



Title: Incorporation of a hybrid nanocomposite of vanadium dioxide with carbon nanotubes in gypsum pastes for thermal storage

Authors: VILLEGAS-MENDEZ, Jesús Roberto, FIGUEROA-TORRES, Mayra Zyzlila, GUERRA-COSSÍO, Miguel Ángel and RUVALCABA-AYALA, Fabián René

Editorial label ECORFAN: 607-8695
 BECORFAN Control Number: 2022-01
 BECORFAN Classification (2022): 131222-0001

Pages: 22
 RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.
 143 – 50 Itzopan Street
 La Florida, Ecatepec Municipality
 Mexico State, 55120 Zipcode
 Phone: +52 1 55 6159 2296
 Skype: ecorfan-mexico.s.c.
 E-mail: contacto@ecorfan.org
 Facebook: ECORFAN-México S. C.
 Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings		
Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

Introducción

- Sector de la construcción consume alrededor del 40% de la energía bruta mundial.

Del cual 70% es dirigido a la iluminación y sistemas de regulación térmica



Materiales de Cambio de Fase (PCM)

Materiales con la capacidad de almacenar/liberar calor mediante un cambio en su estado de la materia

Sólido - Líquido

Sólido - Sólido

Calor latente alto de 60 a 200 J/g

Calor latente menor a los sólido - líquido

Presentan Esgurrimientos

Sin escurrimientos

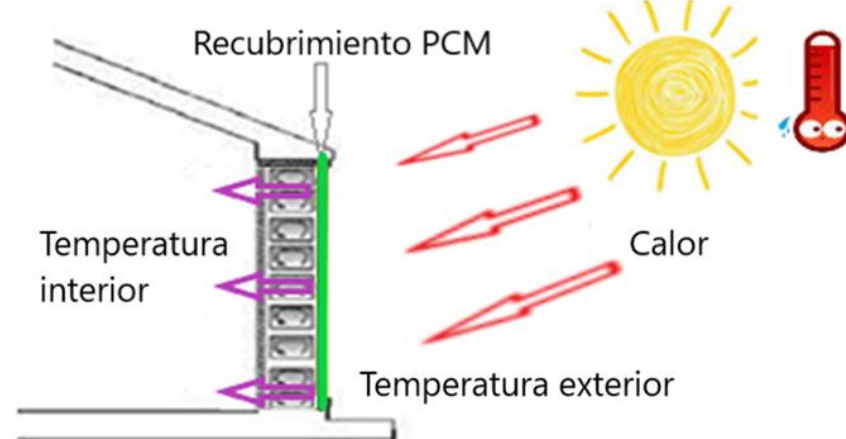


Necesitan Tratamientos

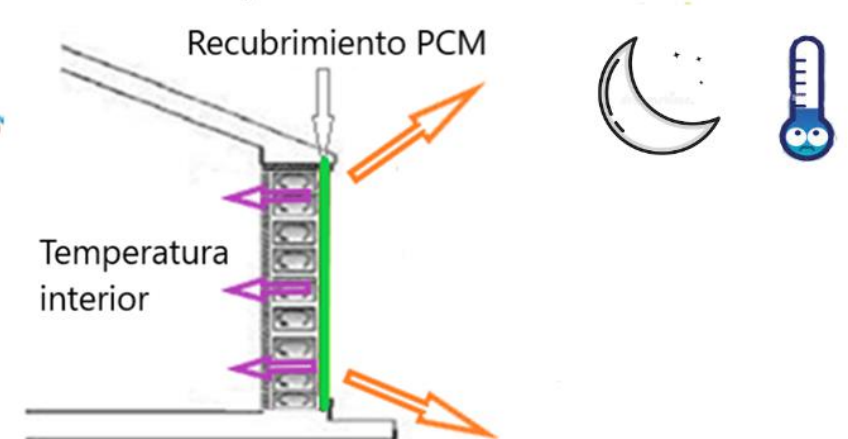
Baja Conductividad térmica

Mayor compatibilidad con los cementantes

1er Etapa: Almacenamiento de calor



2da Etapa: Almacenamiento de calor



Sistema térmico de un muro con recubrimiento PCM



Investigaciones previas al uso de PCMs y materiales base carbono

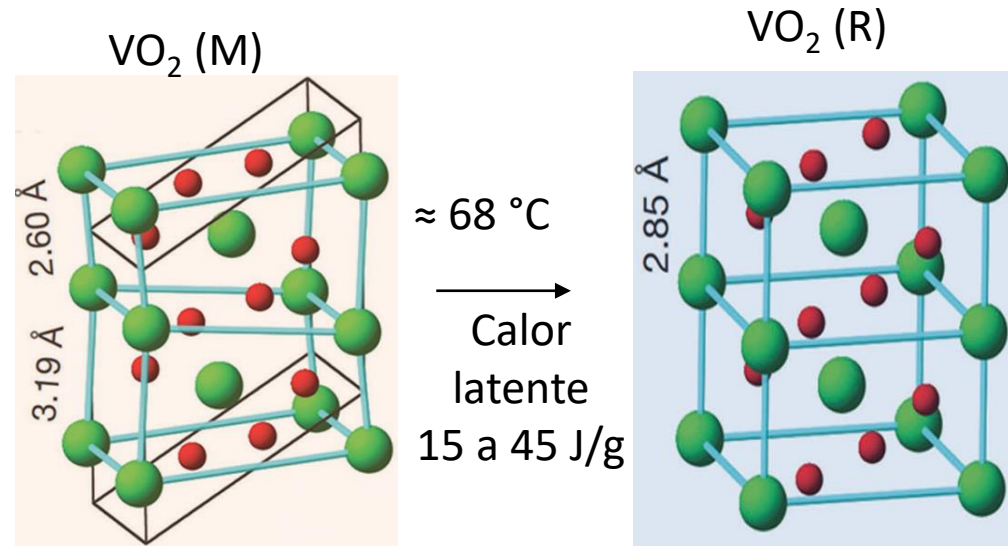
Autor	PCM	%	Material base carbono	%	C	A.T. (J/g)	C. T. (W/mK)	f'c
Luigi C. y col. Sandra C. y col.	Parafinas comerciales	5 20	N/A	-	C.P.O.	--	--	-20% -75%
Farid Boudali Errebai y col.	Parafina encapsulada	10 50	N/A	-	Yeso (1.12J/g)	3.2 11.8	0.41 0.17	--
Seulgi y col.	Aceites vegetales comercial	N/A	Nano plaquetas de grafito Nanotubos de Carbono	5	N/A	146.7 146.6 133.4	0.199 0.671 0.536	-
Young Uk y col.	n-octadecano (241 J/g)	N/A	Carbón activado Nano plaquetas de grafito	0.03	C.P.O	12	0.56 0.85 0.69	-10% -15%
Cynthia G. y col.	Parafina Comercial	10 20	Fibras de celulosa	1.5	Cemento Blanco	-	0.26 0.40	-50%

Objetivo

Estudiar el efecto en las propiedades térmicas y físico-mecánicas de una pasta de yeso al incorporar un nano-PCM híbrido de dióxido de vanadio/nanotubos de carbono multiparedes para su utilización como termorregulador en la envolvente de una edificación

Dióxido de Vanadio (VO_2)

El Dióxido de Vanadio monoclinico (VO_2 (M))



● Vanadio

● Oxígeno

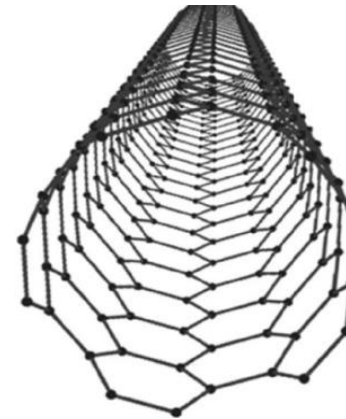
Nota. Adaptado de Schematic of cristal structure of VO_2 in the a) metallic and b).insulating states. V ions: larger and green balls; O ion: sameller and red balls. Reproduced with permission. Copyright 2015. Nature. Schematic of electronic band structure of c) VO_2 (R) and d) VO_2 (M) based on cristal-field model. Reproduced with permission. Copyright 2013, Nature (p. 4), por Ming Li y col., 2017.

