



Vidrio molido reciclado como sustituto parcial del cemento en la elaboración de morteros

Recycled ground glass as a partial substitute for cement in the production of mortars

Vidro moído reciclado como substituto parcial do cimento na produção de argamassas

Karla Jaritza García-Arteaga ^I

kgarcia7192@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-2011-4825>

Jean Carlos Molina-Pico ^{II}

jmolina2005@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0002-7913-9234>

Wilter Enrique Ruiz-Párraga ^{III}

wilter.ruiz@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-0045-9781>

Correspondencia: wilter.ruiz@utm.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 30 de octubre de 2023 * **Aceptado:** 20 de noviembre de 2023 * **Publicado:** 01 de diciembre de 2023

- I. Universidad técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- II. Universidad técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- III. Magíster en Docencia e Investigación Educativa, Máster en Ingeniería Civil, Mención Tecnología de los Materiales de Construcción, Profesor Titular en la Universidad Técnica de Manabí, en la Carrera de Ingeniería Civil, Especialista en Materiales de Construcción, Portoviejo, Ecuador.

Resumen

En las últimas décadas una de las mayores problemáticas y preocupaciones a nivel mundial es el cuidado del medio ambiente. A medida que ha pasado los años, tanto los morteros como hormigones han sufrido una importante y rápida evolución, desarrollándose nuevas tecnologías. Añadiendo o sustituyendo los diversos materiales naturales, buscando mejorar sus propiedades y/o comportamiento estructural. En el presente estudio se analizó el comportamiento físico mecánico del mortero empleando vidrio reciclado finamente molido como sustituto parcial del cemento, enfocando al análisis y la determinación de porcentajes idóneos, preparando muestras con arena de banco y arena homogenizada provenientes de una de las canteras de la ciudad de Portoviejo. Se realizó el estudio comparativo donde se muestran los resultados provenientes de los ensayos, haciendo los análisis entre el mortero con la incorporación de vidrio molido y el mortero convencional. Este estudio permitió conocer la resistencia a la compresión de los morteros, sustituyéndolo en porcentajes del 5%,10%,15% en sustitución parcial del cemento por el vidrio triturado. Los resultados de resistencia a la compresión en el material objeto de estudio mostró valores por encima de la resistencia mínima esperada de 17.2 MPa a los 28 días de curado.

Palabras Clave: Cemento; Reciclaje; Vidrio molido; Resistencia a la compresión; Morteros de albañilería.

Abstract

In recent decades, one of the biggest problems and concerns worldwide is caring for the environment. As the years have passed, both mortars and concrete have undergone an important and rapid evolution, developing new technologies. Adding or substituting various natural materials, seeking to improve their properties and/or structural behavior. In the present study, the physical mechanical behavior of the mortar was analyzed using finely ground recycled glass as a partial substitute for cement, focusing on the analysis and determination of suitable percentages, preparing samples with bench sand and homogenized sand from one of the quarries of the city of Portoviejo. The comparative study was carried out showing the results from the tests, making the analyzes between the mortar with the incorporation of ground glass and the conventional mortar. This study allowed us to know the compressive strength of the mortars, substituting it in percentages of 5%, 10%, 15% in partial replacement of cement with crushed glass. The results of compressive strength

in the material under study showed values above the minimum expected resistance of 17.2 MPa after 28 days of curing.

Keywords: Cement; Recycling; Ground glass; Compression resistance; Masonry mortars.

Resumo

Nas últimas décadas, um dos maiores problemas e preocupações em todo o mundo é o cuidado com o meio ambiente. Com o passar dos anos, tanto as argamassas como o concreto passaram por uma importante e rápida evolução, desenvolvendo novas tecnologias. Adição ou substituição de diversos materiais naturais, procurando melhorar as suas propriedades e/ou comportamento estrutural. No presente estudo foi analisado o comportamento físico-mecânico da argamassa utilizando vidro reciclado finamente moído como substituto parcial do cimento, com foco na análise e determinação de porcentagens adequadas, preparando amostras com areia de bancada e areia homogeneizada de uma das pedreiras de a cidade de Portoviejo. O estudo comparativo foi realizado mostrando os resultados dos ensaios, fazendo as análises entre a argamassa com incorporação de vidro moído e a argamassa convencional. Este estudo permitiu conhecer a resistência à compressão das argamassas, substituindo-a em porcentagens de 5%, 10%, 15% na substituição parcial do cimento por vidro triturado. Os resultados de resistência à compressão no material em estudo apresentaram valores acima da resistência mínima esperada de 17,2 MPa após 28 dias de cura..

