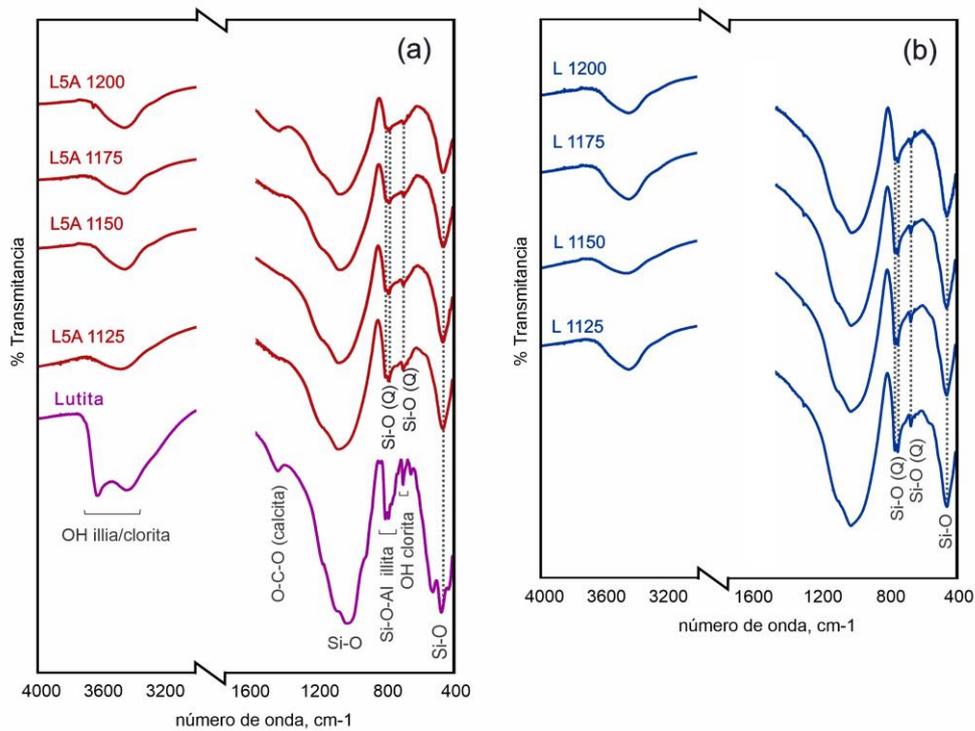


Figura 4. Espectros FTIR de (a) lutita y agregados con 5% aserrín (L5A) a diferentes temperaturas, (b) agregados de sólo lutita (L).

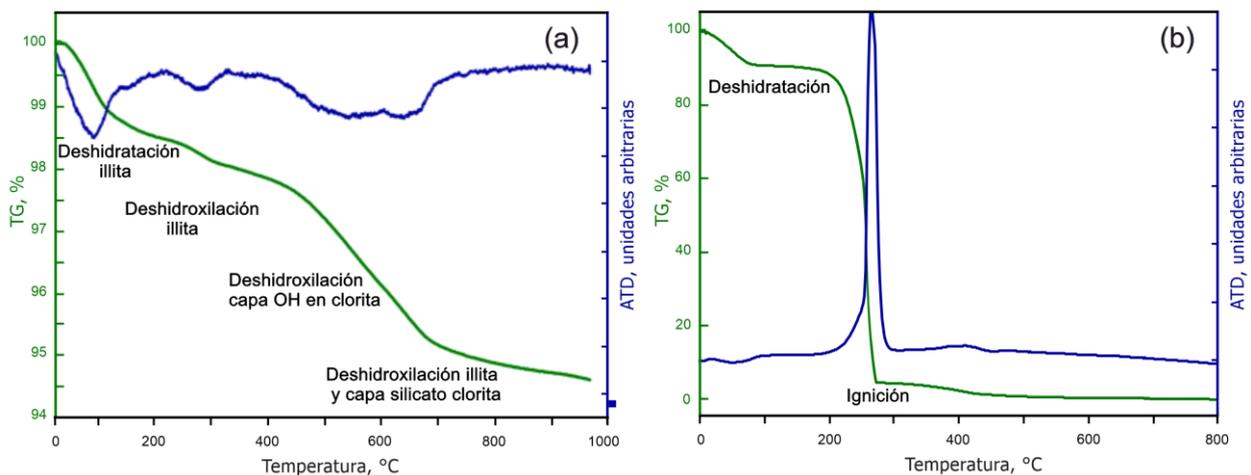


Figura 5. ATD-TG de las materias primas, (a) lutita y (b) aserrín.

### 3.2 Agregados livianos

Los cambios mineralógicos identificados por DRX luego del sinterizado de las esferas a las distintas temperaturas (Fig. 3a) son: los picos asignados a las fases clorita, illita y albita en la materia prima no se encuentran presentes; la intensidad de los picos asignados al cuarzo disminuye aproximadamente a la mitad a 1125 °C y en mayor proporción al aumentar la temperatura hasta 1200 °C. Estos cambios evidencian la mayor formación de fase amorfa con el aumento de la temperatura. Se identifica también una fase espinela de hierro y magnesio ( $S, Fe_{0,25}Mg_{0,75}Al_2O_4$ ) en todas las esferas sinterizadas y hematita ( $H, Fe_2O_3$ ) en los agregados a 1125 °C, 1150 °C y 1175 °C. Cuando se comparan los agregados L5A con los agregados L (Fig. 3b), se observa una menor intensidad de los picos asignados al cuarzo ( $SiO_2$ ) y la hematita ( $Fe_2O_3$ ) en los primeros (Fig. 3a). El calor aportado por la combustión del aserrín acelera los procesos fisicoquímicos que ocurren durante el tratamiento térmico del agregado, propiciando una mayor cantidad de fase amorfa en los L5A.

En la Fig. 4, los espectros FTIR de los agregados corroboran lo observado en los difractogramas (Fig. 3): la ausencia del doblete ancho asignado al estiramiento del grupo OH en illita y clorita para todos los agregados sinterizados, debido a la

deshidroxilación y formación de fase amorfa. Además, se observa el ensanchamiento de la banda a aproximadamente 1000  $cm^{-1}$  asignada a la vibración Si-O para los agregados sinterizados respecto a la materia prima lutita, característico de la presencia de fase amorfa; y las bandas características de cuarzo que permanecen luego del sinterizado, con menor intensidad a medida que aumenta la temperatura del tratamiento térmico en los agregados L5A.

La pérdida de peso e índice de expansión de los agregados sinterizados se muestran en la Tabla 1. Para los agregados L, la pérdida de peso promedio es del 5,0 % mientras que para los agregados L5A es del 9,9 %, diferencia atribuida a la ignición total del aserrín, de acuerdo a lo determinado mediante TG (Fig. 5). Respecto al índice de expansión, se registra la contracción de los agregados L cuando la sinterización se realiza a baja temperatura (1125 °C y 1150 °C) y una leve expansión con el aumento de la temperatura (1175 °C y 1200 °C). La incorporación de aserrín propició la expansión de los agregados L5A, siendo mayor con el aumento de temperatura. Se obtuvo un índice de expansión similar en L 1200 y L5A 1125, lo que indica que la adición de 5 % de aserrín permite reducir la temperatura de sinterizado en 75 °C. Por otra parte, al comparar L 1200 y L5A 1200, a igual temperatura de sinterizado, el índice de expansión aumenta 3,5 veces.

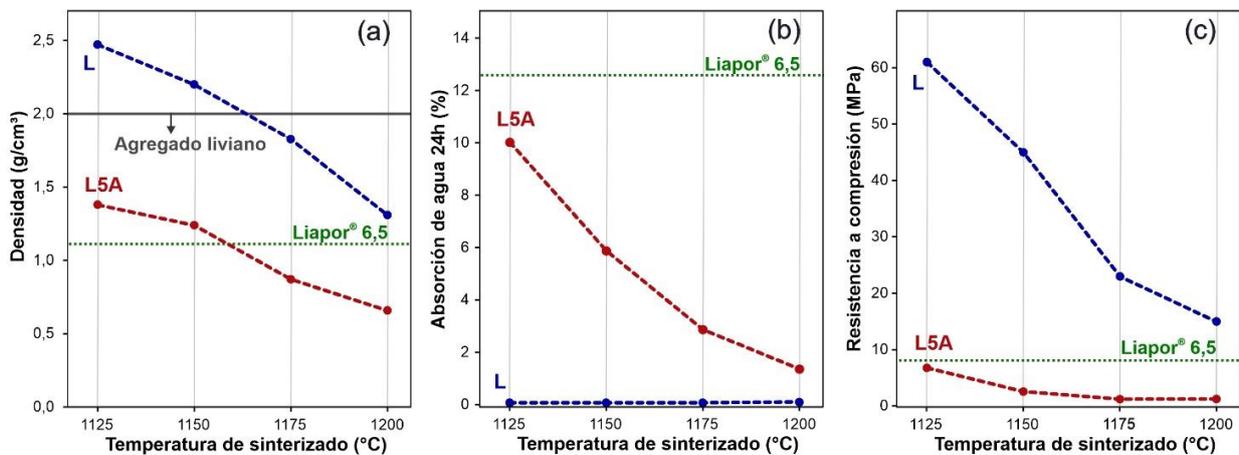
**Tabla 1.** Pérdida de peso e índice de expansión de los agregados sinterizados.