Nanotubos de Carbono

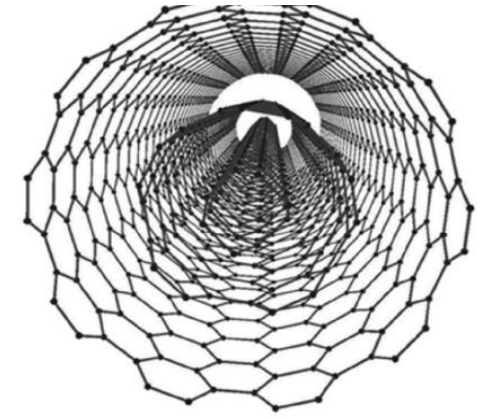
Son laminas de grafeno enrolladas en forma de tubos con diámetro dentro de la escala nanométrica y longitudes variables.

Conductividad Térmica: 3000 W/m.K

SWCNT



MWCNT



Nota. Adaptado de (A): Single-walled carbon nanotube, (B): Multiwalled carbon nanotube. (p. 9), por Paolo Bondavalli, 2018.

Metodología

Preparación del nanocompuesto híbrido VO₂/MWCNT Impregnación en húmedo

95 %p VO₂ + 5 %p MWCNT



100 mL alcohol isopropílico / gr de nanocompuesto



1 hr. Ultrasonificación



150°C por 3 hrs.

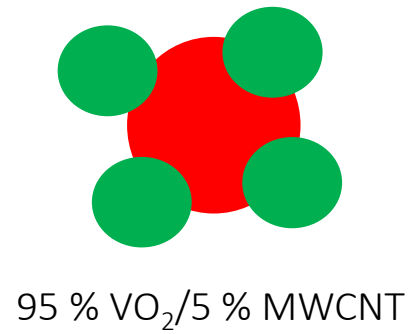


Agitación magnética



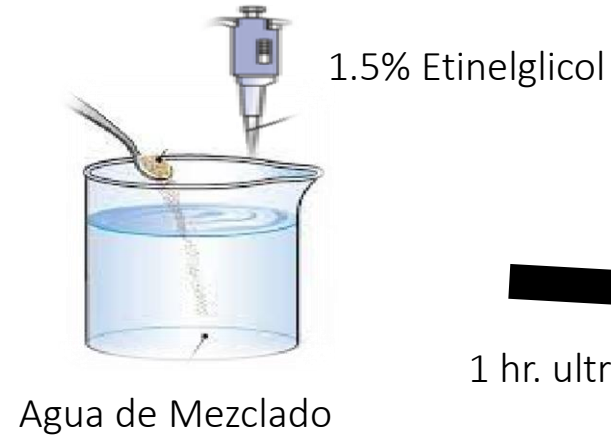
90°C hasta evaporar

Preparación de las pastas



0.5, 1, 2 %p VO₂/MWCNT

A thick black arrow points from the composite schematic to the mixing process.



1 hr. ultrasonido

A thick black arrow points from the beaker to the mixer.



Agua de Mezclado + VO₂/MWCNT

A thick black arrow points from the mixer to the final samples.



Difracción de rayos X (DRX)

Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Calorimetría Isotérmica

Prueba de resistencia a la compresión

Angulo de contacto del agua

Resistencia al agua

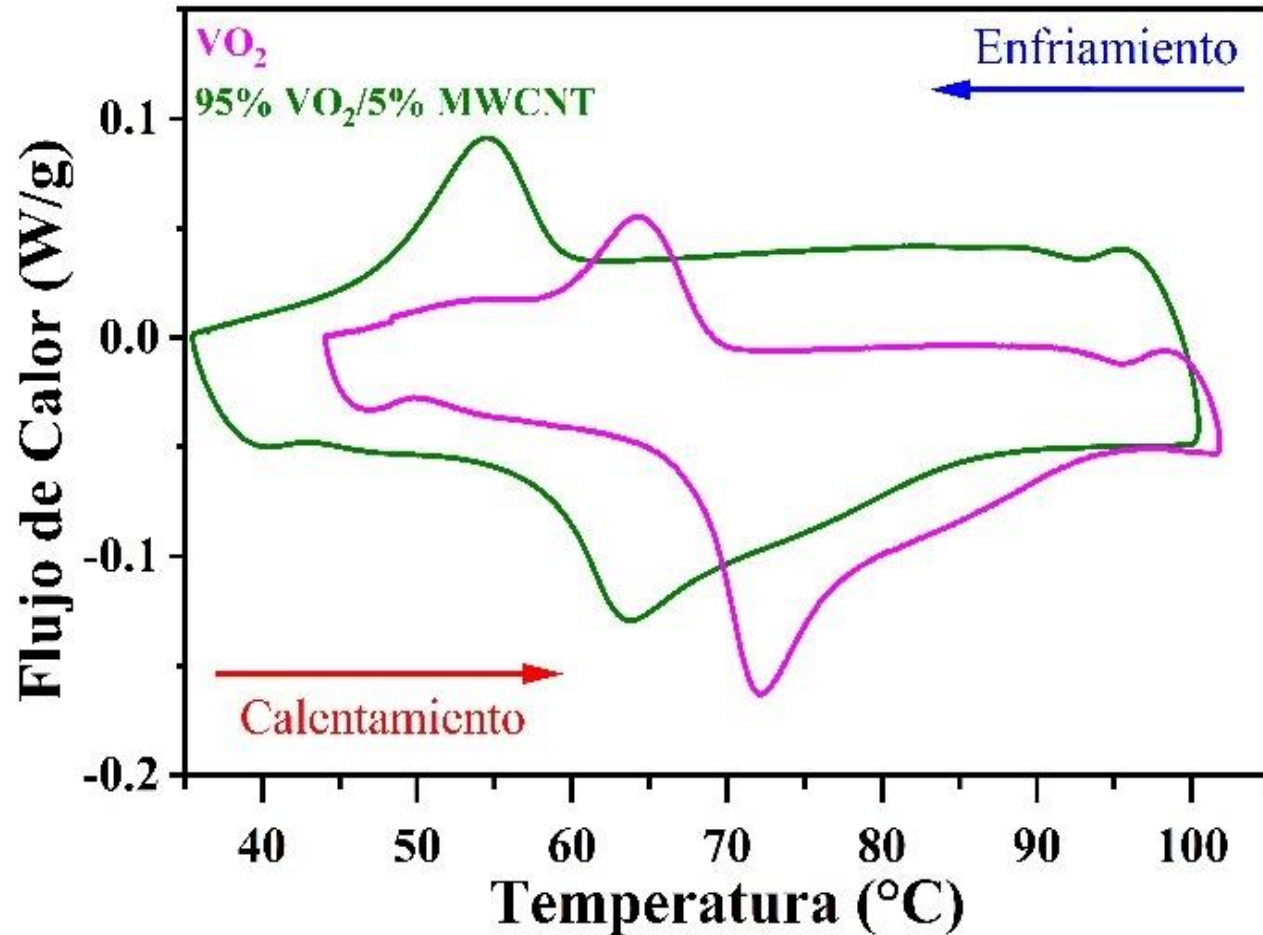
Caracterización microestructural, física y térmica

