

Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2024,
Volumen 8, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4

**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA
COMPRESIÓN DE MORTEROS ADICIONADOS
CON PARTÍCULA DE PET PARA SU USO EN
REVOCOS DE CASA EXPERIMENTAL EN
MISANTLA, VERACRUZ, MEXICO**

**EVALUATION OF THE COMPRESSIVE STRENGTH OF
MORTARS ADDED WITH PET PARTICLES FOR USE IN
EXPERIMENTAL HOUSE PLASTERING IN MISANTLA,
VERACRUZ, MEXICO**

Oscar Moreno Vázquez

Instituto Tecnológico Superior de Misantla, México

Pablo Julián López González

Instituto Tecnológico Superior de Misantla, México

Zita Monserrat Juárez Reyes

Instituto Tecnológico Superior de Misantla, México

Carolina Michelle Espinoza Cabrera

Instituto Tecnológico Superior de Misantla, México

Arturo Ramos Hernández

Instituto Tecnológico Superior de Misantla, México

Evaluación de la Resistencia a la Compresión de Morteros Adicionados con Partícula de PET para su Uso en Revocos de Casa Experimental en Misantla, Veracruz, México

Oscar Moreno Vázquez¹

omorenov@itsm.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-6267-9504>

Departamento de Ingeniería Civil
Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico Superior de Misantla
México

Pablo Julián López González

jlopezg@itsm.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-6281-6756>

Departamento de Ingeniería Civil
Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico Superior de Misantla
México

Zita Monserrat Juárez Reyes

zmjuarezr@itsm.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0002-8821-2130>

Departamento de Ingeniería Civil
Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico Superior de Misantla
México

Carolina Michelle Espinoza Cabrera

202t0444@itsm.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0003-3224-3381>

Departamento de Ingeniería Civil
Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico Superior de Misantla
México

Arturo Ramos Hernández

212t0013@itsm.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0000-7231-8278>

Departamento de Ingeniería Civil
Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico Superior de Misantla
México

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo analizar la influencia de la partícula de PET en una sustitución porcentual con respecto al agregado (arena) en sus propiedades mecánicas, ejecutándose un mortero con resistencia mínima de 125 kg/cm² como menciona la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014 y las normas técnicas complementarias de mampostería (NTCM-17). Este estudio se ejecutó con agregados tipo (SP) arena mal graduada con dos diferentes módulos de finura, la arena es denominada como arena de mina y arena de río. La sustitución de ambas arenas, con respecto a partículas de PET fue del 0, 10 y 15%. En total se ejecutaron 72 especímenes cúbicos de 5cm x 5cm como indica la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014, y se evaluaron a una edad de curado de 66, 188, 238 y 360 días. El mortero con arena de río con sustitución de PET al 10%, fue el que mejor se desempeñó, después de los morteros control. Por otro lado, los morteros con sustitución de partícula de PET no superaron a los morteros control, además, los morteros elaborados con arena de mina obtuvieron menores resistencias que los morteros elaborados con arena de río.

Palabras clave: mortero, tereftalato de polietileno-PET, arena, resistencia a la compresión

¹ Autor principal

Correspondencia: omorenov@itsm.edu.mx

Evaluation of the Compressive Strength of Mortars Added with PET Particles for use in Experimental House Plastering in Misantla, Veracruz, Mexico

ABSTRACT

The present research work had the objective of analyzing the influence of the PET particle in a percentage substitution with regards to the aggregate (sand) in its mechanical properties, executing a mortar with a minimum resistance of 125 kg/cm² as mentioned in the NMX-C-486-ONNCCE-2014 standard and the complementary technical standards for masonry (NTCM-17). This study was executed with aggregates type (SP) poorly graded sand with two different fineness modules, the sand is named as mine sand and river sand. The substitution of both sands with respect to PET particles was 0, 10 and 15%. A total of 72 cubic specimens of 5cm x 5cm were executed as indicated by the NMX-C-486-ONNCCE-2014 standard, and were evaluated at a curing age of 66, 188, 238 and 360 days. The mortar with river sand with 10% PET substitution, was the one that performed the best, after the control mortars. On the other hand, the mortars with PET particle substitution did not outperform the control mortars, and the mortars made with mine sand obtained lower strengths than the mortars made with river sand.

