

Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2024,
Volumen 8, Número 2.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO CON INCORPORACIÓN DE ESFERAS DE POLIESTIRENO

COMPRESSIVE STRENGTH OF CEMENT MORTARS WITH THE INCORPORATION OF POLYSTYRENE SPHERES

Fernando Rocha Argote

Facultad de Tecnología Universidad del Valle “UNIVALLE”, Bolivia

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.11199

Resistencia a Compresión de Morteros de Cemento con Incorporación de Esferas de Poliestireno

Fernando Rocha Argote¹

fernando.rocha.argote@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-7728-0432>

Docente de la Facultad de Tecnología

Universidad del Valle “UNIVALLE”

Bolivia

RESUMEN

El desempeño estructural está relacionado directamente con las propiedades mecánicas. Uno de los principales parámetros que controla el comportamiento de este sistema, es la resistencia a compresión. El objetivo de este estudio es evaluar el comportamiento mecánico a compresión de morteros (a los 3, 7, 14 y 28 días) con incorporación de esferas de poliestireno a diferentes fracciones de volumen, tomando en cuenta el modelo de Maxwell- Raileigh con una distribución cubica simple. Para evaluar dichas resistencias, se emplean las normas establecidas para materiales de construcción, elaboración de morteros y ensayos destructivos de las normas ASTM. Los resultados experimentales fueron comprobados mediante la Ley de Mezclas aplicando una fuerza F al material compuesto de una fase discontinua y una matriz.

Palabras clave: Poliestireno, Mortero, Ley de Mezclas, Maxwell

¹ Autor principal

Correspondencia: fernando.rocha.argote@gmail.com

Compressive Strength of Cement Mortars with the Incorporation of Polystyrene Spheres

ABSTRACT

Structural performance is directly related to mechanical properties. One of the main parameters that controls the behavior of this system is the compressive strength. The objective of this study is to evaluate the mechanical behavior under compression of mortars (at 3, 7, 14 and 28 days) with the incorporation of polystyrene spheres at different volume fractions, taking into account the Maxwell-Rayleigh model with a distribution simple cubic. To evaluate these resistances, the standards established for construction materials, mortar production and destructive tests of the ASTM standards are used. The experimental results were verified using the Law of Mixtures by applying a force F to the material composed of a discontinuous phase and a matrix.

Keywords: *Polystyrene, Mortar, Law of Mixtures, Maxwell*

Artículo recibido 23 marzo 2024

Aceptado para publicación: 25 abril 2024



INTRODUCCION

El mortero así como el hormigón es el resultado de una serie de análisis de mezclas de materiales que va desde los agregados finos hasta los agregados gruesos, que su resistencia depende de la calidad de estos materiales. (Guzmán, 2001)

Existe numerosos estudios referentes a morteros y hormigones en su estado endurecido, ya sea con incorporaciones de aditivos químicos, acero y fibras minerales entre otros (Ercoli, Peralta, Ortega, La Malfa, & De Marco, 2007), sin embargo, la incorporación de materiales reciclables cada vez se hace más relevante debido a que existe una imperiosa necesidad de preservar el medio ambiente.

Dentro de los materiales reciclables de mayor uso figura el poliestireno expandido, que representa el 0.2% del total de los residuos sólidos urbanos (ANAPE, 2004), que aplicado en morteros y hormigones ha proporcionado grandes resultados en cuanto a sus propiedades térmicas (Rocha, 2017), sin embargo, estos resultados son producto de aplicar modelos matemáticos como el modelo de Maxwell-Raileygh (Maxwell, 1873).

Aplicar modelos matemáticos en la elaboración de materiales compuestos resulta de gran utilidad, sobre todo en la reducción de costos de operación y materiales en caso de morteros y hormigones, sin embargo, dichos modelos deben estar sujetos a estudios y comparados constantemente con la realidad física del problema. (Ramírez, 1996)

En el área de la construcción uno de los principales problemas es la calidad de los materiales, existiendo diversas normas que regulan dichos parámetros de calidad, en morteros y hormigones las normas establecidas son muy estrictas en cuanto a su resistencia mecánica (Castillo, 2009), por lo que en el transcurso de los años se han establecido pruebas a morteros y hormigones en su estado endurecido siendo las pruebas destructivas y no destructivas, la primera la más empleada debido a los resultados de resistencia a compresión. (Jorba)