Agregado sinterizado	Pérdida de peso (%)	IE (%)
L 1125	5,0 ± 0,2	-8 ± 1
L 1150	5,1 ± 0,1	-4 ± 1
L 1175	5,1 ± 0,1	2 ± 1
L 1200	4,8 ± 0,2	10 ± 1
L5A 1125	9,8 ± 0,1	11 ± 2
L5A 1150	9,8 ± 0,1	18 ± 3
L5A 1175	9,9 ± 0,1	27 ± 4
L5A 1200	10,0 ± 0,2	35 ± 3

La Fig. 6 presenta las tres propiedades principales determinadas en los agregados. A medida que aumenta la temperatura de sinterizado, los agregados presentan una disminución de la densidad (Fig. 6a). La norma EN 13055 aplica las restricciones de densidad aparente suelta  $\leq 1,2 \text{ g/cm}^3$  y densidad aparente de partícula  $\leq 2,0 \text{ g/cm}^3$  para considerar un agregado como liviano [3,21], por lo que los agregados L 1125 y L 1150 son los únicos que no clasifican como agregados livianos. La absorción de agua en los agregados L5A disminuye con el aumento de la temperatura (Fig. 6b); mientras que los

agregados L presentan valores de absorción de agua muy bajos, menores al 0,1 %. La resistencia a compresión de los agregados L5A es considerablemente inferior a los agregados L, disminuyendo en ambos casos con el aumento de la temperatura de sinterización (Fig. 6c). La menor resistencia se vincula con la microestructura (cantidad y tamaño de los poros) de los agregados.

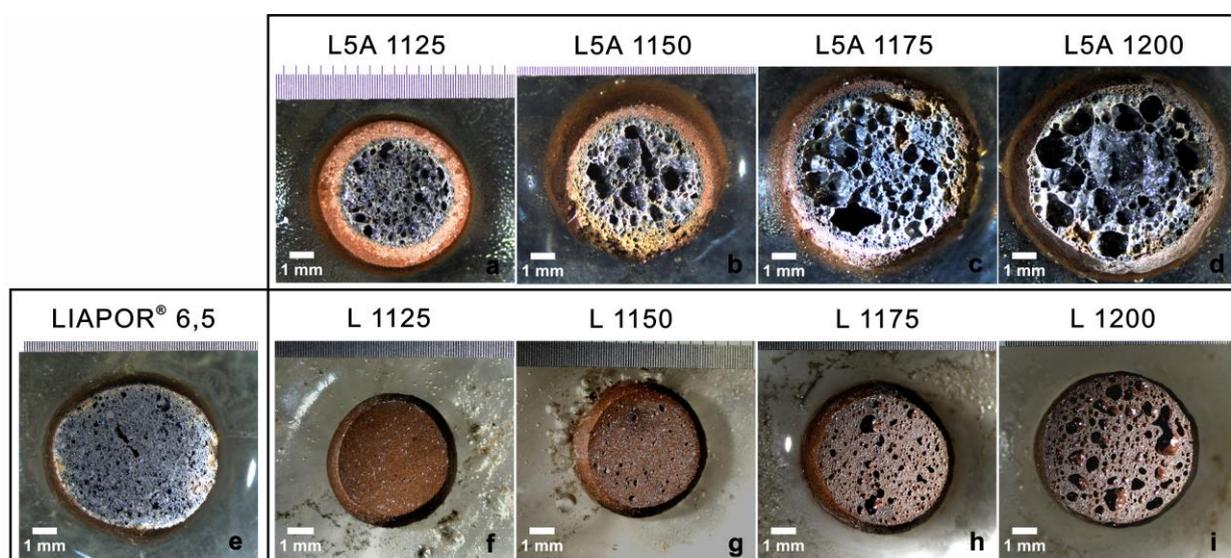
Las propiedades de densidad de partícula, absorción de agua y resistencia a compresión medidas en el agregado comercial de calidad internacional (Liapor® 6,5) concuerdan con las informadas en la documentación técnica del fabricante [22]. Al comparar las propiedades principales de los agregados sinterizados con el agregado comercial, de tamaño similar, se observa que: la densidad de los agregados L5A 1175 y L5A 1200 es menor, resultado favorable; la absorción de agua para todos los agregados es menor, resultado favorable; y la resistencia a compresión de los agregados L5A es menor, resultado no favorable para su uso en hormigón liviano y elementos de construcción. Los agregados livianos con resistencia a compresión menor a 3 MPa (L5A 1150, L5A 1175 y L5A 1200) pueden ser utilizados en materiales de construcción no estructurales, como por ejemplo placas y revestimientos [1].



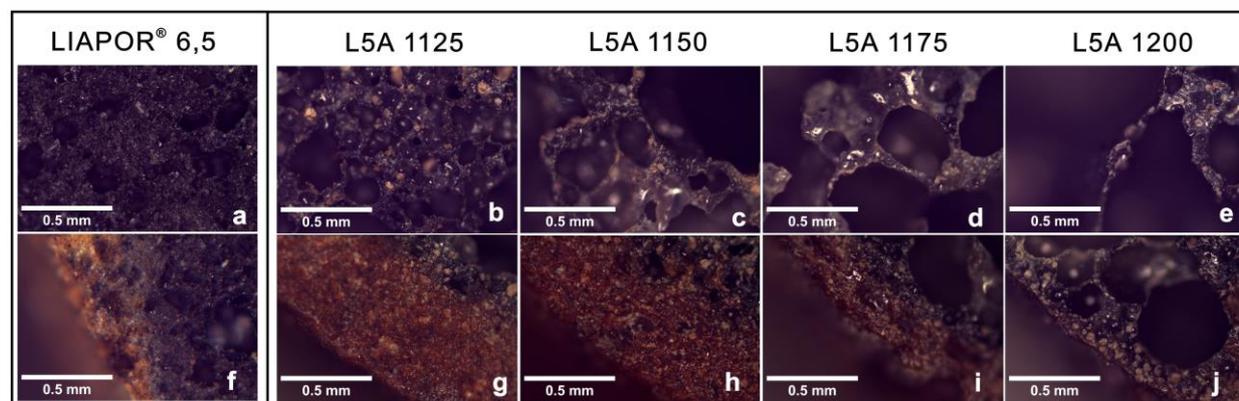
**Figura 6.** Propiedades de los agregados sinterizados a diferentes temperaturas y referencia de Liapor® 6,5 (a) densidad de partícula, (b) absorción de agua, (c) resistencia a compresión.

Del análisis de las imágenes de corte en lupa (Fig. 7) se observa, para todos los agregados sinterizados, que la disminución de densidad se corresponde con un aumento en el tamaño de poros. En los agregados L5A, se diferencia un interior color negro de mayor porosidad y una corteza rojiza de menor porosidad. Los poros en el interior presentan diferentes formas y tamaños según la temperatura de sinterizado, debido a las diferentes viscosidades y presiones de gas en el agregado, en concordancia con lo observado por Pei et al. [11]. El agregado comercial

presenta aspecto similar de corteza e interior, característica no observada en los agregados L. El espesor de la corteza en los agregados L5A disminuye con el aumento de la temperatura de sinterizado (Fig. 8). El agregado comercial presenta un tamaño de poros menor que los agregados sinterizados y un espesor de la corteza similar al agregado L5A 1200. El mayor espesor de la corteza junto al menor tamaño de poros en el interior negro en el agregado L5A 1125, contribuyen a un desarrollo de resistencia a compresión comparable al agregado comercial.



**Figura 7.** Imágenes en lupa de un corte de los agregados (a-d) de lutita y aserrín (L5A), (f-g) de lutita (L) sinterizados a diferentes temperaturas, (e) del agregado comercial Liapor® 6,5.



**Figura 8.** Imágenes en microscopio de un corte del agregado comercial Liapor® 6,5 y los agregados sinterizados a diferentes temperaturas, (a-e) interior, (f-j) corteza.

## 6. Conclusiones

De los resultados obtenidos se concluye que el aserrín es un adecuado agente formador de poros para obtener agregados livianos, mejorando la porosidad obtenida respecto a los agregados elaborados únicamente con lutita, proveniente del destape de canteras. La incorporación de aserrín posibilitó la sinterización de agregados livianos con un interior negro poroso y corteza rojiza similar a un agregado liviano comercial.