Determinación de calor específico y conductividad térmica

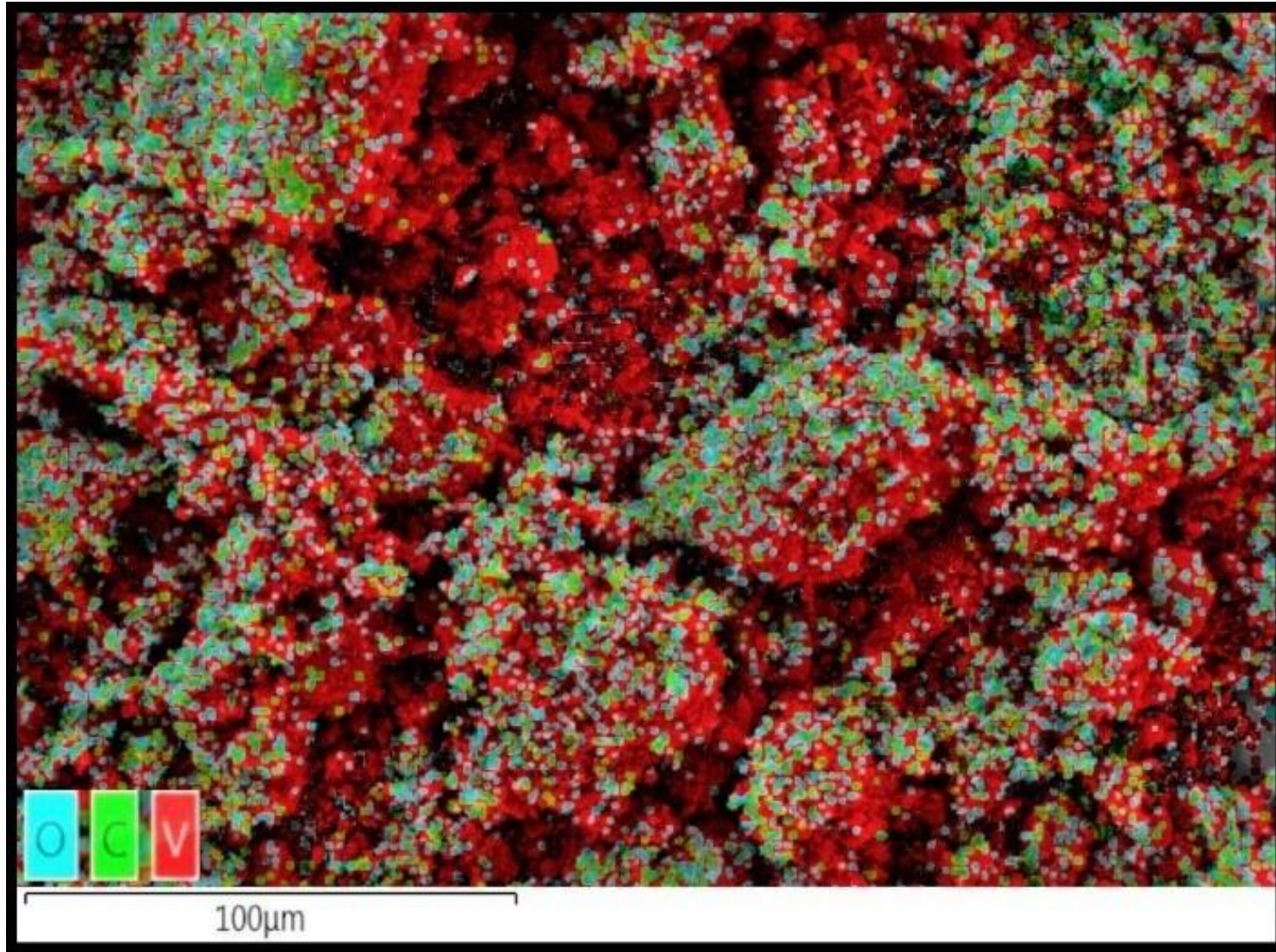
Evaluación del comportamiento térmico cuando la temperatura exterior es de 40 °C

Resultados

Caracterización del nanocompuesto híbrido VO₂/MWCNT



Material	Calor latente (J/g)	Temperatura de cambio de fase (°C)
VO ₂	40.51 ± 0.41	72.41 ± 0.37
95%VO ₂ /5%M WCNT	32.06 ± 0.53	63.73 ± 0.59



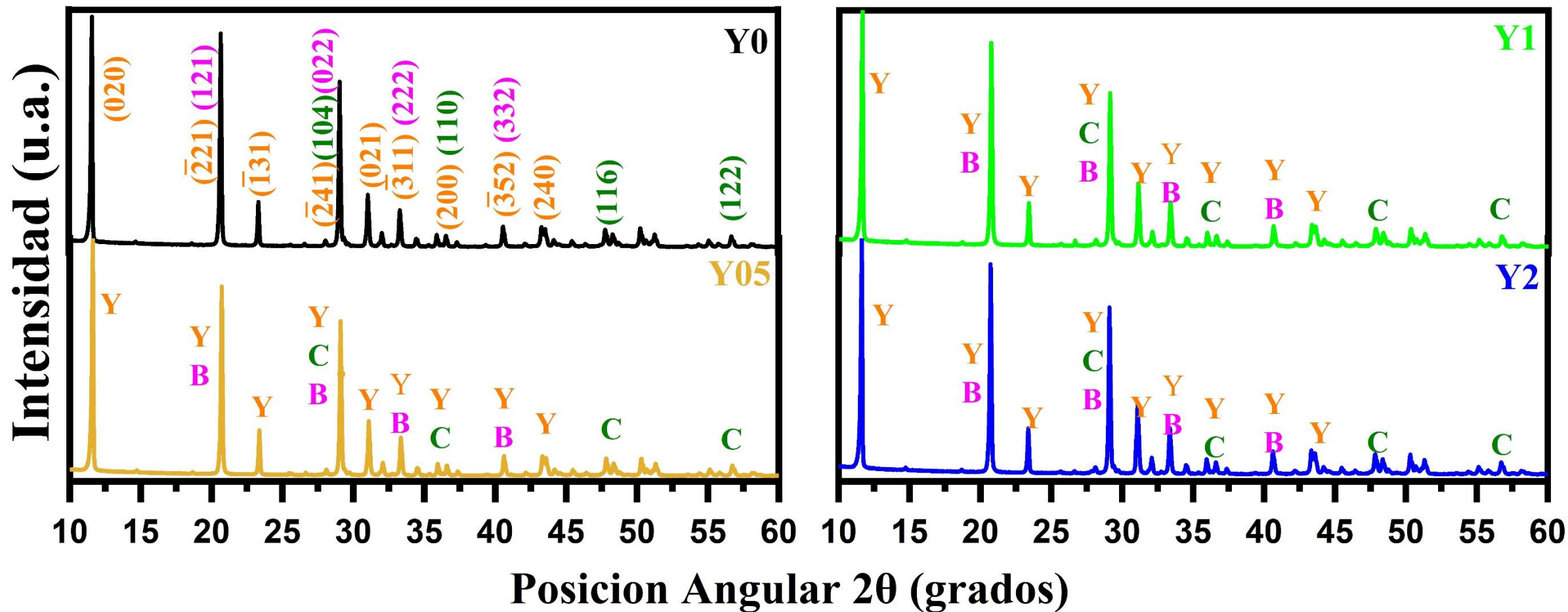
Análisis EDS al NH VO₂/MWCNT con enfoque en los elementos oxígeno, carbono y vanadio

