

SMC

SUSTAINABLE MEDITERRANEAN CONSTRUCTION
LAND CULTURE, RESEARCH AND TECHNOLOGY

FOCUS ON

BIOTIC / A-BIOTIC

N. TEN
2019

LUCIANO EDITORE

- 005_ VIEW_City, Nature and Design
Dora Francese
- 021_ BOARDS AND INFORMATION
- FOCUS ON BIOTIC / A-BIOTIC
- 023_ Cities designed as ecosystems: the new challenge for urban architectural design
Georgia Cheircanteri
- 028_ Biomimetic of xerophilous plants in the design of water storage systems
Wedsley Melo, Itamar Silva, Pablo Torres
- 033_ Human and Mediterranean environment: biotic interactions in the rural districts of Cilento
Giuseppe Vaccaro
- 040_ Importance of green spaces in planning sustainable urban areas
Lea Petrović Krajnik, Vedrana Križanić, Damir Krajnik
- 047_ Application and benefits of Mediterranean green streets
Renata Valente, Salvatore Cozzolino, Pietro Ferrara
- 054_ The microclimatic contribution of urban green fraction: case study: Medellin, Colombia
Ricardo Ramírez-Naranjo, María Alejandra Herrera-Hurtado
- 060_ The city is growing up: agriculture and urban regeneration
Alessandra Battisti
- 069_ Path for the river rebirth of Olona Valley
Daniele Fanzini, Raffaella Riva, Raul Dal Santo
- 074_ Sustainable recovery: water as a source of territorial valorization
Chiara Marchionni, Marianna Rotilio, Pierluigi De Bernardinis
- 079_ The role of water in the environmental design of urban space
Laura Daglio, Elena Mussinelli
- 084_ The practical aspect of teaching and research: a laboratory with natural materials in the Federal University of Pelotas
Sara Parlato, Ricardo Luis Sampaio Pintado
- 088_ The historical city of Sfax-Tunisia: Valorization of the traditional building stone
Ben Ali Fouad, Raida Kchaw, Ali Abdelmônem Zribi
- 093_ Simulation tools for energy performance evaluation on early stage of architectural design in academic context
Paulo Mendonça, Nzar Faiq, Jorge Fernandes, Ricardo Mateus
- 100_ Adaptive retrofitting strategies for social and ecological balance in urban Mediterranean area
Cristiana Cellucci
- 105_ Sustainable building materials for touristic Mediterranean infrastructures
Anna Maria Giovenale, Elisa Pennacchia, Fabrizio Cumo, Federico Cinquepalmi
- 110_ Climate change adaptation and vegetation: the case Ufa fabric
Federica Dell'Acqua
- 116_ Palermo garden of Sicily
Tiziana Firrone, Carmelo Bustinto
- 125_ The design of biotic environment for balancing urban microclimate
Fabrizio Tucci, Domenico D'Olimpio
- 131_ Sustainable materials for the design of the city: eco-compounds with recycled materials for the realization of urban flooring
Mercedes del Río Merino, Jaime Santa Cruz Astorqui, Veronica Vitiello, Roberto Castelluccio, Paola Villoria
- 136_ Feasibility Study of a Low Carbon House in Tabriz, Iran
Sanaz Hariri Shabestari, Hossein Mirzaii
- 140_ The Kessariani Monastery: a significant testimony of Byzantine architecture
Emanuele La Mantia
- 146_ The contribution of the park trees to the adaptation of a city to climate change: the case of Thessaloniki
D. N. Papagiannopoulou, T. K. Tsitsoni, A. B. Kontogianni

PHD RESULTS

- 151_ Urban Ecclesiastical Ruins and the biotic and abiotic environment in Smaller Urban Center
Lorenzo Gargano
- 152_ Waste management and health risks in rural communities of Ghana
Giovanni Vinti
- 153_ Sustainable management of stormwater in a changing environment under Mediterranean climate conditions
Mirka Mobilia
- 154_ Trend analysis of the year-to-year rainfall variability under a Mediterranean climate in southern Italy
Ouafik Boulariah
- 155_ Learning from experimental data the hydrological behaviour of a green roof in a typical Mediterranean environment: climate, soil moisture and drainage layer properties impact
Roberta D'Ambrosio
- 156_ SuDS and mitigation of urban flooding: a new challenge
Roberta D'Ambrosio
- 157_ Field Architectures. The ecologies of rural settlement in Sardinia: an atlas of field architectures
Roberto Sanna
- 158_ Challenges of solid waste recycling system in Jordan: a focus on plastic and paper waste recovery in Irbid
Silvia Gibellini

SCIENTIFIC COMMITTEE

Eugenio ARBIZZANI
Aasfah BEYENE
Bojana BOJANIC
Michele CAPASSO
Stefano CHIARENZA
Angela CODONER
Francesca Romana
D'AMBROSIO
Ana Maria DABIJA
Kambiz EBRAHIMI
Daniel FAURE
Pliny FISK
Giorgio GIALLOCOSTA
Rodolfo GIRARDI
Mihiel HAM
Fakher KARAT
Pablo LA ROCHE
Serge LATOUCHE
Stefano LENCI
Alberto LUCARELLI
Gaetano MANFREDI
Saverio MECCA
Paulo MENDONÇA

Giuseppe MENSITIERI
Lorenzo MICCOLI
Alastair MOORE
Michael NEUMAN
João NUNES
Massimo PERRICCIOLI
Silvia PIARDI
Alberto PIEROBON
Khalid Rkha CHAHAM
Susan ROAF
Yodan ROFÈ
Piero SALATINO
Fabrizio SCHIAFFONATI
Mladen SCITAROCI
Alfonso SENATORE
Ali SHABOU
Abdelgani TAYYIBI
Nikolas TZINIKAS
Funda UZ
Michael VAN GESSEL
Dilek YILDIZ
Ayman ZUAITER

