



Facultad de Arquitectura,
Planeamiento y Diseño.

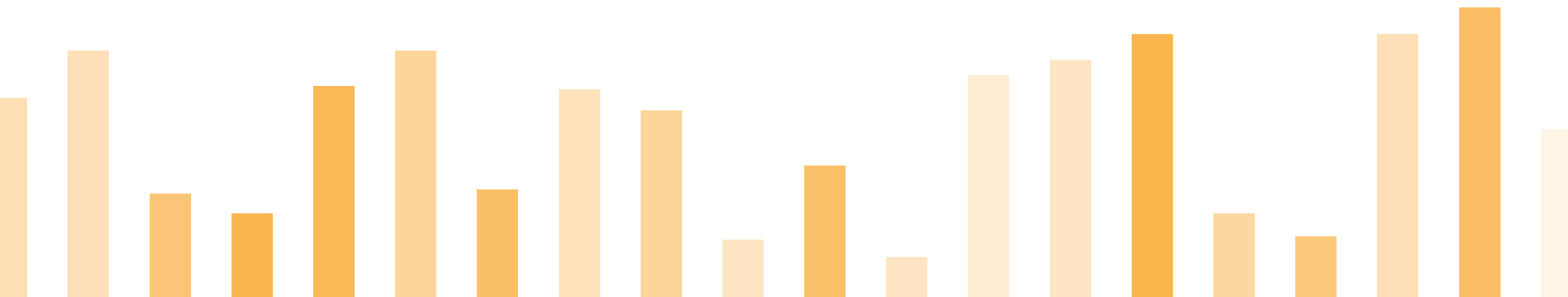
3, 4 y 5 de agosto
2022

Creta XII Congreso Regional de
Tecnología en Arquitectura

Libro de ponencias

ISBN 978 - 987 - 702 - 617 - 7

| Universidad Nacional de Rosario, A&P Ediciones, 2022.



Povrzenic, Javier
XII Congreso Regional de Tecnología en Arquitectura : libro de ponencias / Javier Povrzenic; María José Panvini ; compilación de Javier Povrzenic ; María José Panvini ; Iván Cabrera. - 1a ed.
- Rosario : UNR Editora, 2023.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-702-617-7

1. Arquitectura. I. Panvini, María José. II. Cabrera, Iván, comp. III.
Título.
CDD 720.7

ISBN 978-987-702-617-7

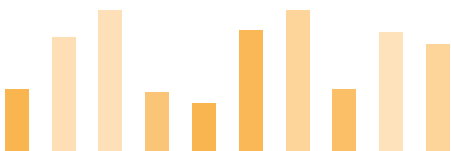




Creta

XII Congreso Regional de Tecnología en Arquitectura

*Desafíos de las Tecnologías en Arquitectura.
Diseño, Trabajo y Ambiente.*



Diego Velázquez
Marcelo Stipcich

IFIMAT

FCE — UNCPBA, Tandil, Argentina /
CONICET, CABA, Argentina

—
dvelazquez@ifimat.exa.unicen.edu.ar

CONSTRUCCIÓN DE PISOS Y REVESTIMIENTOS DE HORMIGÓN VI- BRADO CON PLÁSTICOS DE RAEE RECICLADOS

CONSTRUCTION OF VIBRATED CONCRETE FLOORS AND LININGS WITH RECYCLED WEEE PLASTICS

RESUMEN

El proceso de fabricación de piezas de hormigón vibrado es ampliamente conocido y muy utilizado en la actualidad para la fabricación de diversas piezas de construcción (planchas, pisos, revestimientos, etc.). A su vez, se conoce la posibilidad de alivianar hormigón mediante el agregado de virutas plásticas recicladas proveniente de equipamientos eléctricos y electrónicos descartados como residuos (RAEEs). Se fabricaron piezas de hormigón vibrado reemplazando distintas proporciones de la piedra por plásticos RAEEs. Se obtuvieron pisos y revestimientos más livianos, pero indistinguibles a la vista de las piezas convencionales. Se estudiaron las propiedades mecánicas a la flexión y a la compresión. Las propiedades de acabado superficial, homogeneidad del coloreado y estética de la pieza fueron cuidadosamente analizadas. Los resultados indican que mediante el proceso desarrollado es posible obtener piezas con material reciclado de muy buena calidad, capaces de competir en el mercado.