Análisis DRX

Y = Sulfato de calcio dihidratado

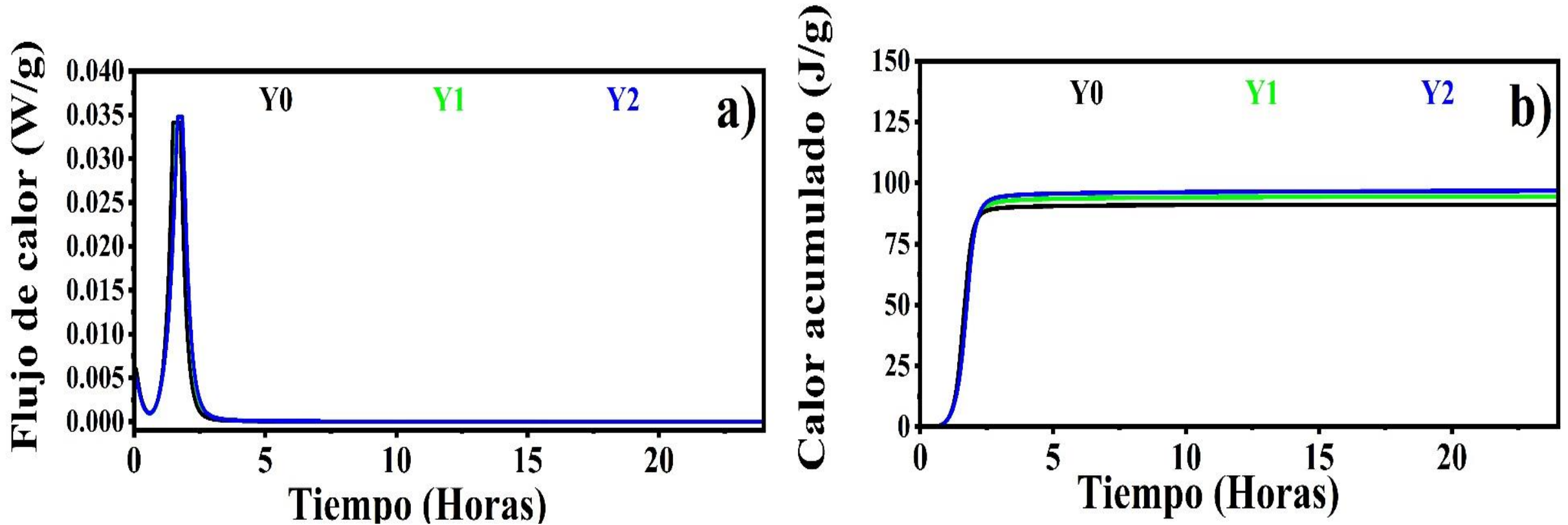
B = Sulfato de calcio hemihidratado

C = Calcita



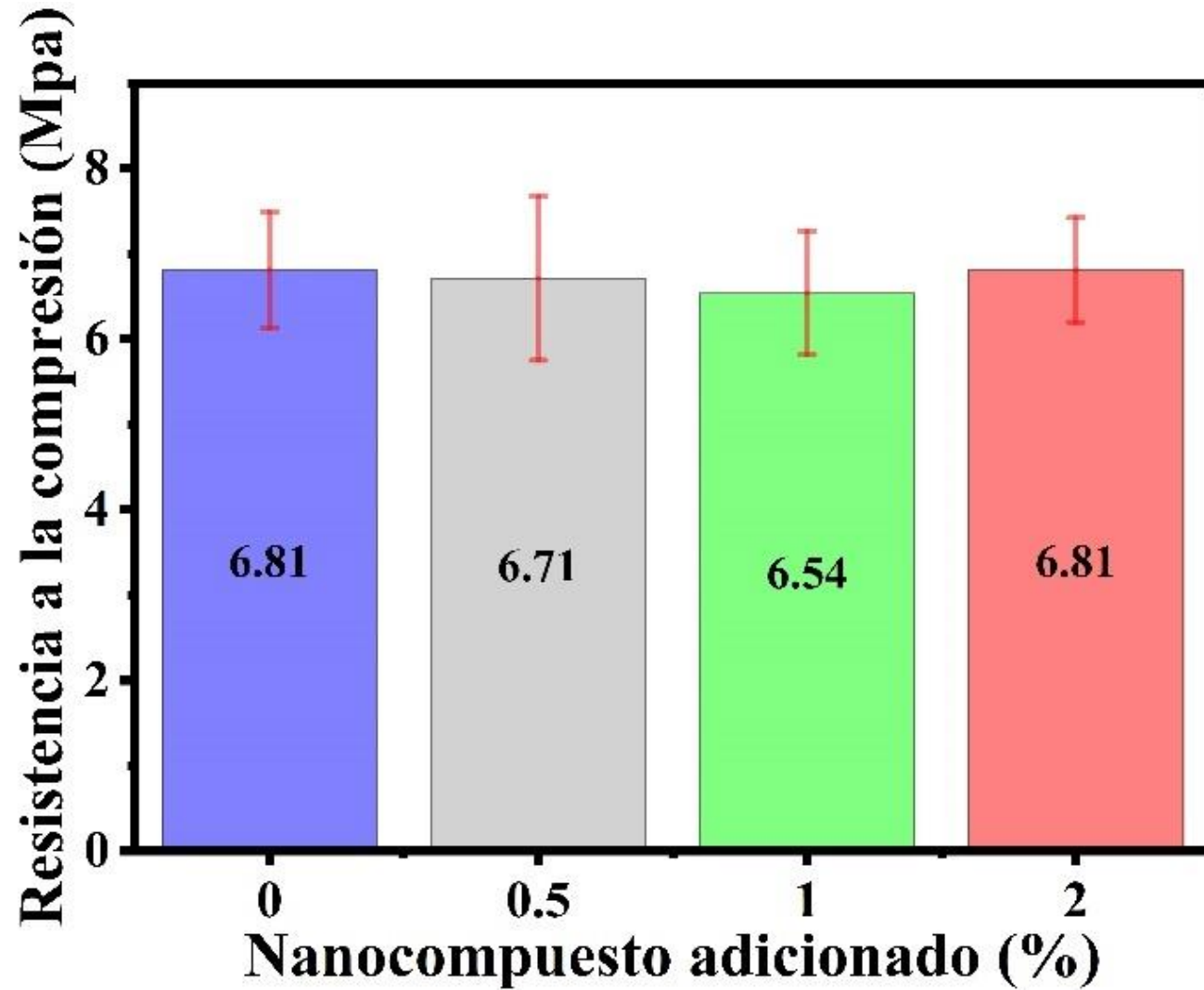
Caracterización de las pastas

Cinética de hidratación

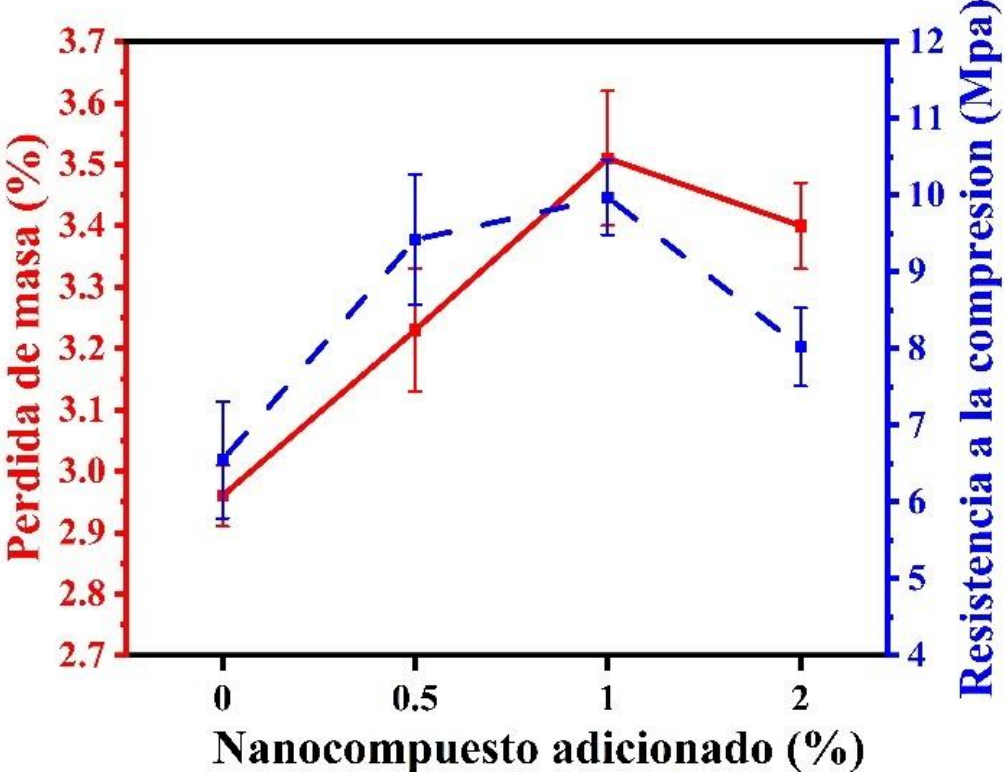


Graficas de la cinética de hidratación de los yesos: a) flujo de calor y b) calor acumulado