La temperatura de sinterización de los agregados influye en el tamaño de poros y espesor de la corteza, factores determinantes de las propiedades: a mayor temperatura menor densidad, absorción y resistencia a compresión. Los agregados elaborados con 95 % lutita y 5 % de aserrín sinterizados a 1125 °C, a pesar de tener densidad mayor que el agregado comercial, cumplen con el requisito de densidad para agregado liviano y presentan valores de absorción y resistencia a compresión cercanos al agregado comercial.

A partir de los resultados obtenidos y con el fin de lograr la explotación comercial de la tecnología, es necesario seguir trabajando para optimizar el empleo del agente formador de poros, evaluando factores como el porcentaje o el tamaño de partículas del aserrín incorporado, en la búsqueda de alcanzar un espesor de corteza, tamaño de poros y propiedades aún más cercanos al agregado comercial.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Ing. María Beatriz Silverii (CPA, CONICET) por su colaboración en las medidas de FTIR y las imágenes tomadas en lupa y microscopio.

## Fuentes de financiamiento

Este trabajo fue posible gracias al apoyo recibido por el CONICET (PIP 2021-2023, 11220200102895CO).

## Contribución de autoría

C. Martinefsky: investigación, análisis formal, redacción-original-borrador, visualización. A. Mocciaro: investigación, redacción-revisión-edición. F. Irassar: conceptualización, redacción-revisión-edición, adquisición de fondos. A. Tironi: conceptualización, redacción-original-borrador, supervisión.

## Declaración de conflictos de interés

Los autores declaran que no existe algún conflicto de interés.

## Referencias

- [1] Hussain, F., Rehman, F., Khushnood, R. A., Khan, S. A., y Hamza, A. (2023). Study of physical and mechanical behavior of artificial lightweight aggregate made of Pakistani clays. *Construction and Building Materials*, 378, 131103. <https://doi.org/mbzq>
- [2] Moreno-Maroto, J. M., Uceda-Rodríguez, M., Cobo-Ceacero, C. V., Cotes-Palomino, T., Martínez-García, C., y Alonso-Azcárate, J. (2020). Studying the feasibility of a selection of Southern European ceramic clays for the production of lightweight aggregates. *Construction and Building Materials*, 237, 117583. <https://doi.org/mbzv>
- [3] Piszcz-Karaś, K., Klein, M., Hupka, J., y Łuczak, J. (2019). Utilization of shale cuttings in production of lightweight aggregates. *Journal of Environmental Management*, 231, 232–240. <https://doi.org/mbz2>
- [4] González-Corrochano, B., Alonso-Azcárate, J., Rodas, M., Luque, F. J., y Barrenechea, J. F. (2010). Microstructure and mineralogy of lightweight aggregates produced from washing aggregate sludge, fly ash and used motor oil. *Cement and Concrete Composites*, 32(9), 694–707. <https://doi.org/dp6tr9>
- [5] Rashad, A. M. (2018). Lightweight expanded clay aggregate as a building material - An overview. *Construction and Building Materials*, 170, 757–775. <https://doi.org/gg85f2>

- [6] Ayati, B., Ferrándiz-Mas, V., Newport, D., y Cheeseman, C. (2018). Use of clay in the manufacture of lightweight aggregate. *Construction and Building Materials*, 162, 124–131. <https://doi.org/mbz8>
- [7] Irassar, E. F., Bonavetti, V. L., Castellano, C. C., Trezza, M. A., Rahhal, V. F., Cordoba, G., y Lemma, R. (2019). Calcined illite-chlorite shale as supplementary cementing material: Thermal treatment, grinding, color and pozzolanic activity. *Applied Clay Science*, 179, 105143. <https://doi.org/gmtb>
- [8] Bernhardt, M., Justnes, H., Tellesbø, H., y Wiik, K. (2014). The effect of additives on the properties of lightweight aggregates produced from clay. *Cement and Concrete Composites*, 53, 233–238. <https://doi.org/mb2b>
- [9] González-Corrochano, B., Alonso-Azcárate, J., y Rodas, M. (2009). Production of lightweight aggregates from mining and industrial wastes. *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2801–2812. <https://doi.org/cr6465>
- [10] Korat, L., Ducman, V., Legat, A., y Mirtič, B. (2013). Characterisation of the pore-forming process in lightweight aggregate based on silica sludge by means of X-ray microtomography (micro-CT) and mercury intrusion porosimetry (MIP). *Ceramics International*, 39(6), 6997–7005. <https://doi.org/f42qxz>
- [11] Pei, J., Pan, X., Qi, Y., Yu, H., y Tu, G. (2022). Preparation and characterization of ultra-lightweight ceramsite using non-expanded clay and waste sawdust. *Construction and Building Materials*, 346, 128410. <https://doi.org/mb2c>
- [12] Yakub, I., Du, J., y Soboyejo, W. O. (2012). Mechanical properties, modeling and design of porous clay ceramics. *Materials Science and Engineering: A*, 558, 21–29. <https://doi.org/f4d3w6>
- [13] Ozguven, A., y Gunduz, L. (2012). Examination of effective parameters for the production of expanded clay aggregate. *Cement and Concrete Composites*, 34(6), 781–787. <https://doi.org/mb2d>
- [14] Souza, N. S. L., Anjos, M. A. S., Sá, M. V. V. A., Farias, E. C., Souza, M. M., Branco F. G., y Pereira, A. (2021). Evaluation of sugarcane bagasse ash for lightweight aggregates production. *Construction and Building Materials*, 271, 121604. <https://doi.org/mb2g>
- [15] Fakhfakh, E., Hajjaji, W., Medhioub, M., Rocha, F., López-Galindo, A., Setti, M., Kooli, F., Zargouni, F., y Jamoussi, F. (2007). Effects of sand addition on production of lightweight aggregates from Tunisian smectite-rich clayey rocks. *Applied Clay Science*, 35(3-4), 228–237. <https://doi.org/fnrs37>
- [16] Asociación Española de Certificación y Normalización (2003). *UNE EN 1097-6. Ensayos para determinación las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6, Determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua.*
- [17] Anaya, R., Martínez, J. M., Hernández, M. F., Herrea, M. S., y Rendtorff, N. M. (2022). Individual diametral compression behavior of a ceramic proppant. *Ceramics International*, 48(21), 32357–32365. <https://doi.org/mb2h>
- [18] Riley, C. M. (1951). Relation of chemical properties to the bloating of clays. *Journal of the American Ceramic Society*, 34(4), 121–128. <https://doi.org/d6swfz>
- [19] Wilson, M. J. (Ed.). (1987). *A handbook of determinative methods in clay mineralogy.* Chapman and Hall Publ.
- [20] Földvári, M. (2011). *Handbook of thermogravimetric system of minerals and its use in geological practice.* Geological Institute of Hungary (Magyar Állami Földtani Intézet).
- [21] Thienel, K. C., Haller, T., y Beuntner, N. (2020). Lightweight concrete - From basics to innovations. *Materials*, 13(5), 1120. <https://doi.org/mb2j>
- [22] Liapor (2015). Declaration of performance: *Lightweight aggregate Liapor 6,5 2/10.* Disponible en: [https://www.liapor.com/medien\\_en/lia\\_downloads/datei/129\\_dop08\\_liapor\\_65\\_210.pdf](https://www.liapor.com/medien_en/lia_downloads/datei/129_dop08_liapor_65_210.pdf)

## Evaluación de la resistencia de tubos de hormigón reforzado con fibras híbridas

F. A. González<sup>a\*</sup>, V. C. Rougier<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay (UTN-FRCU), CP 3260, Concepción del Uruguay, Argentina. [gonzalezf@frcu.utn.edu.ar](mailto:gonzalezf@frcu.utn.edu.ar), [rougiervc@frcu.utn.edu.ar](mailto:rougiervc@frcu.utn.edu.ar)

Recibido: 15 de diciembre de 2023

Aceptado: 7 de febrero de 2024

### RESUMEN

El hormigón reforzado con dos o más tipos de fibras combinadas se denomina hormigón reforzado con fibras híbridas. En este trabajo se compara el desempeño mecánico de tubos de hormigón reforzado con fibras híbridas (THRFH), de acero y polipropileno, con el de tubos de hormigón reforzados con fibras de acero y tubos de hormigón con armadura tradicional (THA). Se determinan las cargas de fisuración y de rotura, además del porcentaje de absorción de agua del material, de acuerdo al procedimiento de clasificación de tubos establecido por la norma IRAM 11503. Los THRFH con las dosis de fibras empleadas alcanzaron una resistencia equivalente a los THA y mostraron un modo de falla dúctil, sin desprendimiento de hormigón ni aplastamiento diametral luego de la rotura. Además, el hormigón con el cual se elaboraron los THRFH registró porcentajes de absorción de agua menores al valor máximo definido por la norma mencionada.