ABSTRACT

The manufacturing process of vibrated concrete parts is widely known and widely used today for the manufacture of various construction parts (plates, floors, cladding, etc.). In turn, the possibility of lightening concrete by adding recycled plastic chips from electrical and electronic equipment discarded as waste (RAEE) is known. Vibrated concrete pieces were manufactured by replacing different proportions of the stone with WEEE plastics. Lighter floors and coverings were obtained, but visually indistinguishable from conventional pieces. The mechanical properties to bending and compression were studied. The properties of surface finish, color homogeneity and aesthetics of the piece were carefully analyzed. The results indicate that through the developed process it is possible to obtain pieces with very good quality recycled material, capable of competing in the market.

PALABRAS CLAVES: economía circular—hormigón alivianado—propiedades mecánicas

KEY WORDS: circular economy—lightened concrete—mechanical properties

INTRODUCCIÓN

Desde el año 2015, en la ciudad de Tandil existen centros de recolección de residuos sólidos urbanos (RSU) denominados “Punto Limpio”. Actualmente la red cuenta con seis estaciones, cuatro en Tandil (Centro, Oeste, Norte y Villa Italia Norte), una en María Ignacia - Vela y otra en Gardey (localidades pequeñas pertenecientes al partido de Tandil). En estas se reciben vidrio, cartón, papel, botellas de plástico, latas, aerosoles, telgopor, envases de tetra brick, pilas, aparatos eléctricos y electrónicos, aceite de cocina usado y sachets. A lo largo de 2021 la red de Puntos Limpios del Municipio de Tandil recibió unas 520 toneladas de materiales potencialmente reciclables (Villalba 2021).

Gracias al trabajo y el impulso de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNCPBA, se creó la Cooperativa de Pretratamiento de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (CooPRAEE), a través de la cual se gestionan eficientemente los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) los cuales representan aproximadamente el 7% del total en peso de los materiales recibidos en los Puntos Limpios (Municipio de Tandil 2019). Se busca en primer lugar reparar y/o reacondicionar los equipos para venta o donación, y los que no pueden ser reparados, son desarmados, separando sus componentes en diferentes categorías para su recuperación.

Cuando no pueden ser reutilizados, los componentes se procesan y clasifican para ser reciclados. Aquellos que poseen residuos calificados como peligrosos son enviados a empresas habilitadas para su tratamiento, mientras que los demás materiales (principalmente la fracción plástica, que representa más del 70% del volumen) son potencialmente reutilizables si son procesados adecuadamente para ser utilizados como insumos en la confección de nuevos productos (Gavhane et al. 2016, Kreiker et al. 2017).

Esta fracción plástica está principalmente compuesta por poliestireno (PS), poliestireno de alto impacto (HIPS), y el copolímero acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) (Schlummer et al. 2007). Sus propiedades mecánicas hacen que este tipo de plásticos sean aptos para utilizarse como agregados en la elaboración de materiales para la construcción, como pueden ser mampostería o premoldeados.

La posibilidad de reutilizar los desechos plásticos como insumos alternativos para la industria de la construcción contribuye a la mitigación de los problemas de su disposición final. Un análisis comparativo mediante el enfoque de evaluación del ciclo de vida indica que el reciclaje y la reutilización de los plásticos RAEE en materiales de construcción son ambientalmente superiores a las estrategias tradicionales, como la incineración y la disposición final en rellenos sanitarios, reduciendo el impacto a menos del 50% en términos

relativos (Butturi 2020). Estas tecnologías bastante simples, adecuadas para su implementación en pequeñas fábricas y que requieren una baja inversión, son una opción recomendable en los países de ingresos bajos y medianos, ya que reducen los riesgos de ecotoxicidad con respecto a las estrategias de eliminación actuales. Existe un método alternativo al utilizado en este trabajo, que consiste en fabricar un árido sintético encapsulando las virutas plásticas con cemento y carbón activado, lo cual permite estabilizar los retardantes de llama bromados presentes en el plástico. Sin embargo, el hecho de que implica modificar considerablemente el proceso productivo habitual de la fábrica, junto con que la reducción del impacto ambiental es sólo del orden del 10% (Butturi et al. 2020), hace que, al momento, la relación costo-beneficio de esta alternativa sea alta para su implementación. Complementariamente, hay que tener en cuenta que tanto para los pisos como para los revestimientos de hormigón, se recomienda pintar luego de la colocación con hidrolaca (polímero de base acuosa) para proteger e impermeabilizar las piezas.