Keywords: Mortar; Polyethylene Terephthalate (PET); Sand; Compressive strength.

*Artículo recibido 01 agosto 2024
Aceptado para publicación: 10 septiembre 2024*



INTRODUCCIÓN

En el presente la fabricación de tereftalato de Polietileno (PET) se ha incrementado en el mundo, estos se presentan como envases a bajo costo para la venta de productos embotellados a la sociedad. Se espera que en el año 2024 alcance una producción de 27 millones de toneladas. (Mordor Intelligence, 2024); (Fortune Business Insights,2024)

La contaminación por plásticos es un problema grave en el mundo, la ONU menciona que cada año se desechan entre 19 y 23 millones de toneladas de residuos plásticos los cuales acaban en diversos ecosistemas, afectando la flora y fauna que habita en esos lugares. Por otra parte, el tiempo de degradación del plástico va de 150 años hasta los 1000 años si el plástico se encuentra enterrado. (United Nations Environment Programme. 2024)

A pesar de las distintas innovaciones en mezclas cementicias, se han registrado una alta demanda de agregados pétreos, debido a que tres cuartas partes del volumen del concreto son agregados pétreos, (León, 2010). Es por ello por lo que se necesita la reducción del uso de materiales pétreos vírgenes, para contribuir a la disminución en la explotación de bancos de materiales. (Purnell, 2013),

Debido a esto la industria del mortero y concreto ha ejecutado diferentes investigaciones, donde se ha optado por diversas alternativas para la reutilización del PET. (Caballero et al, 2020), En diferentes artículos se ha apostado por el proceso de reciclaje del PET convirtiéndolo en fibras y partículas de diferente tamaño para su integración en la industria de la construcción y así también mitigar la contaminación, reduciendo la huella de contaminación por PET. (Coviello et al 2024)

Por otra parte, se analizaron algunos trabajos de investigación donde se aplicó la influencia de algunos tipos de plásticos como sustitución al agregado en mezclas cementicias, uno de ellos fue el de Saucedo que evaluaron la influencia que tiene la incorporación de PET como sustituto de agregado pétreo en la mezcla de concreto, determinando que la mezcla la cual cumple con los parámetros mínimos es la del 1% ya que presenta mayor trabajabilidad y mayor resistencia a la compresión (Saucedo, et al, 2021).

Por otro lado, se ejecutó otro estudio donde se revisó la influencia que tienen los morteros de recubrimiento elaborados con agregados de PET y se obtuvo que los morteros reducían en un 45% y un 65% su resistencia a la compresión, sin embargo, se obtuvo una reducción de temperaturas en el ambiente en las viviendas y logrando una disminución de un 12% en la demanda energética. (Resende,



et al 2024), Sin embargo (Xiong B., et al 2021) quienes estudiaron especímenes de mortero con sustitución de agregado por PET en un 0, 5 y 10% de PET en mortero, sometiendo las probetas a resistencia a la compresión al tiempo de curado de 7 y 28 días, obteniendo como mezcla más favorable la del 10% de PET quien registró un ligero aumento con respecto a la muestra control.

El objetivo de este trabajo es reportar el efecto de la sustitución de la partícula de PET en el agregado denominado como arena de mina y arena de rio en porcentajes del 0, 10 y 15%, analizando las propiedades mecánicas de los morteros y la relación de estas propiedades, con la aplicación en revocos en muros y propiedades físicas. Integrando estos datos en futuros estudios.

METODOLOGÍA

Obtención de materiales

El cemento que se utilizó es Cemento portland Compuesto (CPC), se ocuparon agregados finos (arena de rio y arena de mina) adquiridos en la región de Misantla, Veracruz, México. Por otra parte, las partículas de PET fueron obtenidas de una recicladora ubicada en la Colonia Cuauhtémoc de la ciudad de Veracruz, Veracruz, México., estos residuos son parte de la recolección de plásticos tirados en la ciudad y separados en la empresa recicladora, para llegar al tamaño de la partícula pasa por un proceso de mercerización obteniendo diferentes tamaños de partícula. La máquina cortadora de plásticos se muestra en la figura 1 y la maquina separadora de diferentes tamaños es la figura 2.