STEERING COMMITTEE

Gigliola AUSIELLO
Alfredo BUCCARO
Luca BUONINCONTI
Mario BUONO
Domenico CALCATERRA
Domenico CAPUTO
Roberto CASTELLUCCIO
Pierpaolo D'AGOSTINO
Gabriella DE IENNER
Paola DE JOANNA
Viviana DEL NAJA
Dora FRANCESE
Marina FUMO
Fabio IUCOLANO

Fabrizio LECCISI
Barbara LIGUORI
Mario LO SASSO
Andrea MAGLIO
Vincenzo MORRA
Lia Maria PAPA
Antonio PASSARO
Elvira PETRONCELLI
Domenico PIANESE
Francesco POLVERINO
Marialucre STANGANELLI
Giuseppe VACCARO
Salvatore VISIONE
Rosamaria VITRANO



SMC - Sustainable Mediterranean Construction
Association
Founded on March 1st 2013
Via Posillipo, 69 80123 Naples -
Italy italysmc.association@mail.com

REFEREE BOARD

Zribi Ali ABDELMÔNEM
Maddalena ACHENZA
Manuela ALMEIDA
Ahadollah AZAMI
Angela BARRIOS PADULA
Vittorio BELPOLITI
Houda BEN YOUNES
Gaia BOLLINI
Gianluca CADONI
Assunta CAPECE
Lucia CECCHERINI NELLI
James CHAMBERS
Paolo CIVIERO
Carola CLEMENTE
Daniel DAN
Pietromaria DAVOLI
Mercedes DEL RIO
Gianluigi DE MARTINO
Orio DE PAOLI
Dorra DELLAGI ISMAIL
Houda DRISS
Dalila EL KERDANY
Andrea GIACHETTA
Barbara GUASTAFERRO
Luigi IANNACE
Shoaib KANMOHAMMADI
Pater KLANICZAY
Danuta KLOSEKKOZLOWSKA

Liliana LOLICH
Philippe MARIN
Said MAZOUZ
Barbara MESSINA
Luigi MOLLO
Carlos MONTES SERRANO
Emanuele NABONI
Paola Francesca NISTICÒ
Massimo PALME
Lea PETROVIC KRAJNIK
Francesca PIRLONE
Vasco RATO
Joe RAVETZ
Imen REGAYA
Jesús RINCÓN
Paola SÁEZ VILLORIA
Marco SALA
Anda Joana SFINTES
Radu SFINTES
Jacques TELLER
Pablo TORRES
Antonella TROMBADORE
Ulrica TÜMER EGE
Clara VALE
Fani VAVILI
Roland VIDAL
Jason YEOM DONGWOO

EDITORIAL BOARD

Editor in chief
Dora FRANCESE

First Editors
Luca BUONINCONTI
Domenico CAPUTO
Paola DE JOANNA
Antonio PASSARO
Giuseppe VACCARO

Associate Editors
Gigliola AUSIELLO
Roberto CASTELLUCCIO
Marina FUMO
Lia Maria PAPA
Marialucre STANGANELLI

Editorial Secretary
Mariangela Cutolo

Graphic Design
Web Master
Luca Buoninconti
Elisabetta Bronzino

SMC is the official semestral magazine of the SMC Association, jointed
with CITTAM - SMC N. 10 - 2019

All the articles of SMC magazine
were submitted to a double peer
blind review.

Cover Photo © Luca Scudiero
2019, Ancient mill in the
Bussento natural oasis, Morigento
(SA) - Italy

Printed Edition
ISSN: 2385-1546

Publisher: Luciano Editore
Via P. Francesco Denza, 7
P.zza S. Maria La Nova, 4
80138 Naples - Italy
www.lucianoeditore.net
info@lucianoeditore.net
editoreluciano@libero.it

Online Edition
ISSN: 2420 - 8213

www.sustainablemediterranean.construcion.eu

SUSTAINABLE MATERIALS FOR THE DESIGN OF THE CITY: ECO-COMPOUNDS WITH RECYCLED MATERIALS FOR URBAN FLOORING

Abstract

The strong urbanization of the modern city causes a great increase in air and water pollution levels. There are several strategies that allow to limit the production of gases in the atmosphere and to reduce energy consumptions in buildings by adopting Passivehaus criteria or using energies from renewable sources. The most recent application concerns the use of Construction and Demolition Waste (C&DW) or waste from industrial processes.

The paper presents the results of an experimental study assessing the benefits of replacing expanded clay with tire residues within compounds for the construction of roads and city pavements.

The use of this material improves the performance of urban areas and has an important role in recycling industrial waste, increasing their lifecycle and reducing the use of raw materials. As a result, it improves the final product sustainability.

Keywords: tire waste, rubber granulate, lightened mortars, city design, sustainable materials

Introduction

Several studies focused on the ability of urbanized areas to contain, filter and dispose of the big quantity of water from the rains that come in a short time [1, 2]. Some interesting solutions have introduced the theme of the use of recycled materials in the stratification of green roofs [3, 4, 5]. The results show that by using waste materials it is possible to improve the performance of these technological elements, reducing the construction costs, decreasing the design loads and gaining additional LEED points. Similarly, the use of waste materials for the realization of new, more efficient and sustainable compounds, can easily be extended to the design of the walkable and driveways surfaces that represent the signs of urbanization.

So, the city design becomes a strategic moment that integrates the choices aimed at creating quality spaces, limiting the consumption of soils, and achieving conditions of outdoor comfort, with the principles of the circular economy without sacrificing the optimization of the performance levels of these technological elements.