Los hormigones con agregados plásticos (AP) son interesantes porque permiten generar nuevos materiales con características físicas diferentes a las de los materiales de construcción más usuales (ver por ejemplo, Pacheco-Torgal y De Brito 2012 o Saikia et al. 2012]. En general, proporcionan menor densidad, mayor aislamiento térmico y, aunque reducen la resistencia a la compresión, aumentan la ductilidad del hormigón (Babafemi et al. 2018, Ragaert et al. 2017).

Es usual que el agregado de plástico al hormigón conduzca a un aumento significativo en el contenido de aire del mismo debido a la forma irregular, la inmiscibilidad del plástico y la arena natural, y la naturaleza hidrofóbica del plástico (Babafemi et al. 2018). Es posible reducir ese contenido de aire aplicando un procedimiento de vibrado al momento de llenar los moldes para fabricar las diferentes piezas premoldeadas que se desee.

En este trabajo se presenta algunos detalles del desarrollo, y resultados de la caracterización de pisos y revestimientos de hormigón vibrado con diferentes diseños y colores con el agregado de hasta 50% en volumen de AP provenientes de RAEE previamente triturados, en reemplazo del agregado grueso tradicional (piedra granítica).

METODOLOGÍA

La elaboración de las piezas estudiadas en este trabajo fue llevada a cabo en las instalaciones de una pyme local dedicada a la fabricación de pisos y revestimientos de hormigón. Se utilizaron moldes comerciales de plástico y de resina con terminaciones superficiales correspondientes a diferentes diseños:

símil piedra, símil madera, etc. Una vez completados con la mezcla son sometidos a un proceso de vibrado que contribuye al correcto llenado del molde y la eliminación de burbujas.

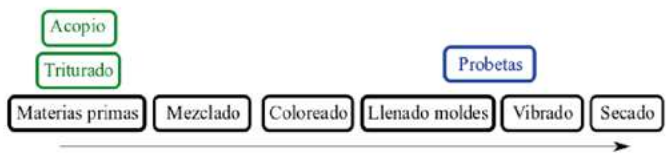


Fig. 1: Esquema del proceso productivo de la fábrica de pisos y revestimientos. Se indican en verde las dos etapas que se sumaron para la incorporación de AP, y en azul la etapa en la que se fabricaron las probetas para los ensayos de laboratorio. Fuente: Elaboración propia

En paralelo al proceso productivo habitual, que se esquematiza en la figura 1, se extrajeron probetas para realizar diferentes estudios en el laboratorio del Instituto de Física de Materiales Tandil (IFIMAT). Se fabricaron piezas y probetas con distintas concentraciones en volumen de AP provenientes de RAEE, desde 0 % (hormigón tradicional), hasta 50 %. La granulometría de las virutas plásticas obtenidas del proceso de triturado (que se realiza en las instalaciones de la misma fábrica) puede verse en la figura 2.

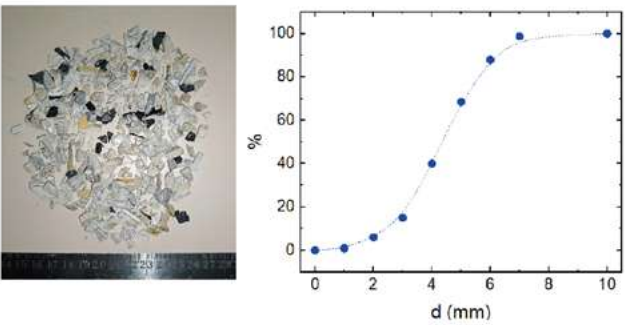


Fig. 2: Granulometría de las virutas plásticas obtenidas del proceso de triturado. Fuente: Elaboración propia

Las distintas composiciones fabricadas y estudiadas en este trabajo se detallan en la tabla 1.