De esta manera elaborar morteros y hormigones con incorporación de materiales reciclables conlleva a realizar un sinnúmero de análisis de resistencia que estén sujetas a normas y procedimientos establecidos. (CEMEX, 2023) Por otra parte, realizar dichas pruebas resulta inseguro debido a las fallas que puede existir al momento de ejecución (Cure, 2018), por tal



motivo comparar dichos resultados con modelos de predicción de resistencia para materiales compuestos resulta de gran utilidad al momento de garantizar la veracidad de los resultados obtenidos mediante la caracterización de los materiales. Uno de los modelos para predecir la resistencia de materiales compuestos es la ley de mezclas propuesto por Voigt (Voigt, 1889), siendo este una técnica de homogeneización constituido por un material continuo llamado matriz y un material discontinuo, cuyo volumen viene dado por:

$$V = V_d + V_M \quad (1)$$

Donde los subíndices d y M representa al material discontinuo y a la matriz.

De forma análoga la masa del material compuesto viene dado de la siguiente manera:

$$M = M_d + M_M \quad (2)$$

Si las densidades ρ_d y ρ_M corresponden al material discontinuo y a la matriz entonces se escribe:

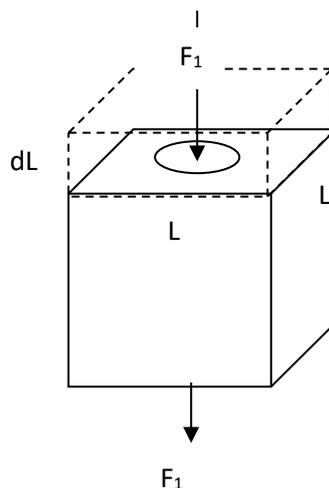
$$M = \rho_d V_d + \rho_M V_M \quad (3)$$

Para el cálculo del módulo de Young E se considera una fuerza F_1 en dirección de la fibra (figura 1), quedando la siguiente expresión:

$$F_1 = \sigma \cdot A \quad (4)$$

Donde σ es la tensión normal a lo largo de la sección $A = L^2$.

Figura 1. Material sometido a una fuerza F_1



La fuerza F_1 se transmite al material discontinuo y a la matriz, ocasionando un equilibrio de fuerzas en el material compuesto de la siguiente manera:

$$\sigma A = \sigma_d A_d + \sigma_M A_M \quad (5)$$

La ecuación 5 se puede escribir de la siguiente manera, para determinar la tensión del material compuesto dependiendo de las tensiones del material discontinuo y la matriz.

$$\sigma = \frac{\sigma_d A_d + \sigma_M A_M}{A} \quad (6)$$

Donde σ es la tensión del material compuesto y A el área de la superficie del mismo. Esta ecuación determina la resistencia a compresión del material compuesto dependiendo de las fracciones del área de la matriz y el material discontinuo, además de sus respectivas tensiones.

MATERIALES Y METODOS

Para obtener la resistencia a compresión de muestras de mortero, se realiza un análisis experimental, resultados que serán comparados por la ecuación (6) para la resistencia a compresión de materiales compuestos.

El método experimental se realiza con muestras de dimensiones 55mm de alto, 55mm de ancho y 55mm de largo, realizado bajo las normas ASTM, elaborando una muestra patrón de mortero y muestras de mortero con incorporación de esferas de poliestireno de 0.05, 0.1 y 0.2 fracciones de volumen. Los materiales empleados son:

- Cemento IP-30 con resistencia mínima de 30 MPa a 28días. (CADECOCRUZ, 2010)
- Arena gruesa
- Poliestireno expandido en forma de perlas con 10mm de diámetro.
- El tipo de mortero comprende a la proporción 1:2 correspondiente a morteros de alta resistencia. (Correa, 1985)

La incorporación de las esferas de poliestireno serán distribuidas de forma cubica simple siguiendo el modelo de Maxwell-Raileigh. Con base a la definición de dicho modelo respetando la independencia de cada esfera se obtendrá un material heterogéneo compuesto de una fase continua que corresponde a la pasta de mortero y a otra fase discontinua que será las esferas de poliestireno.