Currently, in order to assess the sustainability of the product, its efficiency is studied in relation to the ecological balance of its entire life cycle. This last point represents the focus of the research project presented here, which aims to reduce the waste generated by the automotive industry (worn tires) through the recycling of

this waste in a new production process. The inclusion of waste in building materials has several advantages related to the extension of the landfill life, the saving of raw materials and the limitation of the energy consumption necessary for the manufacture of new products. Among the drawbacks are the possible distortions of the socio-economic environment, those relating to the workforce used in the process of extracting and producing raw materials compared to the same are necessary for recycling operations. Industrial waste, most commonly used for the manufacture of other building materials, is the result of the demolition of buildings and infrastructure. For its volume, this type of waste is the main source of industrial waste generated in a developed country. Spain has an annual production of about 20 million m3 [6] while Italy, according to the report of the ISPRA Institute, has a production greater than 53 million tonnes per year [7]. Mainly, the recycling of this waste allows the replacement of natural aggregates with new aggregates that are added to concrete, mortar shears and asphalt applied to the bases and underlays of road surfaces.

Despite the great benefits provided by these waste materials, their use is still very small; the Symonds & Ass. Report [8] states that 95% of the inert materials generated annually end up in landfills.

Another of the industrial waste with applications in the field of construction is that of rubber from used tires.

Rubber waste from used tires

The European Waste Catalogue [9] includes used tires as non-dangerous waste and the Directive 99/31/CE [10] on waste dumping, establishes that in public works where the use of tire waste is technically and economically feasible, the production of materials derived from recycling is given priority. Table 1 shows the increase in used waste generated in recent years in Spain.

Used tire waste generated (t)	1998	2005
Spain	241,081	302,000
Europe	2,522,140	2,796,000

Tab. 1 - Evolution of used tire waste generation in Spain and in Europe (15 members) Source: BLIC, Bureau de Liaison des industries du Caoutchouc de l'UE ETRA, European Tyre Recycling Association. SIGNUS Ecovalor.

Currently, the 50% of used tires in Spain are transported to landfill (fig01) The 17% is energy-valued and only the 14% is recycled [11] as shown in Table 2.



Fig. 1 - Used tire waste landfill in Madrid

MARKETS	E.U. t / year (%)	Spain. t /year (%)
Total generation	2,796,000	305,718
Exportation Reuse	11%	6.4%
Retreated	12 %	12%
Recycled material	30%	13.9%
Energetic recuperation	32%	17.2%
Landfill	15%	50.3%

Tab. 2 - Treatment modes of the used tire waste in Spain and in the E.U. Source: AER y BLIC

As shown in Table 3, waste from tires is basically used as aggregated in the buildings, to produce rubber conglomerate slabs for pavements, in children's playgrounds, for sports facilities, or even as bases for artificial grass. In any case, these applications do not imply a high volume of reuse of the tires.

Applications	Percentage
Elastic bases in sports pavings	13.40
Artificial grass fields	60.00
Multi-purpose pavings	1.30
Safety floors	11.30
Sound insulation and impact noise insulators	3.30
Athletic rings	5.00
Rubber industries and modified asphalts	5.70
Market total	100.00

Tab. 3 - Quantity and percentage of recycled used tire waste, by applications. Source: II National Plan of Used tire waste (2007-2015)

The research shows a new application of tire waste, which is added within a concrete matrix to replace the expanded clay, commonly used to produce lightened mortars.

Expanded clay is a granular material produced by the high-temperature cooking of natural clay. This process results in a gasification that causes the clay to expand, creating micro-pores that give the material a great lightness, with a density from

300kg/m³ to 800kg/m³. Among the good qualities of expanded clay, lightness, thermal and acoustic insulation can be highlighted [12]. This aggregate needs a significant energy consumption for its production and therefore there is a need and an interest in finding another replacement material.

Applications already in the market
Artificial grass fields
Athletic rings
Other sport facilities paving
Acoustic and antivibration insulation
Shoe industry
Automobile industry
Applications under development
Bitumen and bituminous mixtures for road surfaces
Cement mortars with rubbero
Vegetal decoration
Pavings for equestrian sports
Potential applications
Construction for batters
Artificial reefs
Sealing of landfills
Mattresses for cattle
Thermoplastic polymers
S.A.R rubber superficially activated

Tab. 4. Possible applications for recycled rubber from used tires. Source: II National Plan of Used tire waste (2007-2015)

Numerous references have been found on research projects that use rubber granules as an addition to concrete, partially replacing fine aggregate or gravel [13-16]. Bibliography studies of research projects seeking to find new building elements with rubber additions were also found to improve noise or thermal insulation [17, 18]. Tab 04 shows the range of tire waste applications. However, no studies have been found about the use of rubber in high quantities in cement mortars, or as an application for the packaging of building materials. This was the goal pursued in the research work presented here.

Carried out methodology

The experimental plan aims to obtain lightened concrete using recycled rubber from tire waste as inert replacing expanded clay.

Three sets of 40x40x160mm samples were made; for each specimen were added to the concrete matrix, replacing sand, rubber granules or a mixture of clay and rubber in different percentages. In any case, the weight of the inert components added to the mortar was kept constant. Water added was proportioned according to the class of consistency of the mortar determined by a test on a shake board (160 mm- 170 mm).

The process follows three steps:

Phase 1: nnumerous pieces were produced to find the reference proportion that integrates the largest amount of expanded clay or rubber granules into cement, resulting in a normal consistency. These reference proportions are called: 100% expanded clay (maximum addition of expanded clay, with a continuous grain size of 75% F3 and 25% A5) and 100% rubber (maximum addition of rubber granules).

Phase 2: some reference compounds were made with samples of 50% and 75% of the volume of granulated rubber added to mortar. At the same time, mixed test pieces with different proportions of rubber expanded clay (%) rubber - % clay:

50%-50%; 25%-75%; 75%-25%) are packaged.

Phase 3: from the results obtained in the tests, the most suitable compound is chosen. Its properties are compared with a concrete mortar in which the lightening material is replaced by non-standardized sand, and with the results obtained from clay-based compounds expands tested in other research.

The samples were subjected to tests of mechanical strength (flexing and compression according to UNE 102-031) and Surface hardness Shore C (UNE 102-039). At the same time, weight loss from dismantling to fracture was also assessed. Downstream of the test results, it is possible to determine which is the lightened compound that develops the best ratio of density/mechanical resistance, density/surface hardness.