**PALABRAS CLAVE:** Hormigón, refuerzo híbrido, fibras, tubos

### ABSTRACT

Concrete reinforced with two or more types of fibers combined is called hybrid fiber-reinforced concrete (HFRC). This paper compares the mechanical performance of hybrid fiber-reinforced concrete pipes (HFRCP) (steel and polypropylene fibers) with steel fiber-reinforced concrete pipes and concrete pipes with traditional reinforcement (RCP). Cracking and peak loads are determined, in addition to the water absorption percentage of material, according to the pipe classification procedure established by the IRAM 11503 standard. The HFRCP with the doses of hybrid fibers used reached a resistance equivalent to the RCP and, in addition, showed a ductile failure mode, without concrete detachment or diametral crushing after failure. Furthermore, the concrete of the HFRCPs registered lower percentages of water absorption than the maximum value defined by the standard mentioned above.

**KEYWORDS:** Concrete, hybrid reinforcement, fibres, pipes

\*Autor de correspondencia

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC-BY-NC-SA 4.0).

Citar como: González, F. A., y Rougier, V. C. (2024). Evaluación de la resistencia de tubos de hormigón reforzado con fibras híbridas. Revista Hormigón, 65, 15–26. <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s27189058/72x8icz3j>

## 1. Introducción

La aplicación del hormigón reforzado con fibras en la fabricación de tubos premoldeados de hormigón (THRF) ha sido objeto de investigación durante las últimas dos décadas [1]. La presencia de las fibras modifica las propiedades de la matriz ya que mejora la resistencia del material bajo todo tipo de sollicitaciones que induzcan tensiones de tracción, incrementa su capacidad de deformación y controla el proceso de fisuración [2].

Desde el punto de vista industrial, la principal ventaja en la utilización de fibras como refuerzo es la mayor facilidad de producción en comparación con los tubos reforzados con armadura convencional formada por barras o mallas de acero (THA) [3]. El uso de fibras elimina la etapa de preparación de la armadura ya que las mismas son adicionadas al hormigón directamente durante el mezclado, prácticamente como un agregado más. Por el contrario, en los THA se requiere mano de obra calificada para el corte, doblado, cilindrado y montaje de la armadura convencional y se debe disponer de equipamiento adecuado y costoso para realizar dichas tareas [4]. La eliminación de esta etapa acelera el proceso de producción, reduce el consumo de energía, mano de obra y espacio físico en las plantas. Otra ventaja a destacar, es que las fibras se distribuyen aleatoriamente en todo el elemento, reforzando incluso los bordes y brindándole mayor resistencia al impacto [5], lo que implica menor riesgo de rotura de la pieza durante las etapas de producción, transporte y manipulación dentro y fuera de la planta. Además, las fibras poseen mayor capacidad de refuerzo para bajos niveles de deformación y apertura de fisura. Por el contrario, el refuerzo convencional solo se activa para grandes deformaciones y aperturas de fisura ya que su ubicación es cercana a la mitad del espesor del tubo para asegurar un recubrimiento mínimo de hormigón. Asegurar un menor ancho de fisura conduce en una ventaja relacionada con la durabilidad, debido

a que se reduce la infiltración de las aguas residuales transportadas por el conducto, que generalmente contienen sustancias nocivas para el material [6].

El potencial del uso de fibras de acero o de polipropileno, para el reemplazo total o parcial de los refuerzos convencionales, en la producción de tubos premoldeados de hormigón ha sido reconocido en las normas BS EN 1916 [7], NBR 8890 [8], ASTM C1765 [9] y ASTM C1818 [10]. Sin embargo, estas normas aún se encuentran en etapa de desarrollo y no proporcionan ninguna orientación detallada acerca de la dosificación de fibras requerida para alcanzar una clase particular de tubo, al contrario de lo que sucede con las normas para THA (p.ej. ASTM C76 [11] o IRAM 11503 [12]) que especifican la armadura necesaria para cada clase resistente. Recordando que, en general, las clases resistentes estipulan dos tipos de cargas normativas: la carga mínima de fisuración (FF) y la carga máxima o de rotura (FR). Debido a dicha falta de directrices claras, los fabricantes se han mostrado reacios a adoptar refuerzos de fibras de forma más generalizada en la producción de tubos [13]. Además, las normas actuales para THRF se han desarrollado principalmente basándose en estudios realizados sobre dos tipos de fibras, las fibras de acero y las fibras de polipropileno, pero de forma única. Actualmente, hay muy poca literatura disponible sobre la aplicación de fibras híbridas como refuerzo del hormigón utilizado para la fabricación de tubos de drenaje [14]. Sin embargo, el hormigón tiene comportamiento a la fractura en múltiples escalas y un tipo de fibra proporciona refuerzo solo en un nivel y dentro de un rango limitado de deformaciones [15]. Por ello, un refuerzo más eficiente podría lograrse utilizando la combinación de fibras de diferentes materiales, geometría y/o características mecánicas [16]. El hormigón reforzado con dos o más tipos de fibras, combinadas racionalmente, se denomina Hormigón Reforzado con Fibras Híbridas (HRFH) [17]. El principal propósito de usar fibras híbridas

es mejorar el control de la fisuración en diferentes zonas del hormigón, a distintas edades y niveles de carga [18]. Además, dos o más tipos de fibras, combinadas adecuadamente, generan mejoras en las propiedades físicas y mecánicas del material a partir de la acción de cada una de ellas [19], lo que conduce a la mejora de la respuesta estructural del elemento analizado [20].

En este trabajo se analiza experimentalmente la capacidad de carga de tubos de HRFH (THRFH), de acero y polipropileno, de 600 mm de diámetro interior sometidos al ensayo de compresión diametral de tres aristas. Los resultados se comparan con los obtenidos para tubos de hormigón armado (THA) Clase II según la norma IRAM 11503 [12] y con tubos de hormigón reforzados con fibras de acero (THRFA), elaborados y ensayados durante la misma campaña experimental.

## 2. Plan experimental

Se elaboraron y ensayaron tubos de 600 mm de diámetro interior, 1000 mm de longitud y un espesor de pared de 75 mm. Dichas dimensiones son las establecidas por la norma IRAM 11503 [12] para tubos Clase II, que es la clase resistente de los tubos de control en este trabajo.

En la Tabla 1 se muestra la cantidad y denominación de los especímenes a ensayar agrupados de acuerdo a sus características de refuerzo, el tipo de fibras empleado y su contenido, la relación de aspecto de las fibras de acero y el volumen total de fibras adicionado. El parámetro relación de aspecto o esbeltez de una fibra se define como el cociente entre su longitud y su diámetro equivalente, es decir, depende de las características geométricas de la misma.

Cada grupo se define de la siguiente forma:

- THA = Tubo de hormigón armado con armadura convencional Clase II.

- THRFA-20(50) = Tubo de hormigón reforzado con fibras de acero, la dosis ( $20 \text{ kg/m}^3$ ) y entre paréntesis la relación de aspecto de las mismas, que será igual a 50.

- THRFH-20(X)/Y = Tubo de hormigón reforzado con fibras híbridas. Se indica la dosis de fibras de acero ( $20 \text{ kg/m}^3$ ), entre paréntesis su relación de aspecto ( $X = 50$  o  $67$ ) y separada por una barra inclinada la dosis de fibras de polipropileno ( $Y = 0,5 \text{ kg/m}^3$  o  $1,0 \text{ kg/m}^3$ ).

El grupo de control está constituido por tubos de hormigón armado (THA) reforzados con la malla convencional de acero, especificada para la Clase resistente II según IRAM 11503 [12]. Dicha armadura está formada por 7 barras de acero de 6 mm de diámetro en sentido longitudinal y una cuantía de acero de  $1,5 \text{ cm}^2/\text{m}$  en sentido transversal.

Se adoptó una dosis constante de  $20 \text{ kg/m}^3$  de FA, tanto para los THRFA como para los THRFH. Este valor fue elegido debido a que otras investigaciones [3,4,13,21] determinaron que la dosis eficiente de FA para este tipo de elemento premoldeado se encuentra en un rango comprendido entre  $20 \text{ kg/m}^3$  y  $60 \text{ kg/m}^3$ , adoptándose para este trabajo el límite inferior. Además, la cuantía total de acero en los THA Clase II con armadura convencional es de  $2,19 \text{ ‰}$  siendo la dosis de FA elegida igual a  $2,60 \text{ ‰}$ , es decir, un valor similar o comparable.