Procedimiento experimental

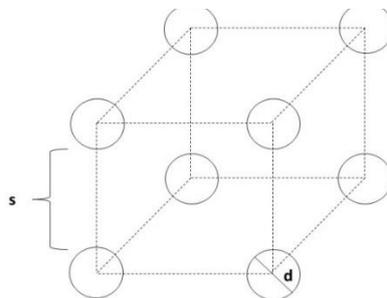
Se realizan dos tipos de muestras; la primera corresponde a un mortero sin incorporación de esferas de poliestireno, la cual será la pasta estándar con fracción de volumen cero, luego se elabora muestras con base al modelo de Maxwell-Rayleigh. Para aplicar dicho modelo se desarrolla una ecuación matemática (7) para determinar la separación de esferas de acuerdo a las fracciones de volumen dentro de un material homogéneo, que en nuestro caso es el cemento. La distribución de las esferas es cubica simple, siguiendo el concepto de independencia de cada esfera (García Romero & Monasterio Guisasola, 2018) con lo que respecta al modelo. (Figura 2)

$$\delta V = \frac{\frac{\pi}{6}}{\left(1 + \frac{s}{d}\right)^3} \quad (7)$$

Donde δV es la fracción de volumen, s es la separación de esferas y d el diámetro de las esferas. De acuerdo a la ecuación 7, se determina la separación de las esferas inmersas en el mortero para el cálculo del área de la superficie de poliestireno inmerso en el mismo, como indica la ecuación 8.

$$s = \left(\frac{\sqrt[3]{\frac{\pi}{6}}}{\sqrt[3]{\delta V}} - 1\right) \cdot d \quad (8)$$

Figura 2. Distribución cubica simple de las esferas de poliestireno.



Como el modelo de Maxwell Rayleigh deja de ser válido para fracciones de volumen mayores a 0.2 (Rocha, 2017), las muestras para el análisis de resistencia a compresión tendrán como límite

las fracciones de esferas de poliestireno igual a 0.2, realizando ensayos para fracciones de volumen igual a 0.05, 0.1, y 0.2. (figura 3). El ensayo a compresión se lo realizo para 30 muestras de mortero con fracciones de volumen ya indicadas, bajo la norma ASTM C-109, que contempla la elaboración, curado y ensayo a compresión de muestras cúbicas de mortero.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Los ensayos a compresión fueron realizados a los 3, 7, 14 y 28 días, dando como resultado los siguientes valores (tabla 1 y figura 2-3):

Tabla 1. Resultado de resistencia a compresión de bloques de mortero con diferentes fracciones de volumen.

v	Resistencia [kg/cm^2]			
	3 días	7 días	14 días	28 días
0	250.11	274.57	288.43	310.31
0.05	247.64	272.54	287.66	311.2
0.1	235.55	260.33	280.45	308.44
0.15	232.34	258.76	280.33	306.78
0.2	228.12	251.09	273.7	299.26

Figura 3. Resultado de los ensayos a compresión a los 28 días.

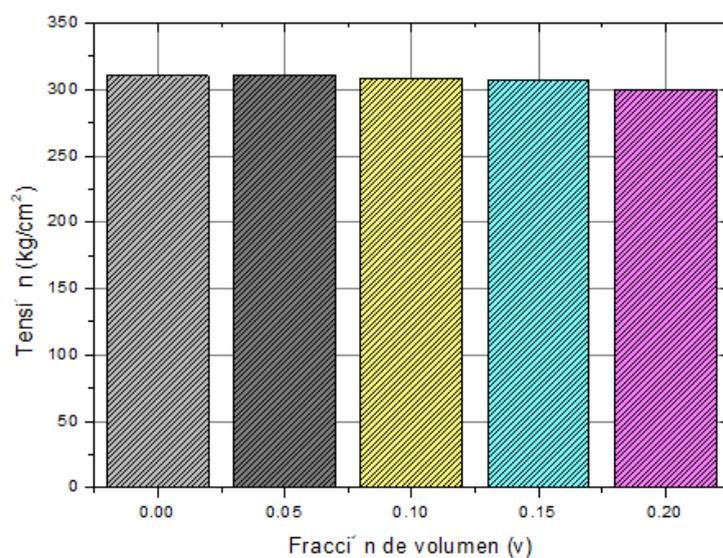
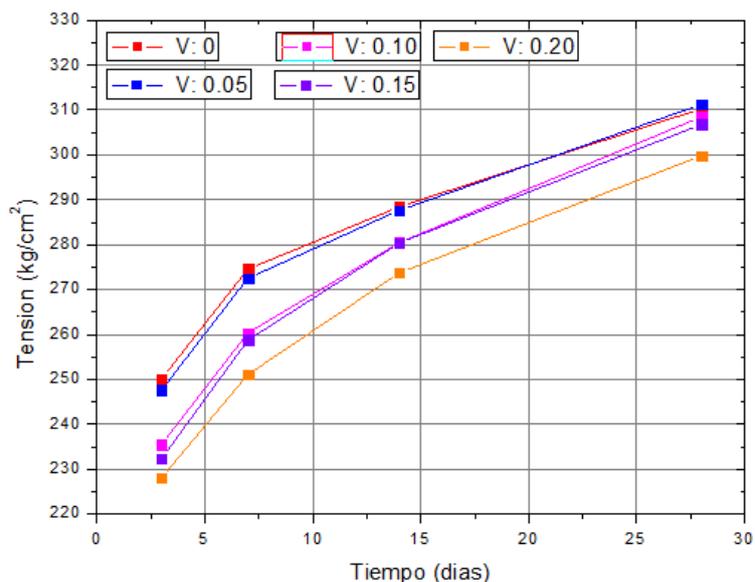


Figura 4. Comparación de resultados de los ensayos a compresión a los 3,7,14 y 28 días.