Materials used:

- CEMENT: Type CEM II/A- L32,5N.
- RUBBER: Rubber granulated with mechanical grinding of tires.
- EXPANDED CLAY: supplied by ARLITA, types F3 (granulometry: 3-8 mm) and A5 (granulometry: 0-3 mm)
- RIVER SAND (Non-standardized)

Granulometry: G (0.4-2.0 mm)
Geometrical density (g/cm³): 0.38
Bulk density (g/cm³): 0.84

During the production of the test pieces, a minimum grip is observed between the cement and the rubber granules. This produces, in some of the batches, a sedimentation of the binder at the base (in this case, the test pieces were discarded). This lack of grip, since the rubber keeps on its surface a large amount of air bubbles (greater in fine grains), produces a difficulty in the workability of the lot obtaining very fragile test pieces.

Two days later, the test pieces are removed from the shapes and introduced into the humidity chamber. The specimens are weighed every 7 days. Tests of mechanical strength and surface hardness are carried out after 28 days.

Cement mortar lightened with:	Density (g/cm ³)	Flexural strength (MPa)	Compressive strength (MPa)	Shore C hardness
Rubber (100%)	0.82	0.5	1.0	19.6
Rubber (75%)	0.89	0.65	0.84	18.7
Rubber (50%)	0.97	0.85	1.4	31.6
Rubber (50%)-Expanded clay (50%)	0.89	1.35	2.35	47
Rubber (75%)-Expanded clay (25%)	0.93	0.95	1.3	42
Rubber (25%)-Expanded clay (75%)	0.84	1.55	2.3	44
Expanded clay (100%)	0.56	1.02	1.39	80
Cement mortar without lightener (not standardized)	2.04	3.9	16	92.83

Tab. 5. Results obtained in mortars with different percentages of aggregates

Even for the mortars with minimum additions of rubber, a significant strength loss is observed, due to the adherence effect of rubber-air, since it implies a decrease in the contact surface between the cement matrix and the rubber. This decrease in strength is proportional to the volume of rubber added. Nevertheless, a better performance toward fracture is observed when alternative mechanisms of energy absorption are used, lengthening the plastic period and holding the specimens together after fracture. In the batches of expanded clay and rubber, the best results are obtained; even higher than those obtained in mortars lightened only with expanded clay (fig 02).

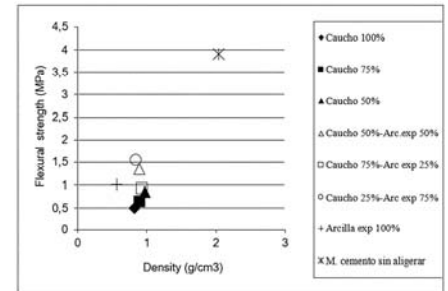


Fig. 2 - Average values of density and flexural strength of the analysed mortars

Tests results and discussion

All test pieces produced 6% of their weight within seven days, 19% within 14 days and stabilized between 21 and 28 days (Tab 05). Adding rubber to cement implies a 60% greater density reduction than unlightened mortar, but the amount of rubber added is not proportional to the density reduction obtained. The density values of lightened concretes with rubber and expanded clay are like those lightened only with rubber, but never similar to those lightened only with expanded clay.

The results obtained in the compressive strength tests are far lower to those obtained with the non-lightened mortar specimen. A lengthening of the plastic period is observed, and when the fracture takes place, the test pieces do not totally break down, but they are kept together as a whole. Once more, clay and rubber lightened mortars obtain better results than those lightened only with rubber. There is no relationship between density and mechanical resistance values in rubber-made mortars. The increase observed in these compounds does not imply an improvement in its performance, as is common in other lightened materials [19,20].

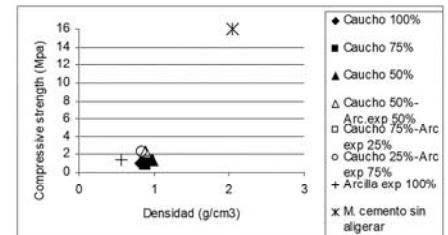


Fig 03. Average values of density and compressive strength from analyzed mortars

Finally, the hardness test results have been very unequal in general, because the surfaces to

be tested were not totally homogeneous. The batch of clay and rubber obtained once again better results, of up to 60% in relation to the results obtained in the rubber lightened mortars.

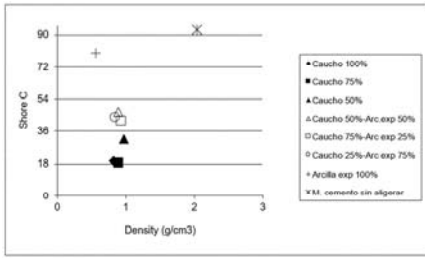


Fig. 4 - Average values of density and superficial hardness (Shore C) of the analyzed mortars

Goals to achieve

The aim of the research was to find a lighter mortar than those currently on the market, and with similar performance in relation to hardness and mechanical strength, so a comparative study is carried out between the different mortars analyzed and their values in relation to mechanical density/resistance and surface density/hardness. Table 6 shows that the best values are obtained in mortars with expanded clay and in those with mixed batches of rubber and expanded clay.

Lightened cement mortar	Density/ Flexural strength	Density/ Compressive strength	Density/ C Shore
Rubber (100%)	1.64	0.82	0.041
Rubber (75%)	1.36	1.05	0.047
Rubber (50%)	1.14	0.69	0.03
Rubber (50%)- Exp. clay (50%)	0.65	0.37	0.018
Rubber (75%)- Exp. clay (25%)	0.97	0.71	0.022
Rubber (25%)- Exp. clay (75%)	0.54	0.36	0.019
Exp. clay (100%)	0.54	0.4	0.007
Non-lightened mortar	0.52	0.12	0.021

Tab. 6. Comparisons among density and mechanical strength or superficial hardness

Experimental data have shown that the introduction of residues from tire grinding into a conglomerate can improve some characteristics, such as lightness, elasticity and surface hardness, at the expense of flexing and compression resistance. The properties of this new material certainly do not allow widespread use to produce so many building elements to which specific mechanical resistances (blocks or insoles) are required. However, it makes it interesting in applications in the field of urban surfaces, especially for walkable flooring (fig 05).