En los THRFH, al refuerzo constante de  $20 \text{ kg/m}^3$  de FA, se le adicionó  $0,5 \text{ kg/m}^3$  en una combinación y  $1,0 \text{ kg/m}^3$  de FPP en la otra. Según recomendaciones de trabajos previos, las fibras sintéticas deben usarse en fracciones de bajo volumen (entre  $0,05 \text{ ‰}$  y  $0,2 \text{ ‰}$ ) para asegurar una distribución uniforme dentro de la masa de hormigón cuando se emplean en sistemas híbridos de refuerzo [22]. Ambas combinaciones de fibras híbridas se repitieron utilizando fibras de acero con diferentes relaciones de aspecto, primero con 50 y luego con 67.

**Tabla 1.** Denominación, contenido de fibras y cantidad de especímenes elaborados.

Denominación	Fibras de acero (FA)	Relación de aspecto de FA	Fibras de polipropileno (FPP)	Vol. total de fibras	Cantidad de tubos
THA	-	-	-	0,00 %	4
THRFA-20(50)	20 kg/m <sup>3</sup>	50	-	0,26 %	4
THRFH-20(50)/0.5	20 kg/m <sup>3</sup>	50	0,5 kg/m <sup>3</sup>	0,31 %	4
THRFH-20(50)/1.0	20 kg/m <sup>3</sup>	50	1,0 kg/m <sup>3</sup>	0,37 %	4
THRFH-20(67)/0.5	20 kg/m <sup>3</sup>	67	0,5 kg/m <sup>3</sup>	0,31 %	3
THRFH-20(67)/1.0	20 kg/m <sup>3</sup>	67	1,0 kg/m <sup>3</sup>	0,37 %	3

### 3. Materiales y elaboración de los especímenes

Los especímenes ensayados se elaboraron en una empresa de premoldeados de la región mesopotámica Argentina. Para este trabajo, se adoptó la misma proporción de la mezcla que utiliza la empresa para elaborar los tubos que comercializa. Lo anterior se decidió con el fin de minimizar la cantidad de variables intervinientes, respetando las condiciones técnicas y tecnológicas actuales de la planta de premoldeados. La mezcla de hormigón tenía una consistencia muy seca y gran cohesión debido a que, durante la etapa de producción, el tubo es desmoldado casi inmediatamente después del llenado para reutilizar el molde. En la Fig. 1 se muestran algunas imágenes de las etapas de elaboración de los tubos.

Las proporciones empleadas para la elaboración de los pastones fueron: agua 80 l/m<sup>3</sup>, cemento 300 kg/m<sup>3</sup>, arena silícea 980 kg/m<sup>3</sup> y grava 1020 kg/m<sup>3</sup>. Los agregados provenían de canteras de la zona, el canto rodado tenía un tamaño máximo de 19 mm y el módulo de fineza de la arena fue igual a 2,52. A partir de los tubos ensayados se realizó el calado de 9 testigos cilíndricos de 3", según norma IRAM 1551 [23], para obtener la resistencia a la compresión del hormigón, resultando igual a 17 MPa. Es importante mencionar que para la caracterización del hormigón reforzado con

fibras resulta fundamental la realización de ensayos a flexión. Sin embargo, en este trabajo no fue posible, pese a repetidos intentos, obtener probetas prismáticas con la compactación adecuada o representativa, debido a la consistencia muy seca del material y la tecnología disponible. Por ello, resultaría necesario, en trabajos futuros, lograr la caracterización de HRFH mediante dicho ensayo, ya que los parámetros obtenidos se podrán considerar al momento de definir los requerimientos de los tubos.

Las fibras de refuerzo fueron agregadas manualmente a la mezcla, arrojándolas dentro de la mezcladora con la precaución de distribuirlas uniformemente en toda la superficie, a fin de evitar la formación de erizos.

Uno de los sistemas de refuerzo de fibras híbridas más estudiados en la literatura, es el que combina fibras de diferentes módulos de elasticidad como son las fibras de acero y de polipropileno [18]. En este trabajo, se utilizaron dos tipos diferentes de macrofibras de acero (WIRAND® FF1 y WIRAND® FF3) y macrofibras de polipropileno (MACRONITA® 0.6). En la Tabla 2, se presentan las características geométricas de las fibras utilizadas, algunas de sus propiedades más importantes y se pueden observar sus formas.

Las FA poseen alta rigidez, módulo de elasticidad y resistencia a la tracción, pero



**Figura 1.** a) Moldeo de tubos. b) Procedimiento de desmolde. c) Tubo desmoldado. d) Humedecimiento de superficie para evitar la pérdida excesiva de humedad.

**Tabla 2.** Características geométricas y mecánicas de las fibras empleadas como refuerzo.

Material	Longitud [mm]	Diámetro [mm]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Módulo de elasticidad [GPa]	Resistencia a la tracción [MPa]	Forma
Polipropileno	50	0,60	920	6	500	
Acero	50	1,00	7840	210	1200	
Acero	50	0,75	7840	210	1200	

son susceptibles a la corrosión. Las FPP son fibras sintéticas cortadas de materiales poliméricos que poseen forma rizada para mejorar la adherencia dentro de la matriz de hormigón. Este tipo de fibras son flexibles,

poseen bajo módulo de elasticidad y resistencia a la tracción, sin embargo, son químicamente inertes, lo que las convierte en un material de refuerzo adecuado para ambientes altamente nocivos.

#### 4. Metodología de ensayo

En este trabajo se evalúa el desempeño de tubos de hormigón reforzado con fibras híbridas en términos de resistencia y durabilidad según los criterios establecidos en la norma IRAM 11503 [12]. Por lo tanto, se determinaron mediante ensayos las cargas de fisuración (FF) y de rotura (FR) y el porcentaje de absorción de agua del material. Los resultados se contrastaron para el grupo de control constituido por THA Clase II. Para dicha clase, la norma establece una carga de fisuración mínima de 30 kN/m y una carga de rotura de 45 kN/m. A continuación, se describen los procedimientos de ensayo realizados.

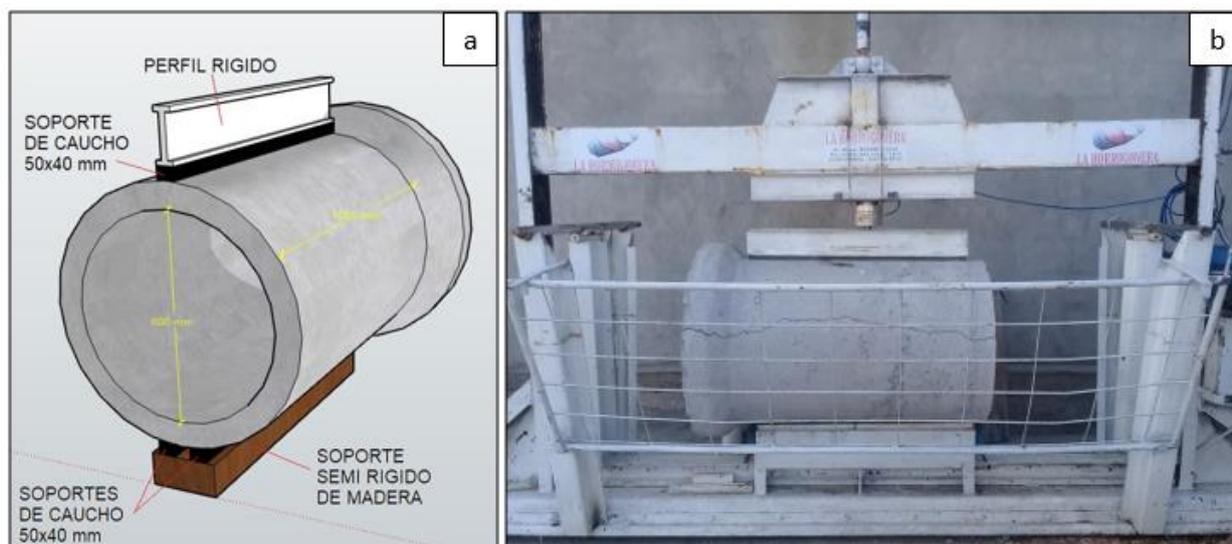
##### 4.1 Determinación de las resistencias. Ensayo de compresión diametral

Tal como se mencionó anteriormente, todos los tubos elaborados fueron ensayados a compresión diametral (ECD) de acuerdo al procedimiento establecido por la norma IRAM 11503 [12] para la determinación de la carga de fisuración (FF) y de rotura (FR). El ECD se denomina de “tres aristas” debido a

que el tubo es apoyado sobre dos largueros de caucho rígido y la carga se aplica en el eje generatriz superior, a través de un perfil metálico que la distribuye uniformemente. Si bien existen otras configuraciones de ensayo, el de “tres aristas” establecido por la norma mencionada es análogo al de la norma ASTM C497 [24] y constituye uno de los métodos de evaluación más difundido en la industria del premoldeado para tubos de hormigón.