Figura 1. Cortadora de plásticos



Fuente: Autor Propio

Figura 2. Separadora de partículas de plástico



Fuente: Autor Propio

Los agregados fueron caracterizados en el laboratorio de ingeniería civil del Instituto Tecnológico Superior de Misantla donde se obtuvieron los datos que se muestran en la tabla 1

Tabla 1 Caracterización de Agregados

Característica física	Agregado tipo: Arena de Rio	Agregado Tipo: Arena de Mina	PET
Peso Volumétrico seco suelto	0.99 gr/cm ³	0.79 gr/cm ³	0.44 gr/cm ³
Peso volumétrico seco compacto	1.13 gr/cm ³	0.89 gr/cm ³	0.54 gr/cm ³
Análisis Granulométrico	SP	SP	
Módulo de finura	2.58	2.23	2.3
Contenido de Agua	31.58%	44.93%	
Absorción	2.04%	1.01%	
Densidad	0.93 gr/cm ³	1.78 gr/cm ³	

Fuente: Elaboración propia.

Estación de trabajo

La estación de trabajo se encuentra en la ciudad de Misantla, Veracruz, México. Donde se elaboraron los morteros, se llevó a cabo el proceso de curado en edades de 66, 188, 238 y 360 días. Las pruebas de resistencia a la compresión se llevaron a cabo en el laboratorio Flisa S.A. de C.V. en la Ciudad de Xalapa, Veracruz, México.

Dosificaciones

El diseño de la mezcla de mortero se llevó a cabo siguiendo las pautas establecidas por la normativa NTCM-2017 de mortero tipo I, para la ejecución de las probetas se elaboran tres diferentes dosificaciones tanto para arena de rio como para arena de mina como se muestra en la tabla 1.

Por otro lado, los porcentajes de sustitución del agregado (arena de mina y arena de río) por PET, se determinaron tomando en cuenta los antecedentes de investigaciones y literatura previa, estableciendo que los porcentajes de monitoreo serían de 0, 10 y 15% de remplazo. El tamaño de la partícula PET utilizada en la dosificación es inferior a 0.6 mm En la siguiente tabla 2 muestra la dosificación de cada una de las probetas con respecto a cada nomenclatura.

Tabla 2 Nomenclatura empleado en las probetas de mortero

Descripción	Nomenclatura	Cantidades de especímenes por edad
Mortero control con arena de río	MRC	12
Mortero control con arena de mina	MMC	12
Mortero con sustitución PET al 10% en arena de río	MRP10	12
Mortero con sustitución PET al 10% en arena de Mina	MMP10	12
Mortero con sustitución PET al 15% en arena de río	MRP15	12
Mortero con sustitución PET al 15% en arena de Mina	MMP15	12

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3 Porcentajes de sustitución de PET usados en las probetas de mortero

Nomenclatura	% PET	% Arena de Mina (SP)	% Arena de Río (SP)
MRC	0	0	100
MMC	0	100	0
MRP10	10	0	90
MMP10	10	90	0
MRP15	15	0	85
MMP15	15	85	0

Fuente: Elaboración propia

Elaboración de las probetas

Los especímenes de mortero fueron elaborados mediante la normativa NMX-C-486-ONNCCE-2014, los especímenes tienen medidas de 5cm X 5cm, ese tipo de espécimen se ocupó para todas las mezclas que se describen en la tabla 2. La mezcla siguió la dosificación descrita en la norma Normas Técnicas complementarias de Mampostería del 2017 (NTCM, 2017);(ONNCCE, 2014)

Primero se obtuvieron las dosificaciones de los materiales mencionados en la Tabla 3, después se habilitaron los moldes cúbicos y la superficie de cada uno de los moldes fue lubricado con aceite.