The design of the city, in fact, consists of many extended surfaces, often excessively rigid compared to the vertical loads they must absorb, and the stresses induced by thermal distortion: as a result, micro-tensions within the technological elements that frequently lead to cracking and landslide born.



Fig. 5 - Examples of road pavement failure

The great effort required to maintain these surfaces, the costs associated with them, the fact that they involve the use of materials with a strong environmental impact and the fact that the damage produced in the short time often makes some inaccessible pathways, are all factors that affect both economic and environmental and still social sustainability of these technological choices. The lightened concrete packaged with the addition of rubber residues from tires, improves many characteristics of urban surfaces for the elastic response to mechanical and thermal stresses and durability over time (fig 06). Moreover, the new material has a good noise absorption factor, that have a favorable impact on the determination of outdoor comfort conditions.

Conclusions

It can be concluded that the lightened lime replacement of part of rubber-expanded clay increases 50% of the density values of lightened limes only with expanded clay and this increase implies a great improvement in strength Mechanical.

At the same time, this density is similar to that of lightened limes currently on the market. Therefore, in lightened lime with expanded clay it is recommended to replace 50% of it from rubber granules. This rubber granule from used tire waste can be used in building materials packaging applications.

This rubber replacement provides an improvement in the sustainability of these limes, as they use a large volume of waste and therefore, the natural materials (sand, aggregates, etc.) currently used for mortar on the market can be replaced.

REFERENCES

[1] A. Baryla et al. (2019). Comparing the Retention of the Extensive Green Roofs with the Conventional Roof. Infrastructure and Environment, pp. 66-74.
 [2] M.A. Bollmana et al (2019). A framework for optimizing hydrologic performance of green roof media. Ecological Engineering, vol. 140.

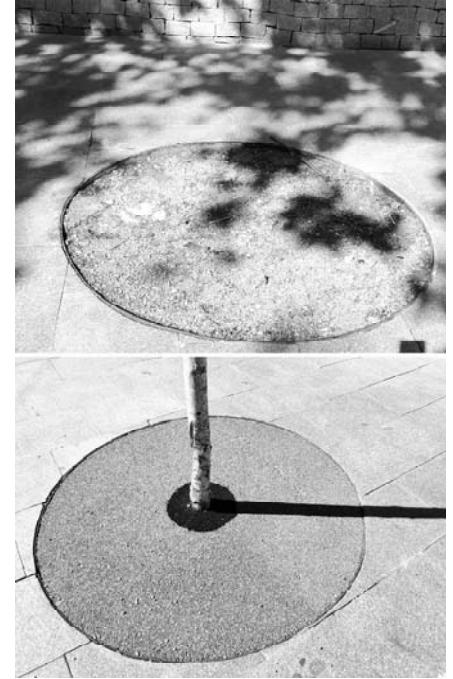


Fig. 6 - Examples of road pavement made with rubber residues from tires

[3] V. Pinheiro et al (2019). Application of industrial wastes in substrates for ecological green roofs. 5th International conference wastes: solutions, treatments and opportunities, Lisbon, Portugal.
 [4] S.B.Mickovski et al (2013) Laboratory study on the potential use of recycled inert construction waste material in the substrate mix for extensive green roofs. Ecological Engineering 61: 706-714.
 [5] T.B. Carson et al (2012). Viability of recycled and waste materials as Green Roof substrates. Geotechnical Special Publication, p. 3644 - 3653.
 [6] Ley 10/1998 de Residuos de 21 de abril. Ministerio de Medio Ambiente.
 [7] ISPRA (2018). Rapporto Rifiuti Speciali
 [8] Symonds Group Ltd, Construction and demolition waste Management practices and their economic impacts. Report to DGXI, European Commission. Belgium (Brussels). 1999.
 [9] Catálogo Europeo de Residuos (CER) diciembre de 1993.
 [10] Directiva 99/31/CE del Consejo de la Unión Europea sobre vertido de residuos. Real Decreto 1481/2001 de 27-12.
 [11] II Plan Nacional de neumáticos fuera de uso (2007-2015)
 [12] ARLITA- Arcilla expandida "Dossier Técnico". 2007.
 [13] Moncef Nhedi, Ashfaq Khan (2001). Cementitious composites containing recycled tire rubber: an overview of engineering properties and potential applications. Cement, concrete and aggregates, CCAAGP, Vol. 23, No. 1.
 [14] D. Raghavan et al (1998). Workability, mechanical properties, and chemical stability of a recycled tire rubber-filled cementitious composite. Journal of materials science 33, pp. 1745-1752.
 [15] H. Huynh et al. (1993). Rubber particles from recycled tires in cementitious composite materials. NISTIR 5850 R.
 [16] M.M. Reda Taha et al (2003). Fracture toughness of concrete incorporating rubber tire particles. ICPCM - A new era of building, Cairo (Egypt).
 [17] Tejela Otero, J.A. (2003). Jornadas de Medio Ambiente: Reciclaje de neumáticos fuera de uso.
 [18] F. Fretschner et al. Patent nº 2106687 "Pantallas acústicas absorbentes con granza de caucho"

- [19] M. Río Merino and F. Hernández Olivares (1998). Escayola aligerada con sólidos celulares. Informes de la construcción, Vol 50, nº 458. pp. 43-60.
- [20] M. Río Merino and F. Hernández Olivares (2004). Escayola aligerada: propuestas alternativas a la adición de sólidos celulares. Materiales de Construcción Vol: 54; nº:275 pp: 65-76.