Muestra	Cemento (kg)	Arena (kg)	Piedra (kg)	AP (kg)
0%	240	910	953	0
20%	240	650	716	166
30%	240	520	596	250
40%	240	520	476	291
50%	240	390	358	375

Tabla 1: Composición de los hormigones estudiados por m³. Fuente: elaboración propia.

Los ensayos del secado de las piezas se realizaron sobre muestras de hormigón convencional, esto es, el utilizado por la empresa para fabricar sus productos hasta la fecha, y sobre muestras de hormigón con 30 % de AP. Se analizaron tres muestras con cada composición. Se utilizaron muestras cilíndricas de 6 cm de diámetro y entre 12.0 a 15.0 cm de altura. Luego de coladas, las muestras fueron mantenidas en sus moldes durante 2 (dos) días antes de desmoldarlas.

Para los ensayos mecánicos se utilizó una máquina universal de ensayos Shimadzu DSS-10T-S. Los ensayos de compresión axial se realizaron sobre probetas cilíndricas de 6 cm de diámetro y altura variable, respetando los coeficientes de esbeltez. La composición de las muestras ensayadas fue la correspondiente a la M40 y M50 de la Tabla 1. Los ensayos de flexión de tres puntos se realizaron sobre probetas prismáticas de sección cuadrada, de 50 mm de lado; la luz de la viga fue de 150 mm en condiciones de apoyo simple. La carga fue aplicada hasta que se desarrollaran grietas permanentes de flexión sobre la viga. En ambos tipos de ensayos, la velocidad de deformación fue de 1 mm/min. En compresión se analizaron tres muestras con agregado de plástico variable entre 0% y 50%. En flexión, se analizaron 3 conjuntos de muestras: sin AP, con AP de 40% y con AP de 40% con armadura de acero. Se ensayaron tres muestras de cada grupo. La armadura consistió en una malla comercial de 50 mm x 50 mm, de alambres de acero de 5 mm de diámetro. Dicha armadura se incluyó durante la fabricación de las muestras, siguiendo el proceso habitual de fabricación de la empresa. En todos los casos, al momento de los ensayos mecánicos las muestras contaban con más de 28 días de fraguado.

Por otro lado, teniendo en cuenta que la densidad de los plásticos es considerablemente menor a la del resto de los componentes de la mezcla, se llevó a cabo un análisis de la distribución de las virutas con especial interés en detectar su segregación durante la fabricación de las piezas, especialmente durante el proceso de vibrado. Para ello, se cortaron muestras obtenidas de diferentes piezas con una sierra sensitiva con disco para corte de hormigón, fueron pulidas mecánicamente con lija de hasta graduación 600 y analizadas ópticamente con una lupa binocular Mikoba 300, equipada con una cámara digital.

Por último, se determinó el coeficiente de conductividad térmica sobre muestras de (5 x 5 x 2.5) cm³, mediante el método de placa caliente, utilizando un arreglo con dos muestras ubicadas simétricamente, siendo el resultado presentado el valor promedio determinado para ambas muestras. La diferencia de temperatura entre la cara caliente y la fría fue de aproximadamente 30 °C.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Secado de las piezas fabricadas