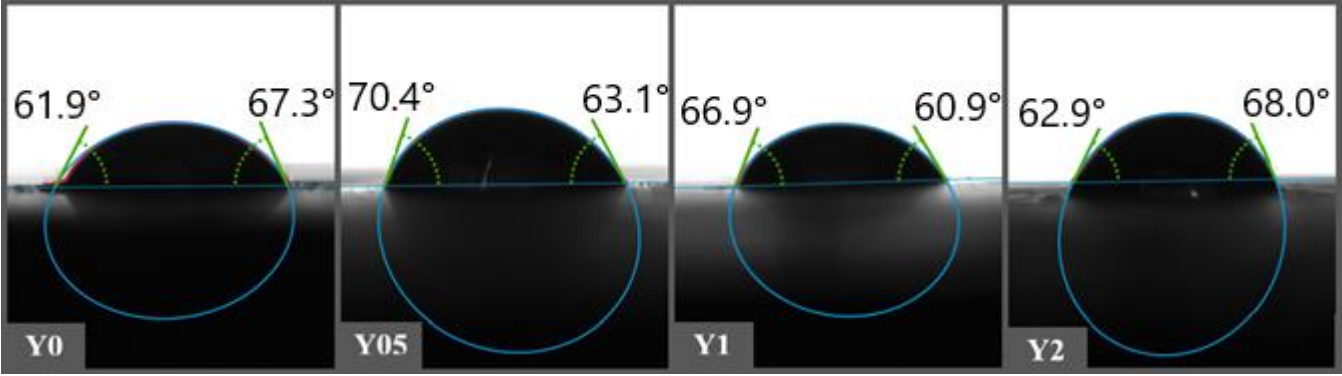
Resistencia a la compresión de los yesos



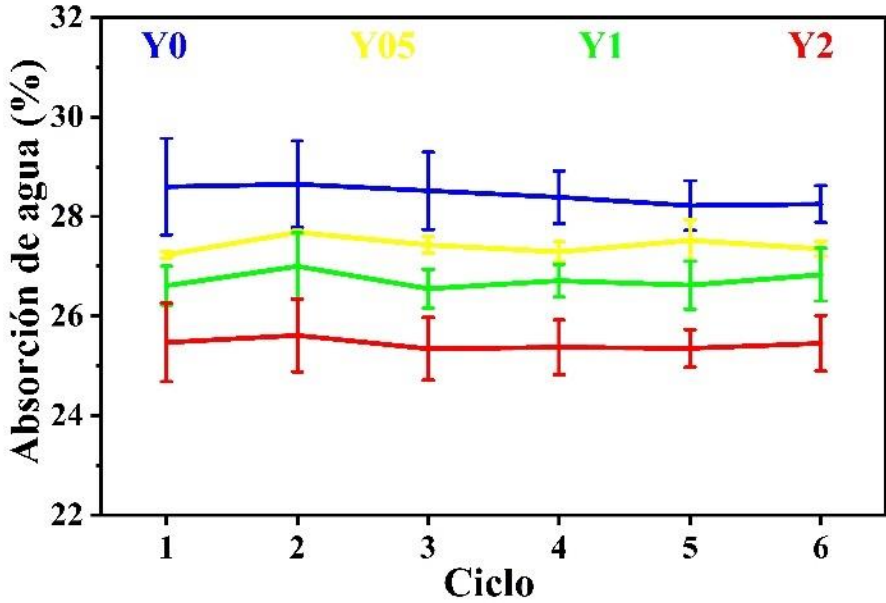
Resistencia al agua de las pastas



Grafica de pérdida de masa y resistencia a la compresión de las pastas de yeso con y sin adiciones después de 6 ciclos del método humedad-secado



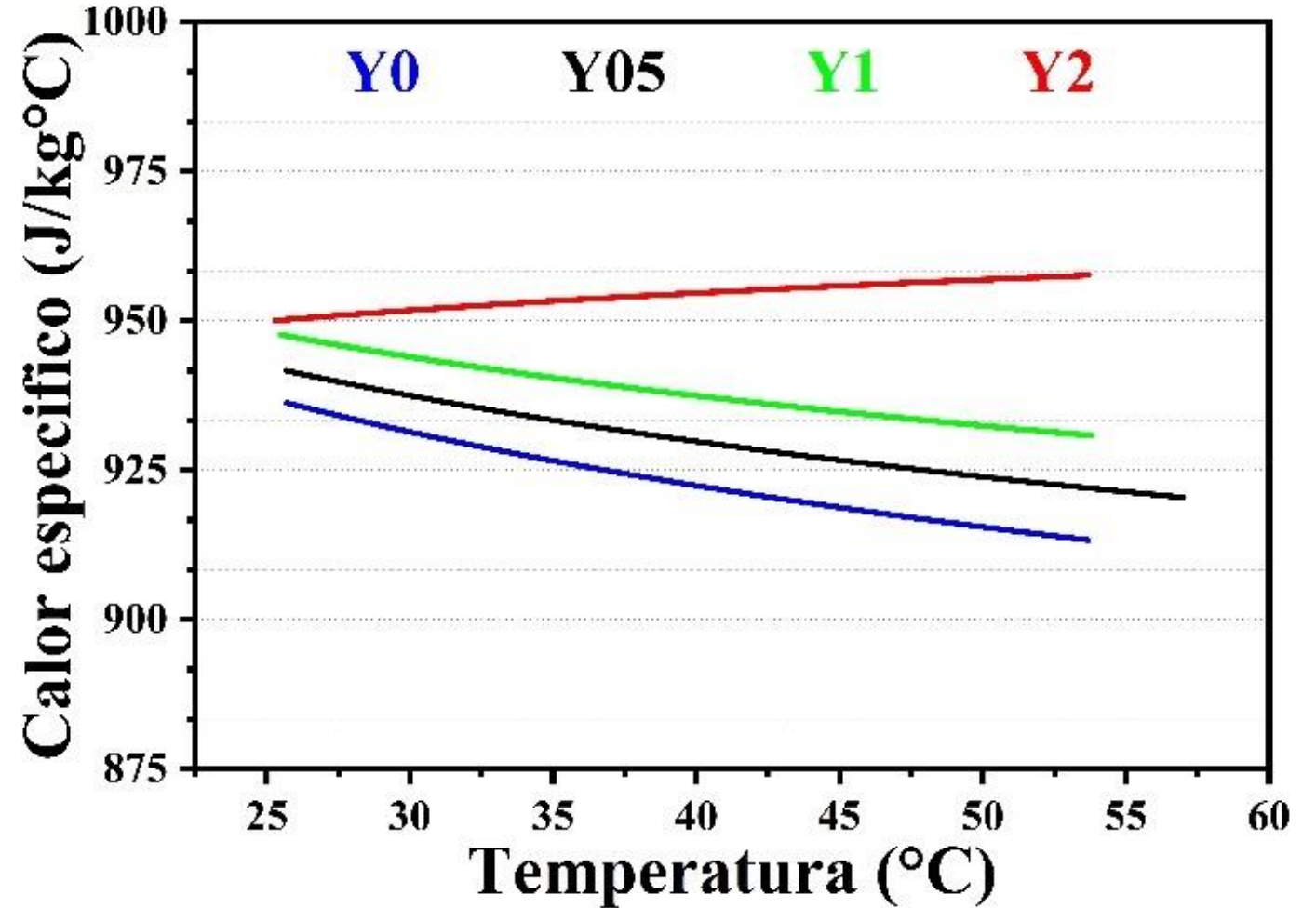
Angulo de contacto del agua de las pastas