MATERIALES SOSTENIBLES PARA EL DISEÑO DE LA CIUDAD: ECO-MORTEROS DE RELLENO PARA LA EJECUCIÓN DE SUELOS URBANOS

Resumen

La fuerte urbanización de la ciudad moderna provoca un gran aumento en los niveles de contaminación del aire y el agua. Existen varias estrategias que permiten limitar la producción de gases en la atmósfera y reducir el consumo de energía en los edificios como por ejemplo, la adopción de criterios Passivhaus o el uso de energías renovables. Otra aplicación, más reciente, se refiere a la utilización de residuos de construcción y demolición (C&DW) o residuos de procesos industriales. El artículo presenta los resultados de un estudio experimental que evalúa los beneficios de reemplazar la arcilla expandida, utilizada para aligerar morteros, por residuos de neumáticos en materiales para la construcción de carreteras y pavimentos de la ciudad. El uso de este nuevo material mejora el rendimiento de las áreas urbanas y tiene un papel importante en el reciclaje de residuos industriales, aumentando su ciclo de vida y reduciendo el uso de materias primas. Como resultado, mejora la sostenibilidad del producto final.

Palabras clave: residuos de neumáticos, granulado de caucho, morteros aligerados, diseño urbano, materiales sostenibles.

Introducción

Algunos estudios tienen como objetivo utilizar las superficies urbanizadas para contener, filtrar y eliminar la gran cantidad de agua de las lluvias que se generan de forma rápida [1, 2]. Algunas de las soluciones más interesantes han utilizado materiales reciclados en algunas de las capas que definen las azoteas ajardinadas [3, 4, 5]. Los resultados muestran que mediante el uso de materiales de desecho es posible mejorar el rendimiento de estos elementos, reduciendo los costos de construcción, disminuyendo las cargas y ganando puntos LEED adicionales.

De forma similar, se pueden utilizar residuos de materiales, para la realización de nuevos materiales compuestos, más eficientes y sostenibles, para el diseño de superficies transitables y calzadas en urbanizaciones.

Por tanto, el diseño de la ciudad se convierte en una cuestión estratégica, ya que debe considerar crear espacios de calidad, limitar el consumo de materias primas y lograr condiciones de confort al aire libre, con los principios de la economía circular sin sacrificar la optimización de los niveles de rendimiento de estos elementos tecnológicos.

Actualmente, para evaluar la sostenibilidad del producto, se estudia su eficiencia en relación con el equilibrio ecológico de todo su ciclo de vida. Este último punto es el objetivo del proyecto de investigación presentado aquí, pues supone reducir los residuos generados por la industria del automóvil (neumáticos fuera de uso) a través de su reciclaje en un nuevo proceso de producción.

La inclusión de residuos en los materiales de construcción tiene varias ventajas como: la extensión de la vida útil del vertedero, el ahorro de materias primas y la limitación del consumo de energía necesario para la fabricación de nuevos productos. Entre los inconvenientes se encuentran las posibles distorsiones del entorno socioeconómico y las relacionadas con la mano de obra utilizada en el proceso de extracción y producción de las materias primas en comparación con las necesarias para las operaciones de reciclaje.

Los desechos industriales, más comúnmente utilizados para la fabricación de materiales de construcción, son los residuos procedentes de la demolición de edificios o

infraestructuras. Por su volumen, este tipo de residuos es la principal fuente de residuos industriales generados en un país desarrollado. España tiene una producción anual de aproximadamente 20 millones de m³ [6] mientras que Italia, según el informe del Instituto ISPRA, tiene una producción superior a 53 millones de toneladas por año [7]. El reciclaje de estos residuos permite, principalmente, la sustitución de áridos naturales que se añaden al hormigón, a los morteros y al asfalto con aplicaciones en bases y sub-bases de las superficies de las carreteras. A pesar de los grandes beneficios proporcionados por estos materiales de desecho, su uso aún es muy pequeño; El informe Symonds & Ass [8] establece que el 95% de los materiales inertes generados anualmente terminan en vertederos. Otro de los residuos industriales con aplicaciones en el campo de la construcción es el del caucho de los neumáticos usados.

Residuos de caucho de neumáticos usados

El Catálogo Europeo de Residuos [9] incluye los neumáticos usados como residuos no peligrosos, y la Directiva 99/31/CE [10], sobre el vertido de residuos, establece que en las obras públicas, en las que la utilización de neumáticos usados sea técnica y económicamente viable, se dará prioridad a la utilización de materiales a partir de su reciclaje. La tabla 1 (Tab 01) muestra el aumento de los residuos de neumáticos usados generados en los últimos años, tanto en Europa como en España. Actualmente, el 50% de los neumáticos usados en España son transportados a vertedero (fig 01). Como se muestra en la tabla 2 (Tab 02), sólo se valoriza energéticamente el 17% y sólo el 14% es reciclado [11].

Como se puede ver en la tabla 3 (Tab 03), los residuos de neumáticos se utilizan básicamente en el sector de la construcción para producir losas de caucho conglomerado, para parques infantiles, para instalaciones deportivas, o incluso como bases para césped artificial. En cualquier caso, estas aplicaciones no implican un alto volumen de reutilización. La investigación plantea una nueva aplicación de los residuos de neumáticos, que es su incorporación en una matriz de mortero como sustitutos de la arcilla expandida, comúnmente utilizada para fabricar morteros aligerados.

La arcilla expandida es un material granular obtenido al cocer la arcilla natural a altas temperaturas. Este proceso produce una gasificación que hace que la arcilla expanda y cree micro-poros que le dan una gran ligereza y consigue unas densidades entre 300kg/m³ to 800kg/m³. Entre las buenas cualidades de la arcilla expandida destacan la ligereza y el aislamiento térmico y acústico [8].