Más allá del proceso de fraguado que como toda pasta de base cemento, tienen las piezas fabricadas, una de las inquietudes surgidas en la empresa estuvo relacionada con los tiempos involucrados para manipulación de las piezas con plástico agregado. El conocimiento de este dato le permite, entre otras cosas, estimar cuánto tiempo pasará en volver a disponer del molde, saber si es necesario un espacio de almacenamiento con temperatura controlada, etc. Para analizar el secado del material se determinó experimentalmente la pérdida de peso de las muestras en función del tiempo con una balanza analítica electrónica de sensibilidad del orden de la décima de gramo. Siendo que en la primera etapa de fraguado el material desarrolla un endurecimiento inicial asistido por la humedad, después del colado las muestras se conservaron en sus moldes durante 48 h. Se constató que, debido a la presencia del molde, la baja superficie libre de la muestra conduce a que el material fragüe perdiendo menos del 2% del agua proveniente de la colada. Se considera entonces, que el peso inicial de la pieza es el determinado inmediatamente después del desmolde. Un examen inicial demuestra que el material ha logrado una resistencia suficiente para ser manipulado con precaución, sin problemas de rotura siempre y cuando no sea golpeado. Se realizó un control periódico del peso de las piezas, las cuales fueron convenientemente estivadas a temperatura y humedad constantes de 30°C/40%RH mientras duró el ensayo. El control se realizó hasta determinar que el peso del material no cambia respecto a la medición anterior, lo que indica que la pieza ha alcanzado un valor máximo de secado.

La curva de pérdida relativa de peso en función del tiempo obtenida se presenta en la figura 3, donde la pérdida relativa, p_r , es:

$$p_r = \frac{(\text{peso máximo} - \text{peso instantáneo})}{(\text{peso máximo} - \text{peso final})}$$

De la curva se puede comprobar que en la muestra con agregado de plásticos el tiempo de secado de la pieza es algo más corto que en el hormigón convencional. Mientras que la muestra con plásticos agregados alcanza el valor de secado completo a los 22 días, la otra muestra de lo hace recién alrededor de los 30 días.

Estética visual de las piezas

En la figura 4 se muestran diferentes modelos de piezas elaboradas con 50% de virutas de plástico RAEE. El control dimensional confirma que no existen

variaciones considerables en las dimensiones de ambas piezas. Puede observarse además que la terminación de la pieza no se ve afectada por la utilización de agregado plástico (AP). El copiado del molde es muy bueno y alcanza a reproducir hasta los mínimos detalles. El acabado superficial es liso al tacto, y no se visualizan rastros de las virutas plásticas agregadas sobre la superficie que queda expuesta luego de la colocación. Por otra parte, el coloreado puede realizarse correctamente y no se ve afectado por la incorporación de AP.

En la figura 5, se muestran cortes transversales de diferentes piezas elaboradas con 30% de AP. Se puede observar que la distribución del AP es homogénea en todo el volumen de las mismas. Además, se muestra el corte de una pieza que cuenta con un armado con varillas de acero. En la figura, las flechas color rojo indican a las virutas de plástico, las azules a las piedras y las verdes, el acero del armado. A pesar de que las densidades de los distintos agregados son considerablemente diferentes, el proceso de vibrado realizado no promueve que se origine ningún tipo de segregación de los plásticos. Adicionalmente, se genera una lámina delgada por encima de los plásticos que se ubican cerca de la superficie de la pieza, que impide que se puedan observar una vez que se desmolda.

La interfaz AP-matriz de hormigón es muy homogénea: la cara de contacto del plástico con el resto del material es continua, sin burbujas retenidas ni faltantes de material. Probablemente esto sea producto del vibrado del material. Toda la superficie de la viruta plástico está en contacto con la fase matriz. Eso genera un encapsulado individual completo de las virutas que no sólo disminuye las posibilidades de lixiviado que podría tener el material, sino que además mejora considerablemente las propiedades mecánicas del compuesto hormigón-plástico. Idéntico comportamiento puede observarse en la superficie de contacto entre las varillas de hierro del armado (indicadas con flechas verdes en la fotografía) y la matriz, lo que permite asegurar un buen comportamiento frente a la posible propagación de óxido.

Ensayos mecánicos: compresión

Los resultados obtenidos para estos ensayos, mostrados en la Figura 6, presentan las características generales esperables para hormigones con agregados plásticos (Ragaert et al. 2017, Merlo et al. 2021). Esto es, en rasgos generales, que la tensión máxima a la rotura, σ_c , y el módulo de elasticidad, E , disminuyen conforme aumenta el AP. Por su parte, la deformación máxima alcanzada al momento de la rotura, ϵ , se mantiene aproximadamente constante, ligeramente por debajo de la del material sin agregados, y comienza a aumentar para valores altos de AP, alrededor del 30% según nuestros resultados.