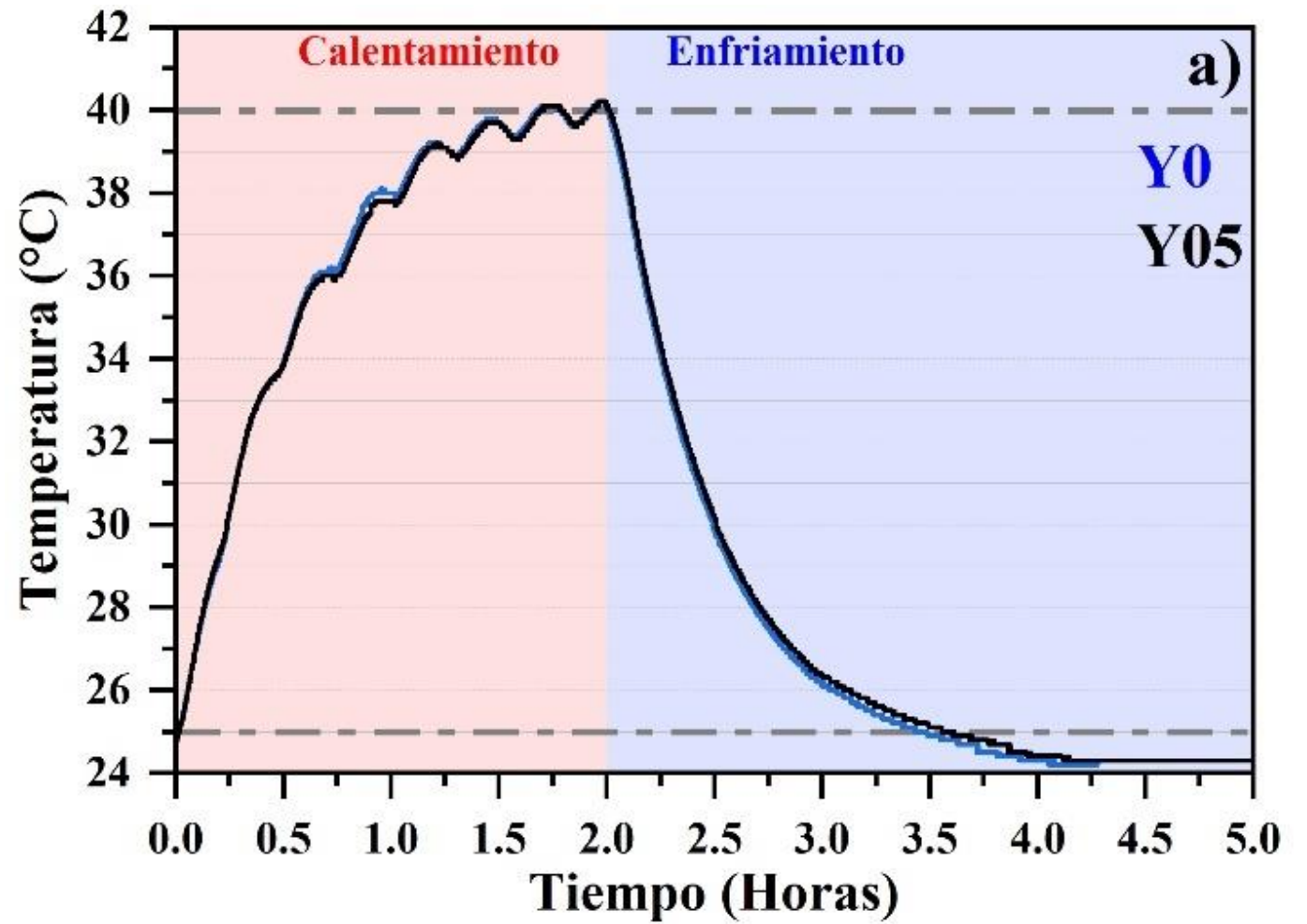
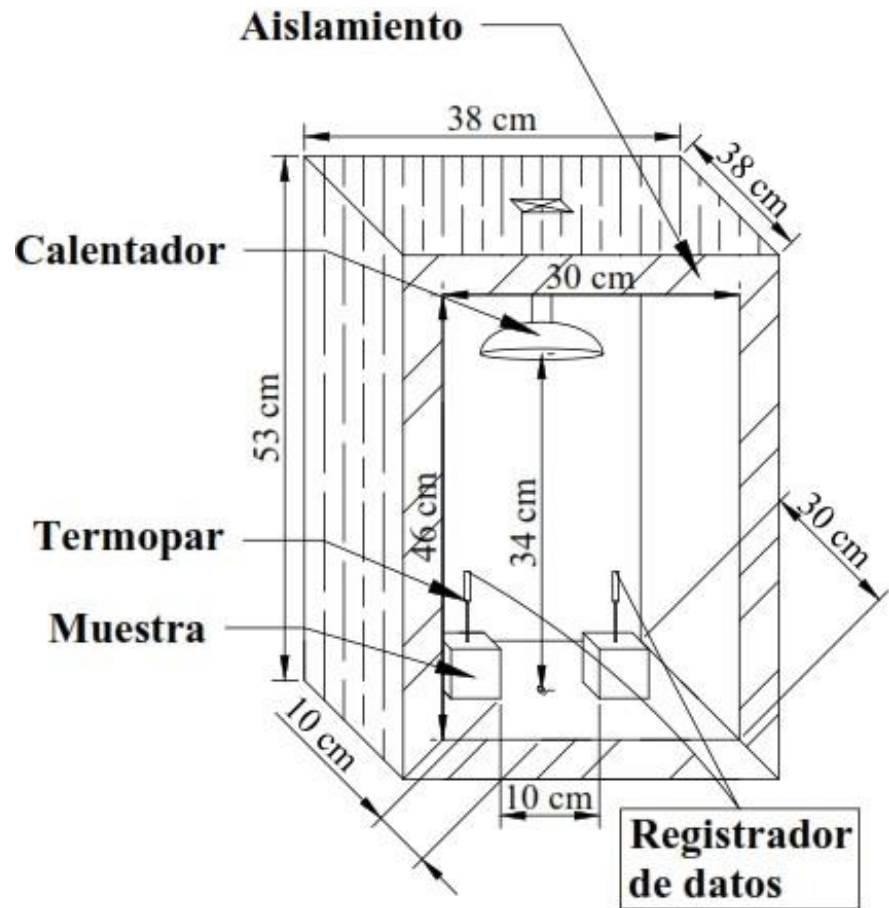
Porcentaje de absorción de agua en cada ciclo de humectación-secado de las pastas de yeso