Se han encontrado numerosas referencias de proyectos de investigación que utilizan partículas de caucho como adición al hormigón, sustituyendo parcialmente el agregado fino o la grava [12-16]. También se ha encontrado proyectos que estudian nuevas aplicaciones constructivas con adiciones de caucho, para mejorar el aislamiento acústico o térmico [17, 18]. La tabla 4 (Tab 04) muestra una variedad importante de aplicaciones de los residuos de neumáticos. Sin embargo, no se han encontrado estudios acerca de la adición de caucho en morteros de cemento en grandes cantidades, o aplicado en rellenos para la construcción. Este fue el objetivo del trabajo de investigación presentado en el artículo.

Plan experimental

El plan experimental tuvo como objetivo obtener morteros aligerados con caucho reciclado como agregado, procedente de residuos de neumáticos, sustituyendo la arcilla expandida. Se realizaron series de tres probetas prismáticas de 40x40x160 mm; En las probetas de mortero de cemento se fue sustituyendo la arena por caucho granulado o una mezcla de arcilla expandida y caucho en diferentes porcentajes. En todos los casos, el peso de los agregados añadidos al mortero se mantuvo constante. El agua necesaria para la mezcla fue

determinada por el ensayo de la mesa de sacudidas, para conseguir una consistencia de entre (160 mm-170 mm). El plan se resolvió en tres fases:

Fase 1: se realizaron numerosas probetas buscando la dosificación de referencia, es decir, aquella que integra la mayor cantidad de arcilla expandida o de granulado de caucho en el cemento, manteniendo una consistencia normal. Esta dosificación de referencia es la que se denomina: 100%Arcilla expandida (adición máxima de arcilla expandida, con una granulometría continua de 75% F3 y 25% A5) y 100% Caucho (adición máxima de granulado de caucho).

Fase 2: se realizan probetas con el 50% y 75% de volumen de caucho granulado (sobre la probeta 100%Arcilla expandida). Al mismo tiempo, se realizan probetas con diferentes proporciones de arcilla expandida y caucho (% caucho-% arcilla: 50%-50%; 25%-75%; 75%-25%).

Fase 3: a partir de los resultados obtenidos en los ensayos realizados, se selecciona el mortero más adecuado. Sus propiedades se comparan con un mortero de cemento en el que los agregados se sustituyen por arena no estandarizada, y con las propiedades de los morteros de arcilla expandida realizados en otras investigaciones. Las probetas fueron ensayadas para determinar su resistencia mecánica (resistencia a la flexión y resistencia a la compresión, según UNE 102-031) y dureza superficial Shore C (UNE 102-039). Al mismo tiempo, también se evalúa la pérdida de peso desde el desmolde hasta el comienzo de los ensayos. A partir de los resultados de las pruebas, se selecciona el mortero aligerado que mejor relación de sus valores de densidad con respecto a sus valores de resistencia mecánica y dureza superficial.

Materiales empleados:

- CEMENTO: Tipo CEM II/B-32,5N
- CAUCHO: Granulado de caucho procedente de la trituración mecánica de neumáticos.
- ARCILLA EXPANDIDA: proporcionada por la empresa ARLITA, tipos F3 (3-8 mm) y A5 (0-3 mm).
- ARENA DE RÍO Normalizada

Tamaño: G (0.4-2.0 mm)

Densidad geométrica (g/cm³): 0.38

Densidad aparente (g/cm³): 0.84

Durante la realización de las probetas se constata una mínima adherencia entre el cemento y el granulado de caucho. Esto da lugar, en algunos casos, a una sedimentación de la lechada de cemento en el fondo (en esos casos las probetas son desechadas). Esta falta de adherencia puede ser debida a que el caucho retiene en su superficie una gran cantidad de burbujas de aire (mayor en las granulometrías finas), dificultándose la trabajabilidad de la mezcla y obteniéndose probetas muy frágiles que se rompen nada mas desmoldar.

A los dos días se desmoldan las probetas y se meten en la cámara húmeda, después se pesan cada 7 días. Los ensayos de resistencia mecánica y dureza superficial son realizados a los 28 días.

Resultados y discusión de los ensayos:

En general, a los 7 días las probetas pierden un 6% de peso, a los 14 días un 19%, y estabilizan su peso entre los 21 y 28 días (Tab 05).

La adición de caucho en el cemento supone una reducción de la densidad, de más de un 60% con respecto al mortero no aligerado, pero la cantidad de caucho añadida no es proporcional a la reducción de densidad obtenida. Los valores de densidad de los morteros aligerados con caucho y arcilla expandida son similares a los aligerados únicamente con caucho, pero en ningún caso de orden parecido a los aligerados con arcilla expandida únicamente.

En todos los casos, incluso con adiciones mínimas de caucho en el mortero, se constata una pérdida de resistencia significativa comparado con el mortero no aligerado, debido al efecto de adherencia caucho-aire, por suponer una disminución de la superficie de contacto entre la matriz de cemento y el caucho. Sin embargo, se observa una mejora del comportamiento ante la rotura al proporcionar mecanismos alternativos de absorción de energía y el periodo

plástico se alarga, permaneciendo las probetas unidas después de rotura (fig 02).

Los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a compresión están por debajo de los obtenidos con las probetas de referencia, no aligeradas. Se observa un alargamiento del periodo plástico y al producirse la rotura no se deshacen las probetas por completo sino que se quedan aplastadas permaneciendo unidas en su totalidad (fig 03).

Una vez más, los morteros aligerados con arcilla y caucho obtienen mejores resultados que aquellos aligerados solo con caucho. En los morteros hechos con caucho no hay relación entre la densidad y la resistencia mecánica, ya que el incremento de densidad observado no implica una mejora en la resistencia a compresión, como es normal en otros materiales aligerados [19, 20].

Por último, los resultados del ensayo de dureza superficial han sido muy (fig 04), pues las superficies a ensayar no eran totalmente homogéneas. Los compuestos de arcilla y caucho obtienen otra vez mejores resultados, por encima de un 60% en relación a los resultados obtenidos en los morteros aligerados sólo con caucho.