Durante el ensayo se aplicó una carga cuasi-estática monótona creciente mediante una prensa hidráulica, con capacidad para desarrollar una carga vertical nominal máxima de 140 kN. Los valores de las cargas se registraron a través de una celda de carga digital.

Es importante destacar que los especímenes fueron ensayados en la misma planta de premoldeados donde fueron elaborados, en un marco de carga calibrado que la empresa dispone para el control de calidad de los tubos que comercializa. En la Fig. 2a se muestra un esquema del ECD y en la Fig. 2b una fotografía del marco de carga y un espécimen ya ensayado.



**Figura 2.** a) Esquema de ensayo de compresión diametral de tres aristas. b) Fotografía del marco de carga y un tubo ensayado.

#### 4.2 Determinación del porcentaje de absorción de agua

En la industria de tubos premoldeados se realizan pruebas de absorción de agua, siendo este, el método comúnmente aceptado por distintas normativas para evaluar la calidad y durabilidad de los tubos de hormigón. Un valor bajo de absorción es indicio de baja permeabilidad y, en términos generales, el hormigón con dicha característica será un material con mayor durabilidad [25]. Por lo expuesto anteriormente, el apartado 4.6 de la norma IRAM 11503 [12] establece una absorción máxima de agua igual al 8 % de la masa de la muestra seca. El cálculo del porcentaje de absorción de agua (*Abs*) se realiza empleando la siguiente expresión (1):

$$Abs (\%) = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad (1)$$

donde *A* es la masa seca (gramos) y *B* es la masa (gramos) saturada superficie seca.

Dichas masas se calculan de acuerdo a lo prescripto en la norma IRAM 11503 [12] tomando como muestra los testigos calados de los tubos ensayados. En la Tabla 3 se muestran las características de refuerzo del material de los testigos, su denominación y la cantidad ensayados.

## 5. Resultados

### 5.1 Capacidad de carga

En la Fig. 3 se muestran las cargas promedio de fisuración ( $\bar{F}_F$ ) y de rotura ( $\bar{F}_R$ ), registradas para cada grupo de especímenes. En la

misma figura (Fig. 3), se marca con dos líneas punteadas la carga mínima de fisuración (30 kN) y de rotura (45 kN) establecidas por la norma IRAM 11503 [12] para la Clase resistente II.

En general, en los tubos de hormigón sometidos al ECD la fase elástica del ensayo, comprendida desde el inicio hasta alcanzar la carga de fisura, está gobernada por la geometría del elemento, el módulo de elasticidad y la resistencia de la matriz del material. Por lo cual, considerando los bajos tenores de fibras empleados, se observa una escasa diferencia entre las cargas de fisuración promedio de los grupos de THRFH.

Tal como se observa en la Fig. 3, el grupo de control con armadura tradicional Clase II (THA), superó las cargas mínimas normativas ya que registró una  $\bar{F}_R$  de 50,5 kN ( $s = 2,5$  kN) y una  $\bar{F}_F$  de 32,5 kN ( $s = 3,3$  kN), siendo *s* la desviación estándar de la muestra.

Los grupos de THRFH, también superaron las cargas mínimas establecidas por la norma, independientemente del tenor de fibras empleado y de las características de las mismas. Por el contrario, el grupo de THRFA registró cargas de fisuración y de rotura promedio menores en 14,7 % y 10 %, respectivamente, a las mínimas reglamentarias para la Clase II. Es decir que, el tenor de 20 kg/m<sup>3</sup> de FA empleado como refuerzo, no fue suficiente para cumplir con los requerimientos de resistencia buscados.

Los THRFH-20(50)/0.5 con  $\bar{F}_R$  igual a 51 kN ( $s = 4,2$  kN), los THRFH-20(50)/1.0 con  $\bar{F}_R$  igual a 49 kN ( $s = 3,1$  kN) y los THRFH-20(67)/0.5 con  $\bar{F}_R$  igual a 52 kN

**Tabla 3.** Cantidad y características de refuerzo de los testigos ensayados.

Denominación	Contenido FA	Contenido FPP	Cantidad
Testigos THA	No contiene	No contiene	3
Testigos THRFH-20/0.5	20 kg/m <sup>3</sup>	0,5 kg/m <sup>3</sup>	3
Testigos THRFH-20/1.0	20 kg/m <sup>3</sup>	0,5 kg/m <sup>3</sup>	3

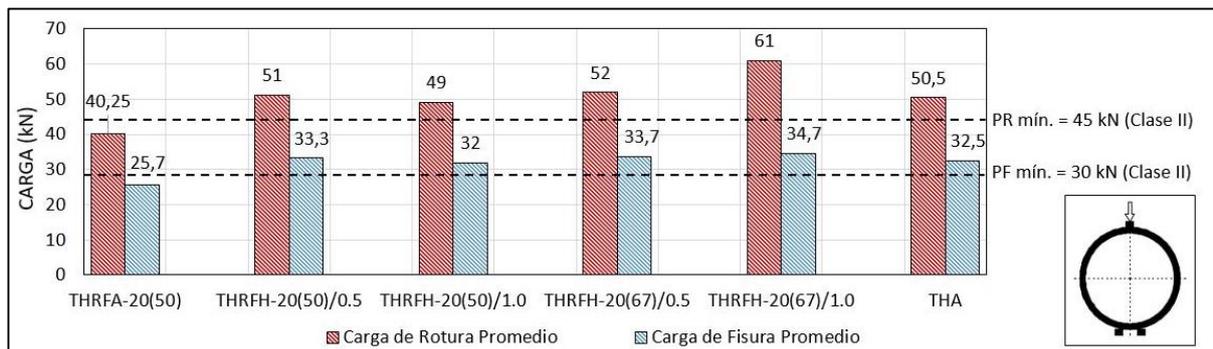


Figura 3. Cargas de fisuración y de rotura promedio obtenidas para los diferentes grupos de tubos.

( $s = 6$  kN) alcanzaron una carga de rotura equivalente a los THA de control, con diferencias porcentuales muy bajas del orden de 1 %, 3 % y 3 %, respectivamente. Sin embargo, el grupo con mayor contenido de FPP y FA de mayor relación de aspecto (THRFH-20(67)/1.0) registró una  $\bar{F}_R$  igual a 61 kN ( $s = 2,6$  kN) que superó la  $\bar{F}_R$  del grupo de control en 20,8 %. Este grupo, no solamente alcanzó una carga de rotura en promedio superior a la Clase II, sino que también, alcanzó la carga mínima de rotura para una clase resistente superior (Clase III) que la norma IRAM 11503 [12] establece en 60 kN. Es decir, el uso de fibras de mayor relación de aspecto, de mayor eficiencia según lo demostrado por otros autores [26-27], combinada con un mayor contenido de FPP genera una sinergia que aumenta significativamente la resistencia de los tubos.

En base a las  $\bar{F}_R$  mencionadas, se observa que la resistencia a la rotura de los tubos se incrementó significativamente con la utilización de la combinación de fibras como refuerzo, en comparación con aquellos especímenes reforzados solamente con las FA. Las fibras, en general, forman una red tridimensional en la masa del hormigón que le impide segregarse y fluir, por lo cual, la adición de un pequeño porcentaje de FPP le otorga mayor cohesión a la mezcla. Sin embargo, superado cierto volumen límite de fibras, la mayor viscosidad de la mezcla traería problemas de compactación que afectarían el

comportamiento de la pieza durante el ensayo [27].

Para algunas aplicaciones específicas, como es el caso de los tubos pre moldeados de hormigón, el aumento de la cohesión y la pérdida de movilidad del material puede significar una mejora en su trabajabilidad. Con ello, se logra minimizar los riesgos de deformaciones del tubo después del proceso de desmolde, que por cuestiones productivas se realiza apenas minutos después de su compactación, y proporcionar mayor estabilidad dimensional a la pieza. Sin embargo, este incremento de la cohesión puede ser beneficioso hasta cierto límite, ya que el material podría pegarse al molde y, en el momento del desmolde, generarse tensiones en sentido contrario a la dirección del colado y compactación, perjudicando la compacidad de la mezcla fresca en el momento en que no posee la capacidad de resistir dichas tensiones [29]. Lo anterior, podría explicar lo sucedido cuando se emplearon FA con menor relación de aspecto y se produjo una leve reducción en la carga de rotura promedio en los THRFH-20(50)/1.0 respecto de los THRFH-20(50)/0.5. Por ello, se observa que para cada tipo de fibras que se combinan, existe un volumen óptimo. Por lo cual, es necesario continuar realizando ensayos para diferentes combinaciones a fin de establecer rangos de uso teniendo en cuenta, además, otros parámetros importantes como son la resistencia del hormigón y el diámetro de los tubos.