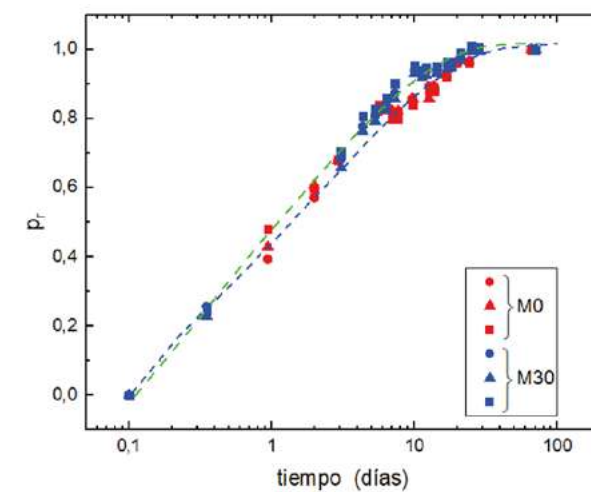


Fig. 3: Pérdida relativa de peso durante el proceso de secado para las muestras 0% y 30%.
Fuente: Elaboración propia



Fig. 4: Diferentes modelos de piezas fabricadas con 50% de AP.
Fuente: Elaboración propia

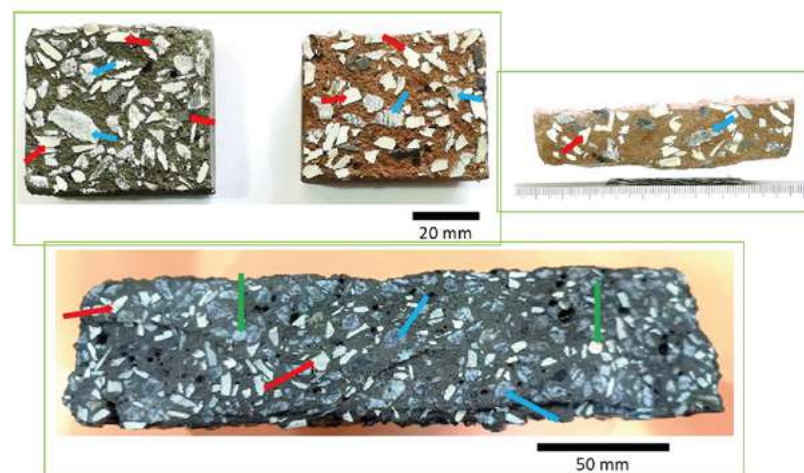


Fig. 5: Cortes transversales de diferentes piezas elaboradas con 30% de AP. Las flechas color rojo indican a las virutas de plástico, las azules a las piedras y las verdes, el aceros del armado. Fuente: Elaboración propia

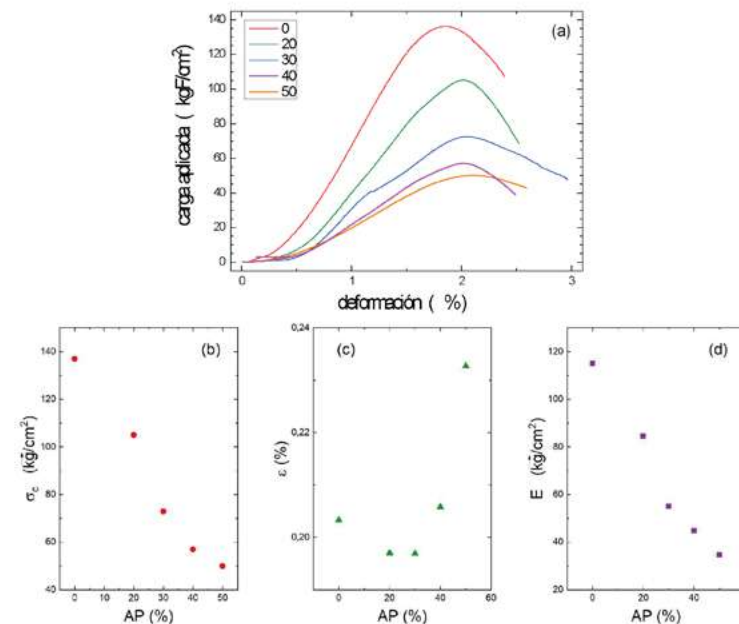


Fig. 6: (a) resultados obtenidos en los ensayos mecánicos de compresión para muestras entre 0% y 50% de AP. (a) curvas tensión - deformación y tensión crítica, σ_c , (b), deformación porcentual a la rotura, ϵ , (c) y módulo de elasticidad (d), versus AP.