Resultados conseguidos:

El objetivo de la investigación era encontrar un mortero aligerado como los actuales en el mercado, y con un rendimiento similar en relación con la dureza y la resistencia mecánica, por ello, se realizó un estudio comparativo entre los morteros analizados y sus relaciones de densidad/resistencias mecánicas y densidad/dureza superficial.

La Tabla 6 muestra que los mejores resultados se obtuvieron en los morteros de arcilla expandida y en los compuestos de caucho y arcilla expandida.

Los resultados muestran que la adición de residuos de caucho en un mortero mejora algunas características como la ligereza, la elasticidad y la dureza superficial, en decremento de las resistencias mecánicas.

Las propiedades de este nuevo material no permiten utilizarlo en algunos elementos de los edificios que necesitan resistencias mecánicas específicas. Sin embargo, puede ser interesante para aplicaciones en el campo del urbanismo y los revestimientos especialmente para la construcción desuelos peatonales.

El diseño de la ciudad, de hecho, consiste en extensas superficies, en ocasiones excesivamente rígidas

comparadas con las cargas verticales que deben absorber y las tensiones debidas a los cambios de temperatura. Como resultado, se generan micro-tensiones que frecuentemente generan fisuras y deslizamientos de tierras (fig 05).

El gran esfuerzo que se necesita para mantener estas superficies, el coste asociado, el hecho de que implican para su ejecución materiales con un fuerte impacto ambiental y que generan una importante patología a corto plazo, hacen, a menudo, que algunas vías sean intransitables. Además, todo ello afecta a la sostenibilidad económica, ambiental e incluso social y se deberá tener en cuenta al elegir sus soluciones constructivas. El mortero aligerado con la adición de residuos de caucho de neumáticos mejora muchas características de las superficies urbanas por la respuesta elástica a las tensiones mecánicas y térmicas y su durabilidad (fig 06).

Además, el nuevo material tiene un buen factor de absorción lo que supone un impacto positivo en las condiciones de confort exterior.

Conclusiones

Se puede concluir que la sustitución, en morteros aligerados, de una parte de la arcilla expandida por caucho aumenta en un 50% los valores de densidad de los morteros aligerados solo con arcilla expandida y que este aumento, implica una gran mejora de la resistencia mecánica.

Al mismo tiempo, la densidad, de estos morteros es similar a la de los morteros aligerados comercializados actualmente.

Por lo tanto, en morteros aligerados con arcilla expandida, se recomienda la sustitución del 50% de dicha arcilla por granulado de caucho. Este mortero puede ser usado como mortero de relleno en la edificación.

Esta sustitución de caucho consigue una mejora importante en la sostenibilidad de los morteros ya que utiliza un gran volumen de residuos como sustituto de los materiales naturales (arena, agregados, etc.) que se utilizan para los morteros comercializados en la actualidad.

REFERENCES

[21] A. Baryła et al. (2019). Comparing the Retention of the Extensive Green Roofs with the Conventional Roof. Infrastructure and Environment, pp. 66-74.

- [22] M.A. Bollmana et al (2019). A framework for optimizing hydrologic performance of green roof media. Ecological Engineering, vol. 140.
- [23] V. Pinheiro et al (2019). Application of industrial wastes in substrates for ecological green roofs. 5th International conference wastes: solutions, treatments and opportunities, Lisbon, Portugal.
- [24] S.B.Mickovski et al (2013) Laboratory study on the potential use of recycled inert construction waste material in the substrate mix for extensive green roofs. Ecological Engineering 61: 706-714.
- [25] T.B. Carson et al (2012). Viability of recycled and waste materials as Green Roof substrates. Geotechnical Special Publication, p. 3644 - 3653.
- [26] Ley 10/1998 de Residuos de 21 de abril. Ministerio de Medio Ambiente.
- [27] ISPRA (2018). Rapporto Rifiuti Speciali
- [28] Symonds Group Ltd, Construction and demolition waste Management practices and their economic impacts. Report to DGXI, European Commission. Belgium (Brussels). 1999.
- [29] Catálogo Europeo de Residuos (CER) diciembre de 1993.
- [30] Directiva 99/31/CE del Consejo de la Unión Europea sobre vertido de residuos. Real Decreto 1481/2001 de 27-12.
- [31] II Plan Nacional de neumáticos fuera de uso (2007-2015)
- [32] ARLITA.- Arcilla expandida "Dossier Técnico". 2007.
- [33] Moncef Nhedi, Ashfaq Khan (2001). Cementitious composites containing recycled tire rubber: an overview of engineering properties and potential applications. Cement, concrete and aggregates, CCAGDP, Vol. 23, No. 1.
- [34] D. Raghavan et al (1998). Workability, mechanical properties, and chemical stability of a recycled tire rubber-filled cementitious composite. Journal of materials science 33, pp. 1745-1752.
- [35] H. Huynh et al. (1993). Rubber particles from recycled tires in cementitious composite materials. NISTIR 5850 R.
- [36] M.M. Reda Taha et al (2003). Fracture toughness of concrete incorporating rubber tire particles. ICPCM - A new era of building. Cairo (Egypt).
- [37] Tejela Otero, J.A. (2003). Jornadas de Medio Ambiente: Reciclaje de neumáticos fuera de uso.
- [38] F. Fretzschner et al. Patent nº 2106687 "Pantallas acústicas absorbentes con grana de caucho"
- [39] M. Río Merino and F. Hernández Olivares (1998). Escayola aligerada con sólidos celulares. Informes de la construcción, Vol 50, nº 458, pp. 43-60.
- [40] M. Río Merino and F. Hernández Olivares (2004). Escayola aligerada: propuestas alternativas a la adición de sólidos celulares. Materiales de Construcción Vol: 54; nº:275 pp: 65-76.