## 5.2 Modo de falla

Otra observación que se realizó durante la ejecución de los ensayos fue el modo de falla de los tubos. Los THRFH, sin importar la dosis de fibras empleada o la relación de aspecto de las fibras de acero, rompieron sin desprendimiento de hormigón ni aplastamiento diametral. Se generaron cuatro fisuras principales diametralmente opuestas entre ellas, en la clave, la contraclave y los hastiales. La primera fisura siempre se produjo en la clave o en la contraclave de la zona de la punta del tubo y su desarrollo fue en dirección al cabezal, luego, aparecieron fisuras secundarias en los hastiales. La zona de iniciación de la falla es la punta del tubo debido a que posee menor rigidez. El modo de falla descrito es típico de los tubos ensayados por compresión diametral, como ha sido reportado anteriormente en otras investigaciones [3,4,13,29], y es compatible con una falla por flexión. En la Fig. 4a se muestran las cuatro fisuras en la sección transversal del tubo y en la Fig. 4b el desarrollo de la fisura desde la punta del tubo hasta el cabezal.

Por el contrario, en los THA se observó desprendimiento de hormigón, aún antes de alcanzar la carga máxima o de rotura. Además, en algunos de los especímenes de THA, se observó que en los hastiales la fisura

principal se multiplicó ramificándose en diagonales al momento de la rotura. Este patrón de fisuración responde a la acción de otros esfuerzos combinados con el de flexión, como son el corte y las tensiones radiales. En la Fig. 5a se muestran las fisuras múltiples que aparecen en la zona de los hastiales de los THA y en la Fig. 5b el desprendimiento de hormigón en la zona de la clave.

## 5.3 Absorción de agua

En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos en los ensayos, el valor de la absorción de cada testigo y el valor promedio por grupo.

Se puede observar que todos los testigos analizados, independientemente de las características de refuerzo del hormigón, tuvieron una absorción de agua menor al 8 % fijado por la norma IRAM 11503 [12] como límite máximo.

El valor promedio más alto corresponde a los THRFH con mayor contenido de FPP, siendo igual a 5,33 %, es decir, representa aproximadamente el 66 % del límite máximo de absorción, por lo cual, se infiere que se alcanzó una adecuada compactación de los tubos durante la etapa de elaboración.



Figura 4. Patrón de fisuración transversal (a) y longitudinal (b) de un THRFH.



**Figura 5.** a) Patrón de fisuración longitudinal. b) Desprendimiento de hormigón en la clave de un THA.

En la Tabla 4 se observa que el menor valor promedio de absorción lo tuvo el grupo de testigos de hormigón sin refuerzo de fibras en su matriz. Por otra parte, comparando los grupos de testigos de THRFH, se observa que para el grupo con menor contenido de fibras se obtuvo un menor valor de absorción. Aunque la diferencia no fue significativa, el incremento del volumen de fibras aumentó la absorción de agua en los especímenes debido a un efecto perjudicial sobre la compactación del material. Esta conclusión se basa en el hecho de que, al adicionar un mayor volumen de FPP en el sistema híbrido

de refuerzo, se introduce una gran superficie específica que requiere de pasta para lograr su deslizamiento y correcta compactación. En la práctica, se realizan ajustes en el volumen de pasta a través de un aumento del contenido de agua en la mezcla, lo que conlleva a una variación en la relación a/c. En este trabajo, ese tipo de ajuste no se realizó porque se decidió trabajar con una relación a/c constante.

**Tabla 4.** Valores de absorción de agua obtenidos de las muestras ensayadas.

Testigos	Absorción [%]	Absorción media [%]
1 - THA	4,8	
2 - THA	4,6	4,5
3 - THA	4,2	
1 - THRFH-20/0.5	4,9	
2 - THRFH-20/0.5	5,5	5,3
3 - THRFH-20/0.5	5,4	
1 - THRFH-20/1.0	5,3	
2 - THRFH-20/1.0	5,7	5,3
3 - THRFH-20/1.0	5,0	

## 6. Conclusiones

En este trabajo se evaluó la resistencia de THRFH a través del ensayo de compresión diametral de tres aristas, y los resultados fueron comparados con los obtenidos para THA y THRFA. Teniendo en cuenta que los resultados no pueden generalizarse debido a la cantidad de combinaciones, dosis y tipos de fibras existentes para el refuerzo, del análisis de los mismos, se puede concluir lo siguiente:

- La adición de FPP para formar un refuerzo de fibras híbridas en el hormigón, produjo un incremento en la carga de rotura promedio de los tubos, en comparación con los reforzados solamente con FA.
- El aumento en el volumen de FPP en los THRFH produjo una leve disminución de la capacidad de carga cuando se emplearon FA con relación de aspecto igual a 50.

- Se produjo una sinergia importante entre las fibras cuando se empleó FA con mayor relación de aspecto y mayor volumen de FPP en el refuerzo híbrido, incrementando de manera significativa la capacidad de carga de los THRFH.

- Los THRFH alcanzaron una carga de rotura promedio equivalente a la de los THA Clase II.

- Tanto los THRFH, como los THA, evidenciaron un porcentaje de absorción de agua menor a lo especificado en la norma IRAM 11503.

- Los THRFH mostraron una falla dúctil, sin aplastamiento diametral ni desprendimiento de hormigón.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica Nacional por el apoyo financiero para realizar el trabajo y a la empresa COINAR S.A. por el apoyo técnico en la elaboración de especímenes y en la ejecución de los ensayos. Además, se agradece a la empresa Macaferri® por la provisión de fibras de acero (Wirand®FF1, Wirand®FF3) y a NTH® (Nicieza & Taverna Hnos.) por la provisión de fibras de polipropileno (Macronita®0.6).

### Fuentes de financiamiento

Este trabajo fue financiado por la Universidad Tecnológica Nacional.

### Contribución de autoría

González: Conceptualización, Investigación Redacción-original-borrador. Rougier: Conceptualización, Investigación, Redacción-revisión-edición.

### Declaración de conflictos de interés

Los autores declaran que no existe algún conflicto de interés.

### Referencias

- [1] Al Rikabi, F. T., Sargand, S. M., Khoury, I., y Kurdziel, J. (2020). A new test method for evaluating the long-term performance of fiber-reinforced concrete pipes. *Advances in Structural Engineering*, 23(7), 1336–1349. <https://doi.org/mf9w>
- [2] Zerbino, R. (2013). Uso de macrofibras sintéticas en hormigón. *Hormigonar*, 31, 12–18.
- [3] Mohamed, N., Soliman, A. M., y Nehdi, M. L. (2015). Mechanical performance of full-scale precast steel fibre-reinforced concrete pipes. *Engineering Structures*, 84, 287–299. <https://doi.org/f63m6h>
- [4] González, F., y Rougier, V. (2022). Análisis experimental del comportamiento mecánico de tubos de hormigón reforzado con fibras híbridas. *Informes de la Construcción*, 74(565), 432–432. <https://doi.org/mf94>
- [5] Vivas, J. C., Zerbino, R., Torrijos, M. C., y Giaccio, G. (2020). Effect of the fibre type on concrete impact resistance, *Constr. Build. Mater.*, 264, 120–200. <https://doi.org/gmth>
- [6] Wilson, A., y Abolmaali, A. (2014). Performance of synthetic fiber-reinforced concrete pipes. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 5(3), 04014002. <https://doi.org/mf96>
- [7] British Standard. European Committee for Standardization. (2008). *BS EN 1916:2002 Concrete pipes and fittings, unreinforced, steel fiber, and reinforced.*
- [8] Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). *NBR-8890 Tubo de concreto de seção circular para água pluvial e esgoto sanitário - Requisitos e métodos de ensaios.*
- [9] American Society for Testing and Materials. (2016). *ASTM C1765-16 Standard Specification for Steel Fiber Reinforced Concrete Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe.*
- [10] American Society for Testing and Materials. (2016). *ASTM C1818-16 Standard Specification for Synthetic Fiber Reinforced Concrete Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe.*
- [11] American Society for Testing and Materials. (2019). *ASTM C76-19b Standard Specification for Reinforced Concrete Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe.*