Las mezclas de mortero se efectuaron en una superficie limpia y plana, además, fue ejecutada de manera mecánica en el laboratorio, el llenado se llevó a cabo como lo menciona la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014. A la mezcla se le ejecutó la prueba de revenimiento para analizar la relación de agua con respecto a la manejabilidad de la mezcla de mortero, los resultados de los revenimientos obtenidos se encuentran en la tabla 4, el procedimiento se ejecutó como lo indica la norma NMX-C-156-ONNCCE-2010. Por otra parte, se utilizó la metodología de revenimiento debido a que la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014 menciona su uso para obtener la manejabilidad de la mezcla de mortero con respecto al agua implementada. (ONNCCE,2014; ONNCCE,2010)

Tabla 4 *revenimientos obtenidos en cada una de las mezclas.*

Nomenclatura	Revenimiento en cm
MRC	14
MMC	13
MRP10	12
MMP10	11
MRP15	10
MMP15	10

Fuente: Autor Propio.

Una vez colados los especímenes estos fueron desmoldados como se muestra en la figura 3 y fueron curados a diferentes en edades de 66, 188, 238 y 360 días.

Figura 3. Desmoldado de Especímenes



Fuente: Autor Propio.

Para determinar la resistencia a la compresión de las mezclas de mortero se ejecutó mediante la normativa NMX-C-061-ONNCCE-2015, colocando los morteros en la máquina para obtener la resistencia a la compresión axial, como se muestra en la figura 5. (ONNCCE,2014)

Figura 4. Ensayo de resistencia a la compresión axial de especímenes cúbicos de morteros con sustitución de agregado por PET.



Fuente: Autor Propio.

Por otro lado, al culminar los ensayos de resistencia a la compresión se analizaron los resultados obtenidos en el ensayo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

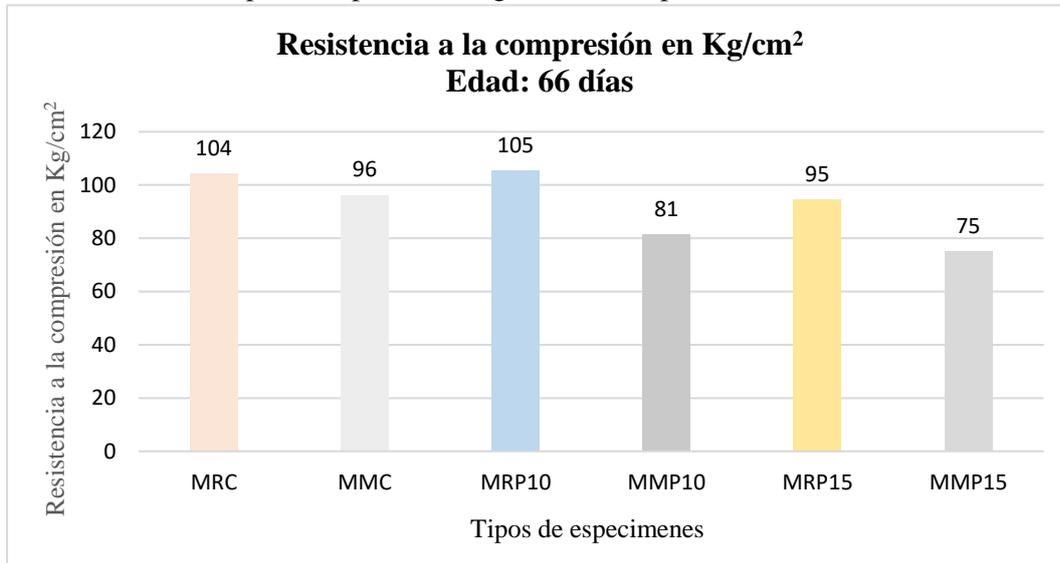
Se determinaron la resistencia a la compresión simple de los especímenes cúbicos de mortero modificado con edades de 66, 188, 238 y 360 días. Se ensayaron los especímenes tomando la recomendación de la norma NMX-C-061-ONNCCE-2015. Posteriormente se obtuvieron los resultados de los especímenes promedio como se muestra en las figuras 5, 6, 7 y 8 de los especímenes cúbicos con resistencia mínima de 125 kg/cm²

El PET empleado en diferentes porcentajes como sustituto de la arena, puede contribuir a la variación de las resistencias a la compresión axial, por ejemplo, a la edad de 66 días se puede observar que la mezcla con sustitución que resultó favorable fue el mortero elaborado con arena de río y sustitución al 10% de PET, como se muestra en la figura 5, Por otra parte, a la edad de 118 días la mezcla con sustitución destacable fue la elaborada con arena de Mina y sustitución de PET al 10% sin embargo la mezcla elaborada con arena de río y PET al 15% se encuentra muy cerca al dato de la mezcla destacable.