Ensayos mecánicos: flexión

En la Figura 7 se muestran algunos resultados obtenidos para los ensayos de flexión. En primer lugar, se destaca la diferencia entre las muestras con y sin AP. Si bien la carga soportada en flexión por la muestra de hormigón con 0% AP es mayor, el resultado responde claramente a un material sumamente frágil. Las muestras con AP, por su parte, presentan las características de un material más dúctil y de menor resistencia mecánica a la flexión. Se determinaron las deformaciones a la fractura de cada material, resultando de 0.24 mm, 0.60 mm y 1.53 mm, para 0%, 40% y 40%+armadura, respectivamente. La determinación se realizó conforme se describe gráficamente con líneas de trazos en la Figura 7 para la curva verde (40%+armadura). Es importante destacar el aporte de la armadura en la resistencia del material. Como ya habíamos mencionado, el agregado de las virutas disminuye las características mecánicas en general del hormigón resultante. Sin embargo, la incorporación de una armadura de acero aumenta notablemente la carga máxima de la muestra y la deflexión alcanzada a la rotura, durante el ensayo. Si bien es necesario un mayor análisis, este resultado estaría indicando que en flexión, el material aumenta su ductilidad con el agregado de plástico, y la carga alcanzada a la rotura aumenta si la pieza es fabricada con armadura

de acero. Esto resulta de suma importancia desde el punto de vista de la utilidad que se pretende dar al material ensayado, como lo es su aplicación en pisos y revestimientos.

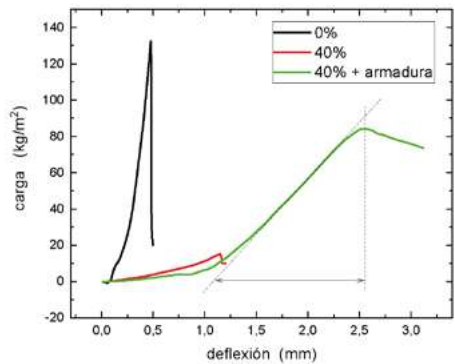


Fig. 7: resultados de los ensayos mecánicos de flexión para las muestras 0% (línea negra), 40% (línea roja) y 40% + armadura de acero (línea verde). Con líneas de trazos se detalla el criterio para el cálculo de la deflexión a la fractura de cada muestra.

Conductividad térmica

Se determinó el coeficiente de conductividad térmica para cuatro de las composiciones estudiadas en este trabajo. Los resultados obtenidos se detallan en la figura 8. Tal como es de esperar para hormigones con agregados plásticos, la conductividad térmica disminuye a medida que se agrega mayor proporción de AP al concreto (Babafemi et al. 2018). A partir de un ajuste lineal, se puede comprobar que el coeficiente de conductividad térmica disminuye con el agregado de plástico, a razón de aproximadamente 0.08 W/m²K por cada 100 kg/m³ de disminución de la densidad. Cabe mencionar que, en el caso de los revestimientos, el hecho de tener una conductividad térmica menor contribuye a que los muros cumplan con los valores de transmitancia térmica recomendados por la norma IRAM 11605.

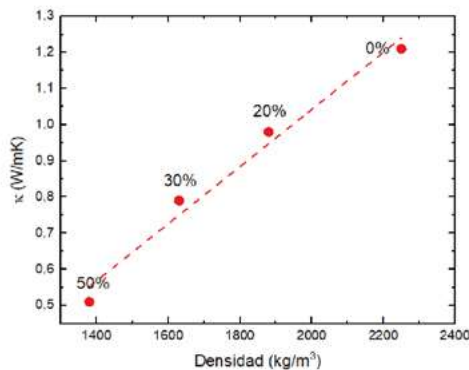


Fig. 8: Valores del coeficiente de conductividad térmica en función de la densidad.