- [12] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1986). *IRAM 11503 Caños de hormigón armado no pretensado. Destinados a la conducción de líquidos sin presión*.
- [13] Lee, S., Park, Y., y Abolmaali, A. (2019). Investigation of flexural toughness for steel-and-synthetic-fiber-reinforced concrete pipes. *Structures*, 19, 203–211. <https://doi.org/mgbd>
- [14] Faisal, A., Abbas, S., Kazmi, S. M. S., y Munir, M. J. (2023). Development of concrete mixture for spun-cast full-scale precast concrete pipes incorporating bundled steel and polypropylene fibers. *Materials*, 16(2), 512. <https://doi.org/mgbf>
- [15] Zhang, T., y Pan, D. (2021). Mechanical properties of steel-polypropylene hybrid fiber reinforced concrete in building structure: steel-polypropylene hybrid fiber reinforced concrete in building structure. *Stavební Obzor - Civil Engineering Journal*, 30(2), 501–513. <https://doi.org/mgbg>
- [16] Guo, H., Jiang, L., Tao, J., Chen, Y., Zheng, Z., y Jia, B. (2021). Influence of a hybrid combination of steel and polypropylene fibers on concrete toughness. *Construction and Building Materials*, 275, 122132. <https://doi.org/gp4bmz>
- [17] Zhao, C., Wang, Z., Zhu, Z., Guo, Q., Wu, X., y Zhao, R. (2023). Research on different types of fiber reinforced concrete in recent years: An overview. *Construction and Building Materials*, 365, 130075. <https://doi.org/grjp5t>
- [18] Pakravan, H. R., Latifi, M., y Jamshidi, M., (2017). Hybrid short fiber reinforcement system in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 142, 280–294. <https://doi.org/gm8zmb>
- [19] Zeng, Z., Li, C., Chen, Z., y Ke, L. (2022). Study on mechanical properties and optimum fiber content for basalt/polyacrylonitrile hybrid fiber reinforced concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022, 4181638. <https://doi.org/mgbk>
- [20] Al Rikabi, F. T., Sargand, S. M., Kurdziel, J., y Khoury, I. (2020). Performance of thin-wall synthetic fiber-reinforced concrete pipes under short and long-term loading. *Journal of Testing and Evaluation*, 48(5), 3713–3733. <https://doi.org/mgbm>
- [21] Haktanir, T., Ari, K., Altun, F., y Karahan, O. (2007). A comparative experimental investigation of concrete, reinforced-concrete and steel-fiber concrete pipes under three-edge-bearing test. *Construction and Building Materials*, 21(8), 1702–1708. <https://doi.org/fp56qw>
- [22] Singh, N. K., y Rai, B., (2018). A review of fiber synergy in hybrid fiber reinforced concrete. *Journal of Applied Engineering Sciences*, 8(2), 41–50. <https://doi.org/mgbn>
- [23] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2000). *IRAM 1551 Hormigón de cemento portland. Extracción, preparación y ensayo de testigos de hormigón endurecido*.
- [24] American Society for Testing and Materials. (2020). *ASTM C497 Test methods for concrete pipe, concrete box sections, manhole sections, or tile*.
- [25] Lawler, J. S., Zampini, D., y Shah, S. P. (2002). Permeability of cracked hybrid fiber reinforced mortar under load. *Materials Journal*, 99(4), 379–385. <https://doi.org/mgbb>
- [26] Park, Y., Abolmaali, A., Mohammadagha, M., y Lee, S. (2015) Structural performance of dry-cast rubberized concrete pipes with steel and synthetic fibers. *Construction and Building Materials*, 77, 218–226. <https://doi.org/mgbq>
- [27] Deng, Z., Liu, X., Chen, P., de la Fuente, A., Zhou, X., Liang, N., y Du, L. (2022). Basalt-polypropylene fiber reinforced concrete for durable and sustainable pipe production. Part 1: Experimental program. *Structural Concrete*, 23(1), 311–327. <https://doi.org/gj3jx5>
- [28] De la Fuente, A., de Figueiredo, A. D., Aguado, A., y Véras, J. C. (2012). Fibras plásticas como reforço de tubos de concreto: Parte 2: Otimização da armadura. En IBRACON (Ed.), *Anais do 54º Congresso Brasileiro do Concreto* (pp. 1–18). IBRACON.
- [29] De la Fuente, A., Escariz, R. C., de Figueiredo, A. D., y Aguado, A. (2013). Design of macro-synthetic fiber-reinforced concrete pipes. *Construction and Building Materials*, 43, 523–532. <https://doi.org/gns55n>



**LOMAX**

**TODOS PROYECTOS COMIENZAN  
CON UNA BASE.**

**EN LOMAX SABEMOS CÓMO CONSTRUIRLAS  
PARA SIEMPRE.**

LOMAX,  
EL HORMIGÓN DE **LOMA NEGRA**

**[www.lomanegra.com](http://www.lomanegra.com)**

 **Loma Negra**

 **Loma Negra**

 **lomanegra\_oficial**

# UN HORMIGÓN PARA CADA NECESIDAD.

DESARROLLAMOS SOLUCIONES  
INTEGRALES Y A MEDIDA CON UNA ALTA  
CAPACIDAD TÉCNICA Y LOGÍSTICA.



WWW.  
CEMENTOS  
AVELLANEDA.  
COM.AR





**AUTOMAX PRO M**

Prensas de compresión inteligentes,  
automáticas y con conectividad avanzada

**CONTROLS**

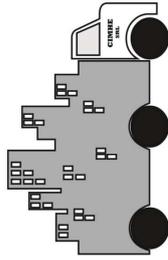


Ejecución automática del ensayo de Módulo Elástico de acuerdo con las principales normas internacionales y cálculo automático de los resultados del ensayo.

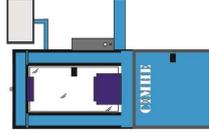


Realiza ensayos controlados por desplazamiento en vigas con hendidura, adoquines redondos o cuadrados, con el bastidor de flexión adecuado

El Sistema de control AUTOMAX PRO-M, equipado con un sistema hidráulico superior, además de los ensayos básicos de rotura puede también realizar el ensayo de Módulo Elástico y ensayos controlados por desplazamientos en hormigón reforzado con fibras.



**CIMHE**  
SRL



**CIMHE**  
INSUMOS SAS



GESTION  
DE LA CALIDAD



RI-9000-8921  
IRAM-ISO 9001:2015

Prestación del servicio de ensayo de hormigones y  
suelos para el rubro de la construcción

**GRUPO CIMHE**

**+ INNOVACIÓN + SOLUCIONES**

**ICPA**

INSTITUTO DEL CEMENTO  
PORTLAND ARGENTINO

**INSTITUTO DEL CEMENTO  
PORTLAND ARGENTINO**

**LÍDERES EN INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA**

[WWW.ICPA.ORG.AR](http://WWW.ICPA.ORG.AR)



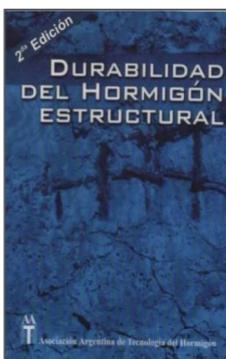
## LIBROS A LA VENTA

---



### **Ese material llamado HORMIGÓN**

Editoras, Noemí Graciela Maldonado y María Fernanda Carrasco



### **DURABILIDAD DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL (2<sup>da</sup> Ed.)**

Editor, Edgardo F. Irassar

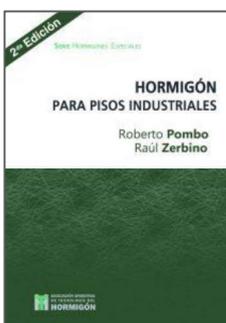


### **HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS (2<sup>da</sup> Ed.)**

*Serie Hormigones Especiales*

*(Versión digital disponible para compra)*

Editor, Raúl Zerbino



### **HORMIGÓN PARA PISOS INDUSTRIALES (2<sup>da</sup> Ed. ampliada)**

*Serie Hormigones Especiales*

*(Versión digital disponible para compra)*

Editores, Roberto Pombo y Raúl Zerbino

Los libros pueden adquirirse individualmente y también, se ofrecen diferentes combos. Para consultar los precios puede acceder al link: <https://www.aath.org.ar/publicaciones/>

Para adquirir los libros comunicarse con la dirección de e-mail: [aath@aath.org.ar](mailto:aath@aath.org.ar)



## PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS

---

La revista Hormigón publica artículos originales que abordan temas de interés y trascendencia en el campo de la Tecnología del Hormigón entre los que se encuentran: desarrollo científicos-tecnológicos, ejecución de obras de hormigón, evaluación de estructuras de hormigón, uso de materiales regionales o alternativos, nuevas técnicas de ensayo, control de calidad.

Posee periodicidad semestral, publicándose un número en el mes de marzo (cubriendo el período marzo-agosto) y otro en el mes de septiembre (cubriendo el período septiembre-febrero). Los números, se publican de forma periódica el día 10 (hábil) del mes de marzo y septiembre.

Desde el 2021 se puede acceder a los artículos de forma online y con acceso abierto a través de la página web de la revista ([www.revistahormigon.org](http://www.revistahormigon.org)). En el mismo enlace podrá encontrar las instrucciones para autores.

Los artículos deberán enviarse a la dirección de e-mail: [revistahormigon@gmail.com](mailto:revistahormigon@gmail.com)