No obstante, las mezclas control elaboradas con arena de mina y rio empiezan a tener un incremento notable mayor al 40%, Donde se puede observar la diferencia que hay entre las muestras con sustitución y las muestras control. Como se muestra en la figura 6.

Figura 5.

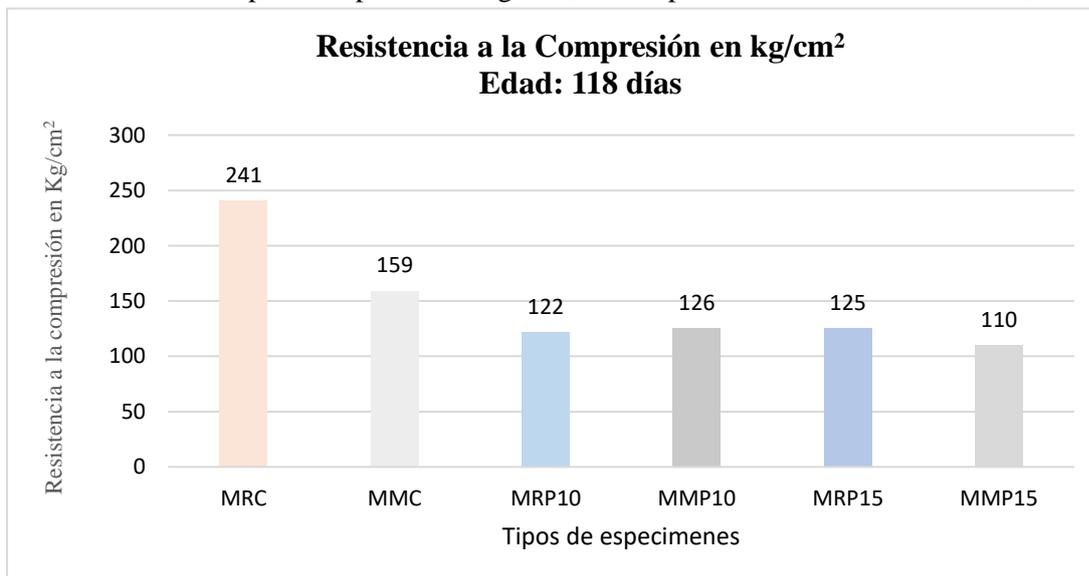
Resistencia a la compresión aplicada en kg/cm^2 , a los especímenes cúbicos de mortero, edad de 66 días.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 6.

Resistencia a la compresión aplicada en kg/cm^2 , a los especímenes cúbicos de mortero, edad de 118 días