La figura 4 y las tablas 2,3,4 y 5 ilustra las diferencias existentes entre las muestras de mortero con diferentes fracciones de volumen en comparación con la muestra de mortero estándar en los días 3, 7, 14 y 28.

Tabla 2. Resistencia a compresión para muestras con fracción de volumen 0.05

ν	Resistencia [kg/cm ²]			
	3 días	7 días	14 días	28 días
0	250.11	274.57	288.43	310.31
0.05	247.64	272.54	287.66	311.2
Error	0.99%	0.74%	0.27%	0.29%

Tabla 3. Resistencia a compresión para muestras con fracción de volumen de 0.1.

ν	Resistencia [kg/cm ²]			
	3 días	7 días	14 días	28 días
0	250.11	274.57	288.43	310.31
0.1	235.55	260.33	280.45	308.44
Error	6%	5%	3%	1%

Tabla 4. Resistencia a compresión para muestras con fracción de volumen de 0.15.

ν	Resistencia [kg/cm ²]			
	3 días	7 días	14 días	28 días
0	250.11	274.57	288.43	310.31
0.15	232.34	258.76	280.33	306.78
Error	7%	6%	3%	1%

Tabla 5. Resistencia a compresión para muestras con fracción de volumen de 0.2.

v	Resistencia [kg/cm ²]			
	3 días	7 días	14 días	28 días
0	250.11	274.57	288.43	310.31
0.2	228.12	251.09	273.7	299.26
Error	9%	9%	5%	3.56%

Aplicando la ecuación (6) se determina la resistencia a compresión de las muestras de mortero mediante la ley de mezclas, donde la tensión del mortero y de las esferas de poliestireno son 310.31 kg/cm² y 190 kg/cm² (ANAPE, 2004) respectivamente, con áreas de superficie distintas para el mortero y las esferas de poliestireno según la fracción de volumen indicado en la ecuación 8 con la separación de las esferas de poliestireno en la superficie de las muestras de mortero.

Las áreas de la superficie de las muestras de mortero varían según la fracción de volumen de las esferas de poliestireno, tal que aplicando la ley de mezclas el área de la superficie queda dividido en dos partes, la primera corresponde a la matriz siendo este el mortero y la segunda corresponde a las esferas de poliestireno, siendo la fase discontinua, de esta manera según las fracciones de volumen 0,0.05,0.10,0.15 y 0.20 el área para cada fase es:

Tabla 6. Área del mortero y poliestireno para distintas fracciones de volumen.

v	Área de mortero (cm ²)	Área de poliestireno (cm ²)
0	30.25	---
0.05	29.60	0.65
0.1	28.92	1.33
0.15	28.11	2.14
0.2	27.14	3.11

Aplicando la ecuación 6 reemplazando con las tensiones y áreas del mortero y poliestireno, la resistencia según la ley de mezclas es la siguiente:

Tabla 7. Resultados de la resistencia a compresión de acuerdo a la ley de mezclas.

v	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
0	310.31
0.05	307.74
0.1	305.01
0.15	301.78
0.2	297.93

Comparando los resultados experimentales con los resultados de la ley de mezclas, es evidente la variación de resistencia a compresión según la fracción de volumen tabla 8.

Tabla 8. Comparación de resistencia a compresión experimental y mediante la ley de mezclas.

v	Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm ²)		Error
	Ley de Mezclas	Experimental	
0	310.31	310.31	
0.05	307.74	311.20	1.12%
0.1	305.01	308.44	1.12%
0.15	301.78	306.78	1.66%
0.2	297.93	299.26	0.44%

Los valores de resistencia a la compresión experimental y mediante la ley de mezclas presentan valores mínimos de error, inferiores al 5%.