Propiedades térmicas

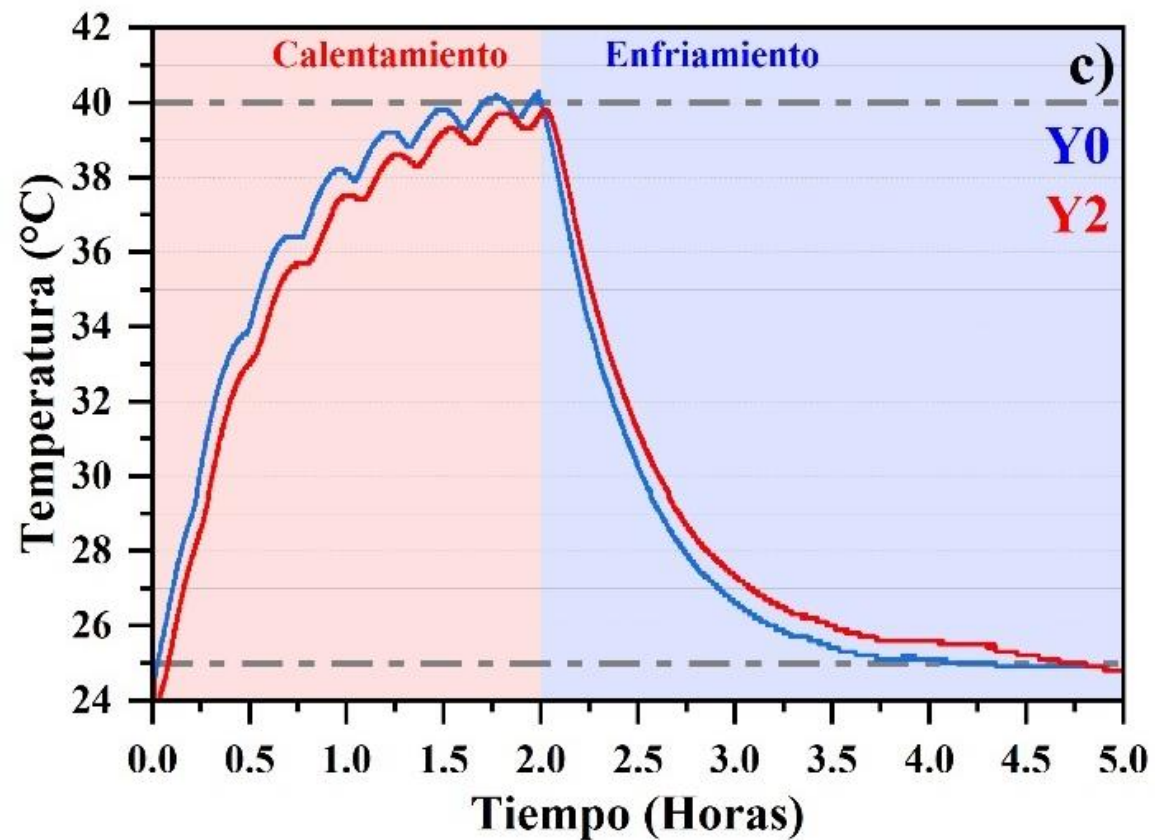
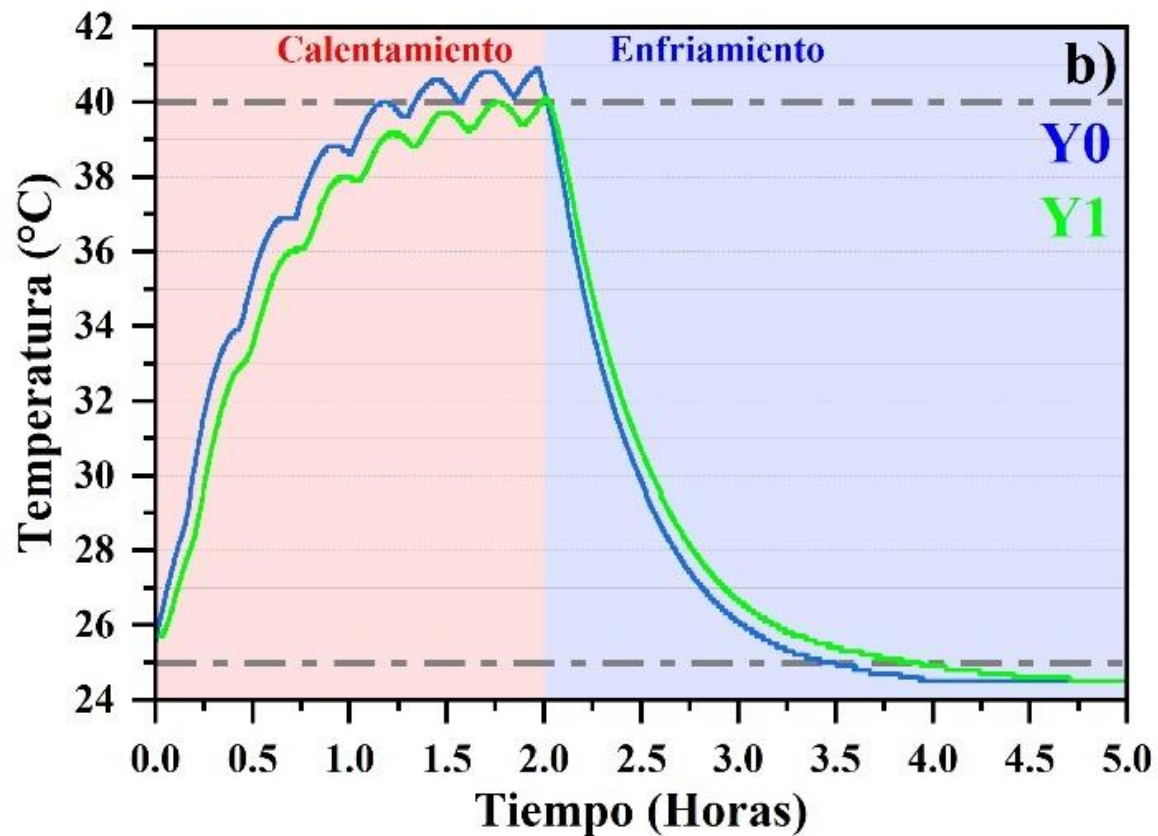
Muestra	Conductividad térmica (W/mK)
Y0	0.4184 ± 0.01
Y05	0.4204 ± 0.009
Y1	0.4229 ± 0.0069
Y2	0.4244 ± 0.01



Conductividad térmica y calor específico de las pastas



Graficas del comportamiento térmico de las pastas al someterlas a 40 °C y después a un enfriamiento a temperatura ambiente, donde: a) Y0 vs Y05



Graficas del comportamiento térmico de las pastas al someterlas a 40 °C y después a un enfriamiento a temperatura ambiente, donde: b) Y0 vs Y1 y c) Y0 vs Y2.