Fuente: Elaboración Propia

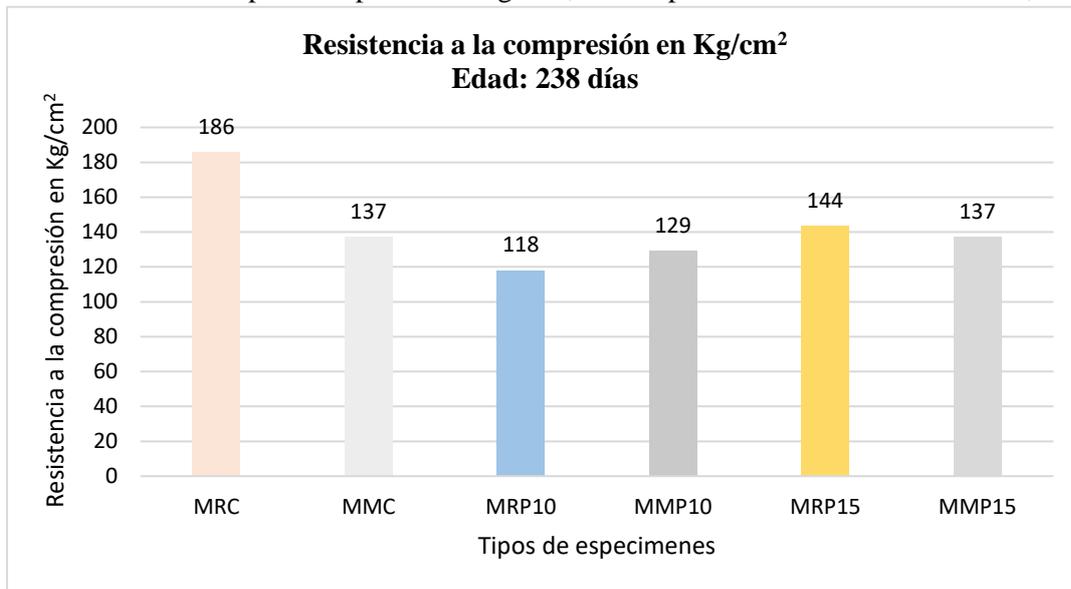
Por otra parte, en la figura 7 donde se observa el análisis de resistencia a la compresión axial a la edad de 238 días, en el cual la mezcla con sustitución al 15% de PET con arena de rio, cuenta con una ventaja sobre las demas mezclas sustituidas, sin embargo, las mezclas control sigue teniendo ventaja sobre las

mezclas con sustitución. De igual manera se observa la figura 8, donde se muestra la resistencia a la compresión axial a los 360 días, en donde la mezcla sustituida con mayor resistencia fue la de arena de río con 10% de PET, no obstante, las mezclas control superaron a las mezclas sustituidas.

Con respecto a la figura 9 se muestran las correlaciones de las diferentes mezclas donde se observa el análisis de cada una, en este grafico se aprecia bien como fueron evolucionando con forme al paso del tiempo.

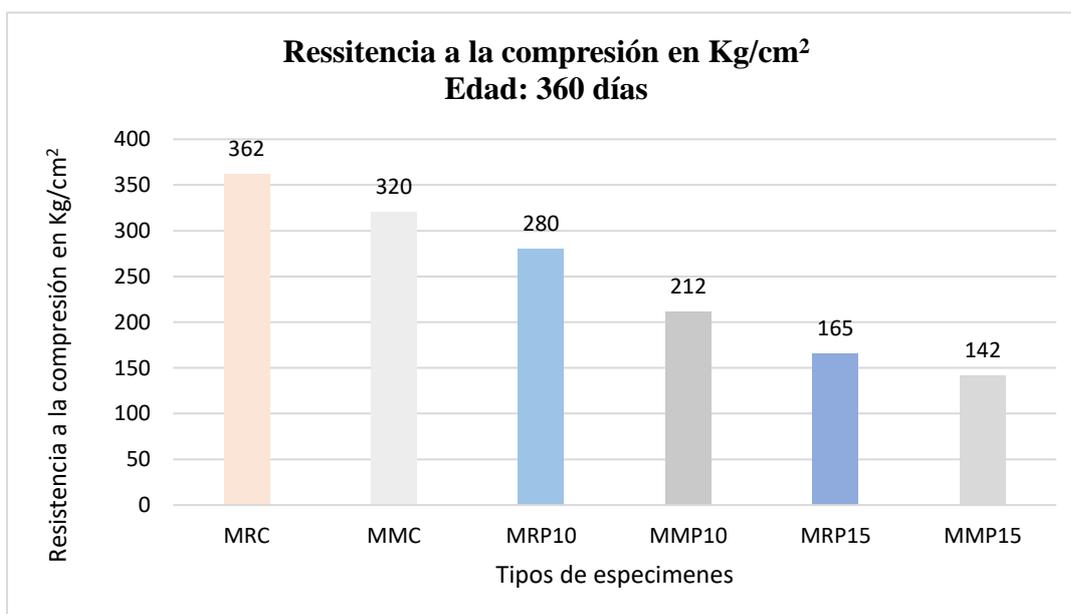
Figura 7.