CONCLUSIONES

En este trabajo se realizó la caracterización de piezas de hormigón vibrado, alivianadas con plástico agregado en diferentes cantidades. Los plásticos provinieron de aparatos eléctricos y electrónicos descartados entre los residuos sólidos urbanos, y triturados convenientemente en la misma fábrica.

Se encontró que el agregado de plástico acorta el tiempo del secado de las piezas. Durante el sacado de las piezas posterior a la fabricación, se observó que aquellas con plástico agregado alcanzan el máximo valor de pérdida de humedad en un tiempo más corto que las fabricadas únicamente con hormigón.

La presentación final de las piezas no cambia ante el análisis visual. Las piezas fabricadas con hormigón y plástico lucen una excelente terminación superficial con muy buenas características estéticas y al tacto de la superficie expuesta. Pueden colorearse de la manera usual utilizada para las fabricadas sólo con hormigón.

Los cortes transversales de las piezas mostraron una distribución homogénea de los plásticos dentro de la pieza, y que, además, cada viruta está perfectamente encapsulada en el hormigón. Si se suma que las piezas, una vez colocadas son recubiertas con pintura impermeable, ese aspecto es de suma importancia para asegurar la disminución de un posible lixiviado.

Los ensayos mecánicos realizados permitieron observar que en compresión el material presenta las condiciones características de los hormigones alivianados con plásticos: la carga máxima y el módulo de elasticidad muestran una disminución aproximadamente lineal con el aumento de agregados plásticos, mientras que la deformación a la rotura aumenta. Sin embargo, los ensayos de flexión permiten comprobar que el agregado de plástico aumenta la ductilidad del material, y la carga máxima aumenta cuando la pieza se fabrica con armadura de acero, cuando se la compara con el mismo material sin armadura.

Por su parte, se observa una relación aproximadamente lineal entre la densidad del material con diferentes cantidades de plástico y el coeficiente de conductividad térmica. La conductividad aumenta con la densidad del material, esto implica que una pieza con mayor cantidad de plástico tendrá una mayor capacidad de aislamiento térmico

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Babafemi et al. (2018) Engineering Properties of Concrete with Waste Recycled Plastic: A Review. Sustainability, 10(11), 3875; <https://doi.org/10.3390/su10113875>
- Butturi et al. (2020) Ecotoxicity of Plastics from Informal Waste Electric and Electronic Treatment and Recycling
- Kadari, R. et al. (2016) Quantitative Estimation of Brominated Compounds for Restriction of Hazardous Substances (RoHS) Present in Computer Key Board Switches (CKBS) Using Gas Chromatography Mass Spectrometry. Journal of Analytical Chemistry 71 (1): 133-139.
- Kreiker et al. (2017). Árido sintético de plásticos de RAEE. Una alternativa sustentable para morteros y componentes constructivos. Revista Arquitecto (10) 58:64. <http://dx.doi.org/10.30972/arq.0104218>
- Merlo A. et al. Recycling of WEEE Plastics Waste in Mortar: The Effects on Mechanical Properties. Recycling 2021, 6(4), 70; <https://doi.org/10.3390/recycling6040070>
- Municipio de Tandil (2019) Boletín estadístico N°3 | Marzo 2019 - Residuos. Disponible en <http://datos.tandil.gov.ar/>
- Pacheco-Torgal F., Ding Y., Jalali S. (2012) Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (tyre rubber and polyethylene terephthalate bottles): An overview. Construction and Building Materials 30: 714-724. (<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.047>)
- Ragaert K., Delva L, Van Geem V. (2017). Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. Waste Management 69:24-58. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.044>)
- Saikia N., De Brito J. (2012) Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review. Construction and Building Materials 34:385-401. (<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.066>)
- Schlummer M. et al. (2007), Characterisation of polymer fractions from waste electrical and electronic equipment (WEEE) and implications for waste management, Chemosphere 67 (9) 1866–1876.
- Villalba L. (2021) Informe especial: Puntos Limpios municipales de Tandil. DOI: 10.13140/RG.2.2.15332.50566