CONCLUSIONES

Siendo la resistencia mecánica una de la principal característica de los materiales compuestos, se determinó dichas características aplicando las normas establecidas para el desarrollo de los ensayos de mortero y de forma conjunta se verifica dichos resultados aplicando la ley de mezclas para diferentes fracciones de volumen referentes a las esferas de poliestireno. Los resultados experimentales obtenidos indican una notable diferencia entre la fracción de volumen de 0.05 respecto a la muestra de mortero sin incorporación de esferas, cuyo valor es superior a la misma de 311.20 kg/cm² contra 310.31 kg/cm² de la muestra de mortero sin incorporación de esferas. Por otro lado, la fracción de volumen 0.1 muestra un valor próximo al mortero sin incorporación

de esferas demostrando de esta manera que el parámetro de las fracciones de volumen que proporciona una resistencia igual o superior al mortero patrón esta entre 0.05 a 0.1. El leve incremento de resistencia en los morteros con una fracción de volumen de 0.05 puede estar sujeto al concepto del modelo de Maxwell-Raileygh ya que argumenta que en un material compuestos, formado por una fase discontinua de forma esférica recibe las cargas de forma independiente sin perturbaciones dentro de la matriz, donde la separación mínima de esferas debe ser igual al diámetro de las mismas. Siendo la separación de esferas en la fracción de volumen de 0.05 de 1.18 cm de extremo a extremo, cumple el concepto del modelo de Maxwell-Raileygh por lo que da lugar a un leve incremento de resistencia en dicha fracción de volumen.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANAPE. (15 de enero de 2004). *Asociación nacional de poliestireno expandido*. Obtenido de <http://www.serina.es/escaparate/verpagina.cgi?idpagina=2947&refc>
- ASTM. (12 de Marzo de 2020). Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico (utilizando muestras cúbicas de 2 pulgadas o [50 mm]). *ASTM C109*.
- CADECOCRUZ. (2010). *Control de calidad del Cemento*. Santa Cruz.
- Castillo, A. (2009). *Tecnología del Concreto*. Lima: San Carlos.
- CEMEX. (2023). *Hormigón reciclado, una solución ecológica para la construcción*. México: CEMEX VENTURES.
- Correa, R. S. (1985). Dosificación de morteros. *Universidad Nacional Ingeniería e Investigación*, 17-23.
- Cure, L. (Julio de 2018). *360 en Concreto*. Obtenido de <https://360enconcreto.com/blog/detalle/cuidados-en-el-ensayo-de-cilindros-de-concreto/>
- Ercoli, N., Peralta, M., Ortega, N., La Malfa, S., & De Marco, L. (2007). Evaluación Del Comportamiento De Vigas De Hormigón Armado. *IV Conferencia Panamericana de END* (pág. 12). Buenos Aires: AAENDE.
- García Romero, A. M., & Monasterio Guisasola, N. (2018). *Introducción a la ciencia de los materiales y sus propiedades I*. País Vasco: OCW.



- Guzmán, D. S. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Colombia: Bhandar Editores.
- Hidalgo Guillén, N. (2022). Resistencia para el Retorno a las Clases Presenciales. *Sapiencia Revista Científica Y Académica* , 2(2), 92-109. Recuperado a partir de <https://revistasapiencia.org/index.php/Sapiencia/article/view/24>
- Jorba, J. G. (s.f.). *Por qué cilindros de 15 x 30 para obtener la resistencia a la compresión del hormigón?* Madrid: Comisión de Tecnología del C.O.A.T.
- Maxwell, J. C. (1873). *A treatise on Electricity and Magnetism*. Oxford: Clarendon Press.
- Morales Mendoza , C., & Gómez Hernández , A. (2022). La regulación de los datos personales en línea. *Estudios Y Perspectivas Revista Científica Y Académica* , 2(2), 01-22. <https://doi.org/10.61384/r.c.a.v2i2.12>
- Martínez Hernández , R. (2023). Blended Learning en el aprendizaje de idiomas: Una revisión de la literatura académica. *Estudios Y Perspectivas Revista Científica Y Académica* , 3(2), 113-138. <https://doi.org/10.61384/r.c.a.v3i2.36>
- Ramírez, A. E. (1996). *Aplicación de algunos modelos a la toma de decisiones*. México: UAM.
- Rocha, F. (2017). *Propiedades Fototérmicas en materiales compuestos con base a cemento*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Voigt. (1889). Ueber die Beziehung zwischen den beiden Elasticitätsconstanten isotroper Körper. *Ann. Phys.*, 573-587.
- Vargas Ríos, N. (2023). Reporte de Caso: Apendicitis Aguda Causada por un Apendicolito Gigante. *Revista Científica De Salud Y Desarrollo Humano*, 4(2), 135-142. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v4i2.30>