Resistencia a la compresión aplicada en kg/cm^2 , a los especímenes cúbicos de mortero, edad de 238 días



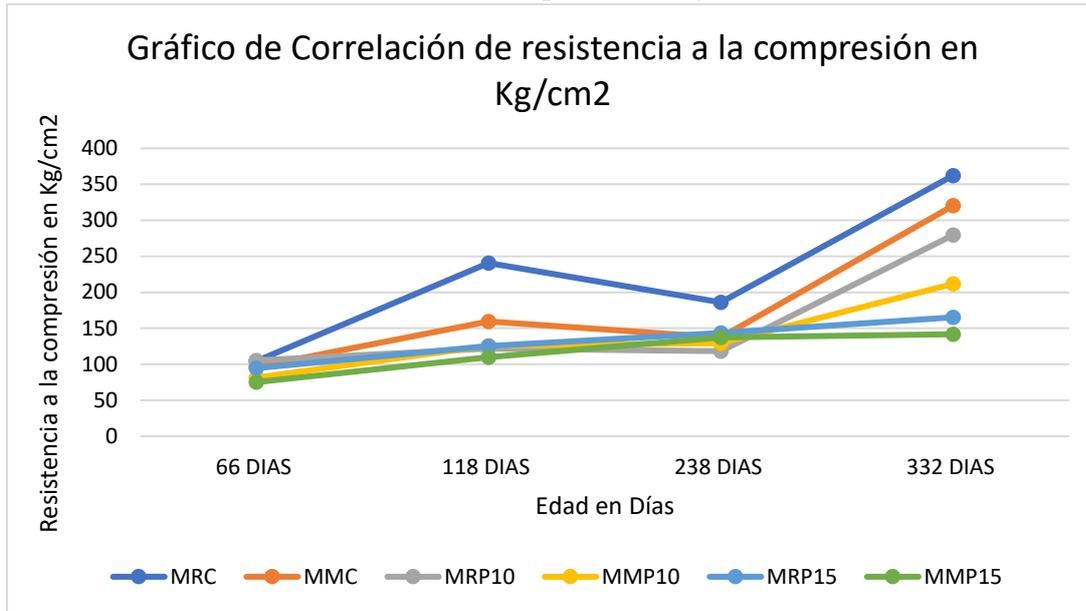
Fuente: Elaboración Propia

Figura 8. Resistencia a la compresión aplicada en kg/cm^2 , a los especímenes cúbicos de mortero, edad de 360 días.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 9. Correlación de resistencia a la compresión en Kg/cm²



Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIONES

Analizando la resistencia a la compresión axial de las diferentes mezclas de mortero, se pudo observar un incremento considerable con respecto a las diferentes edades en los morteros control elaborados con arena de mina y de arena de río, ambas mezclas obtuvieron mejor desempeño que los morteros sustituidos, sin embargo entre las mezclas control, el mortero fabricado con arena de río fue el que obtuvo mayores resistencias, debido a que esta arena cuenta con un modulo de finura mayor al que presenta la arena de mina, aunque las dos arenas son SP (arena mal graduada) según el S.U.C.S. tiene diferencias muy marcadas como se muestra en la tabla 1 de caracterización de los agregados.

Por otra parte, el análisis con respecto a las mezclas con sustitución la que obtuvo mejores resultados fue la mezcla de mortero con arena de río adicionada al 10% de PET, debido a que obtuvo un incremento de resistencia, evaluando la comparativa entre la edad de 66 días con respecto a 360 días existe un incremento de 71.20%, se debe puntualizar que estos especímenes fueron curados durante todas esas edades. Con respecto a la resistencia a la compresión entre las diferentes edades, la mezcla más desfavorable fue la elaborada con arena de mina y con sustitución del 15% de PET.