Conclusiones

Se concluye que existe una buena compatibilidad e integración homogénea entre el yeso y el NH al no verse afectado el desarrollo de los compuestos hidratados ni los valores de resistencia a la compresión, mojabilidad y resistencia al agua. Se encontró que la adición del NH tuvo un efecto importante en las propiedades térmicas del yeso presentándose un incremento en la conductividad térmica en un 1.43 % en comparación con el yeso puro. El valor del Cp también mostró un incremento en sus valores. Esto influyó en la velocidad de enfriamiento-calentamiento de las muestras con el NH otorgándole a la matriz de yeso la capacidad de almacenar calor durante los incrementos externos de temperatura y, liberarlo cuando la temperatura externa desciende al actuar como regulador térmico, lo cual, lo hace atractivo para la preparación de materiales de construcción energéticamente eficientes.

Referencias

- Alzoubi, H. H., Albiss, B. A., & Abu sini, S. S. (2020). Performance of cementitious composites with nano PCMs and cellulose nano fibers. *Construction and Building Materials*, 236. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117483>
- Amaral, C., Vicente, R., Marques, P. A. A. P., & Barros-Timmons, A. (2017). Phase change materials and carbon nanostructures for thermal energy storage: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79(January), 1212–1228. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.093>
- Barra, H. M., Chen, S. K., Tamchek, N., Talib, Z. A., Lee, O. J., & Tan, K. B. (2021). Phase, Microstructure, Thermo-chromic, and Thermophysical Analyses of Hydrothermally Synthesized W-Doped VO₂ Nanopowder. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/8582274>
- Boccarusso, L., Durante, M., Iucolano, F., Langella, A., Minutolo, F. M. C., & Mocerino, D. (2020). Recyclability process of standard and foamed gypsum. *Procedia Manufacturing*, 47(2019), 743–748. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.227>
- bp report. (2022). Statistical Review of World Energy 2022. Recuperado el 8 de Septiembre del 2022 de <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>
- Castellón, F. J., Ayala, M., Flores, J. A., & Lanzón, M. (2021). Influence of citric acid on the fire behavior of gypsum coatings of construction and structural elements. *Materiales de Construcción*, 71(341). <https://doi.org/10.3989/MC.2021.13120>
- Cheng, T., Wang, N., Wang, H., Sun, R., & Wong, C. P. (2020). A newly designed paraffin@VO₂ phase change material with the combination of high latent heat and large thermal conductivity. *Journal of Colloid and Interface Science*, 559, 226–235. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.10.033>

- Cunha, S., Silva, M., & Aguiar, J. (2020). Behavior of cementitious mortars with direct incorporation of non-encapsulated phase change material after severe temperature exposure. *Construction and Building Materials*, 230, 117011. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117011>
- Du, Y., Liu, P., Quan, X., & Ma, C. (2020). Characterization and cooling effect of a novel cement-based composite phase change material. *Solar Energy*, 208(July), 573–582. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.083>
- Fallahi, A., Guldentops, G., Tao, M., Granados-Focil, S., & van Dessel, S. (2017). Review on solid-solid phase change materials for thermal energy storage: Molecular structure and thermal properties. *Applied Thermal Engineering*, 127, 1427–1441. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.08.161>
- Faraj, K., Khaled, M., Faraj, J., Hachem, F., & Castelain, C. (2020). Phase change material thermal energy storage systems for cooling applications in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119(May 2019), 109579. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109579>
- Frazzica, A., Brancato, V., Palomba, V., la Rosa, D., Grungo, F., Calabrese, L., & Proverbio, E. (2019). Thermal performance of hybrid cement mortar-PCMs for warm climates application. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 193(January), 270–280. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2019.01.022>
- Gomes, D. J. C., de Souza, N. C., & Silva, J. R. (2013). Using a monocular optical microscope to assemble a wetting contact angle analyser. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 46(9), 3623–3627. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.07.010>
- Guardia, C., Barluenga, G., Palomar, I., & Diarce, G. (2019). Thermal enhanced cement-lime mortars with phase change materials (PCM), lightweight aggregate and cellulose fibers. *Construction and Building Materials*, 221, 586–594. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.098>

- Jeong, S. G., Wi, S., Chang, S. J., Lee, J., & Kim, S. (2019). An experimental study on applying organic PCMs to gypsum-cement board for improving thermal performance of buildings in different climates. *Energy and Buildings*, 190, 183–194. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.02.037>
- Jin, Z., Ma, B., Su, Y., Qi, H., Lu, W., & zhang, T. (2021). Preparation of eco-friendly lightweight gypsum: Use of beta-hemihydrate phosphogypsum and expanded polystyrene particles. *Construction and Building Materials*, 297. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123837>
- Kim, Y. U., Park, J. H., Yun, B. Y., Yang, S., Wi, S., & Kim, S. (2021). Mechanical and thermal properties of artificial stone finishing materials mixed with PCM impregnated lightweight aggregate and carbon material. *Construction and Building Materials*, 272, 121882. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121882>
- Kuai, C., Chen, J., Shi, X., & Grasley, Z. (2021). Regulating porous asphalt concrete temperature using PEG/SiO₂ phase change composite: Experiment and simulation. *Construction and Building Materials*, 273, 122043. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122043>
- Li, M., Magdassi, S., Gao, Y., & Long, Y. (2017). Hydrothermal Synthesis of VO₂ Polymorphs: Advantages, Challenges and Prospects for the Application of Energy Efficient Smart Windows. *Small*, 13(36), 1–25. <https://doi.org/10.1002/smll.201701147>
- Lushnikova, N., & Dvorkin, L. (2016). Sustainability of gypsum products as a construction material. In *Sustainability of Construction Materials* (Second Edi). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100370-1.00025-1>
- Mohseni, E., Tang, W., Khayat, K. H., & Cui, H. (2020). Thermal performance and corrosion resistance of structural-functional concrete made with inorganic PCM. *Construction and Building Materials*, 249, 118768. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118768>

- Raj, C. R., Suresh, S., Bhavsar, R. R., Vivek, V., Singh, K., Bhavsar, R. R., & Singh, V. K. (2020). Recent developments in thermo-physical property enhancement and applications of solid solid phase change materials A review. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 139, 3023–3049. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08703-w>
- Rehloff, L., Akkermans, P. M. M. G., Leonardsen, E., & Thuesen, I. (1990). Plasters: Gypsum or Calcite? A Preliminary Case Study of Syrian Plasters. *Paléorient*, 16(2), 79–87. <https://doi.org/10.3406/paleo.1990.4534>
- Silvestro, L., & Jean Paul Gleize, P. (2020). Effect of carbon nanotubes on compressive, flexural and tensile strengths of Portland cement-based materials: A systematic literature review. *Construction and Building Materials*, 264, 120237. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120237>
- Tyagi, V. V., & Buddhi, D. (2007). PCM thermal storage in buildings: A state of art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(6), 1146–1166. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.10.002>
- Vimmrová, A., Krejsová, J., Scheinherrová, L., Doleželová, M., & Keppert, M. (2020). Changes in structure and composition of gypsum paste at elevated temperatures. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 142, 19–28. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-09528-8>
- V.-P- Lehto, M. R. E. Laine. L. Y. P. H. and K. J. (1998). Determination of specific heats using isothermal microcalorimetry. *Journal of Thermal Analysis*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jbm.b.10044>
- Yu, S., Jeong, S. G., Chung, O., & Kim, S. (2014). Bio-based PCM/carbon nanomaterials composites with enhanced thermal conductivity. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 120(PART B), 549–554. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2013.09.037>



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BECORFAN is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/booklets)