Por otro lado, al elaborar las mezclas de mortero se puede observar que las mezclas que tenían mayor cantidad de partículas de PET absorbían menor cantidad de agua y se disminuía la cantidad de agua utilizada en la mezcla, esto con el fin de obtener una mezcla con características similares de manejabilidad y homogeneidad. Sin embargo, esto quiere decir que el agua no se absorbe con el material sustituido (PET).

Con respecto a los morteros ninguno de ellos alcanzó la resistencia mínima en la edad de 66 días, como lo indica la normativa NTCM-17 de morteros estructurales, donde se menciona que la mínima resistencia deberá ser mayor o igual a 125 kg/cm² con respecto a los morteros tipo I, sin embargo, a una edad de 118 días los morteros MRC, MMC, MMP10, MRP15, obtuvieron resultados iguales o superiores al mortero tipo I, No obstante, todas las mezclas de mortero alcanzaron igual o mayor resistencia a 125 kg/cm² a la edad de 360 días. (NTCM,2017)

Se recomienda a investigaciones futuras el análisis de morteros en diferentes ambientes, y estudiar el mortero en aplicaciones constructivas, debido a que puede ser un aliado en detalles de albañilería o detalles constructivos, se debe tomar importancia el ahorro en agregado virgen y la reducción del uso de agua potable para la elaboración de la mezcla de mortero.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aquino & Jhoan (2019). Estudio comparativo de la Influencia del plástico (PET) en la resistencia a la compresión y durabilidad del concreto reciclado y concreto convencional.
- Caballero-Ibarra, S. D., Dueñas-Falla, O. A., & Rolón-Rodríguez, B. M. (2019). *El plástico y sus dos caras. Revista CONVICCIONES*, 6(12), 49-52.
- Coviello, C. G., Sabbà, M. F., & Foti, D. (2024). Recycled waste PET for sustainable cementitious materials. En *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. Elsevier.
- Fortune Business Insights. (2024). *Polyethylene Terephthalate [PET] Market Size & Growth, 2032*. Recuperado de <https://www.fortunebusinessinsights.com>
- León M, Ramírez F (2010) Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. *Rev. Ing. Constr.* 25: 215-240.
- Mordor Intelligence. (2024). *Polyethylene Terephthalate (PET) Market Trends*. Recuperado de <https://www.mordorintelligence.com>



- NTCM (2017). Normas técnicas complementarias de Mampostería. México.
- ONNCCE. (2010). NMX-C-156-ONNCCE-2010-Industria De La Construcción-Concreto Hidráulico-
Determinación Del Revenimiento En El Concreto Fresco
- ONNCCE. (2014). NMX-C-486-ONNCCE-2014- Industria de la Construcción - Mampostería -
Mortero para Uso Estructural - Especificaciones y Métodos de Ensayo
- ONNCCE. (2015). NMX-C-061-ONNCCE-2015- Industria de la Construcción - Cementos Hidráulicos
- Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cementantes Hidráulicos
- ONNCCE. (2019). NMX-C-077-ONNCCE-2019-Industria De La Construcción-Concreto Hidráulico-
análisis granulométrico - Método de Prueba.
- ONNCCE. (2020). NMX-C-165-ONNCCE-2020-Industria De La Construcción-Concreto Hidráulico-
Determinación de la Densidad Relativa y Absorción de Agua del Agregado Fino- Método de
Prueba.
- Resende, D. M., Mendes, V. F., Carvalho, V. R., Nogueira, M. A., de Carvalho, J. M. F., & Peixoto, R.
A. F. (2024). Coating mortars produced with recycled PET aggregates: A technical,
environmental, and socioeconomic approach applied to Brazilian social housing. *Journal of
Building Engineering*, 83(108426), 108426. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.108426>
- United Nations Environment Programme. (2024.). *Plastic pollution*. United Nations Environment
Programme. Recuperado de <https://www.unep.org/plastic-pollution>
- Xiong, B., Falliano, D., Marano Giuseppe, C., Restuccia, L., Di Trapani, F., & Ferro Giuseppe, A.
(2021). Experimental characterization of mortar with recycled PET aggregate: Preliminary
results. *Procedia Structural Integrity*, 33, 1027–1034.
<https://doi.org/10.1016/j.prostr.2021.10.114>