Palavras-chave: Cimento; Reciclando; Vidro fosco; Resistência à compressão; Argamassas de alvenaria.

Introducción

En el sector de la construcción es evidente el incremento en investigaciones que permitan mejorar el rendimiento y durabilidad de las estructuras, lo cual hace fundamental la búsqueda de nuevos materiales y mecanismos que aumenten el desempeño de las propiedades de los morteros. (Hernández; R. 2021).

En las últimas décadas una de las mayores problemáticas y preocupaciones a nivel mundial es el cuidado del medio ambiente. (Sarmiento Á, 2021). Así lo indican las últimas estadísticas proporcionadas por Index Mundi en su informe Cemento hidráulico: producción mundial por país.

En este informe la producción de cemento fue de 2,31 mil millones de toneladas, siendo China el país con mayor producción de cemento del mundo.

A medida que han pasado los años, tanto los morteros como hormigones han sufrido una importante y rápida evolución, desarrollándose nuevas tecnologías. (García & López, 2018). Agregando o reemplazando materiales tradicionales con una variedad de materiales del medio natural que intenten mejorar sus propiedades y comportamiento estructural. (Hernández; R. 2021). donde su explotación resulte favorable para el medio ambiente. (García & López, 2018).

Las botellas de vidrio son un material renovable que pueden ser empleados en procesos de construcción permitiendo de esa manera reducir la contaminación. (Sarmiento y Áncu, 2021). Con la implementación de materiales reciclables tales como este, se reduce parte de la generación de CO₂ y explotación minera necesarias para la producción de cemento, además de mejorar la gestión de los residuos y reutilizarlos para evitar su almacenamiento en vertederos (Lam; Poon. 2007).

En la universidad Central del Ecuador, en estudio realizado por Almeida, et al. (2017), se realizó una investigación basada en el uso significativo del vidrio molido, donde se comprobó que la resistencia incrementa a medida que aumenta la edad específica del hormigón, con la adición de vidrio, debido a que este material sigue el fenómeno físico de endurecimiento y con el tiempo, la adherencia aumenta debido a la liberación de agua que no es absorbida por el vidrio.

La Universidad Técnica de Manabí estudió la resistencia a la compresión del hormigón utilizando vidrio finamente molido, reemplazando parte del cemento en proporciones de 5%, 10% y 15%. Se concluyó que la resistencia a la compresión mostró valores de resistencia superiores al promedio y aumentó con la edad debido a la adhesión de este material a la mezcla de hormigón. (Alvarado et al. 2019).

En 2016, Rodríguez y Ruíz, analizaron cómo afecta la resistencia del hormigón, la reducción del contenido de cemento y su reemplazo parcial por vidrio molido donde se elaboraron pastones de hormigón según la norma IRAM 1534 (Argentina) donde se utilizó vidrio molido pasante el tamiz #200 en proporciones de 0% (control) y 20% los cuales en estado endurecido se realizaron ensayos de resistencia a la compresión a edades de 7, 28, 56, 120 y 270 días. Concluyendo que el aumento total en la resistencia (medido entre la prueba de 270 días y la prueba de 7 días) es del 279% para el concreto de vidrio y del 106% para el concreto estampado.

Se define como mortero a la combinación formada por materiales cementosos, áridos y aditivos mezclados con una cantidad adecuada de agua para producir una sustancia plástica. (Valbuena et

al. 2016). El mortero puede tener una función estructural, y pueden aplicarse en la construcción de elementos estructurales o en mampostería estructural, donde el mortero puede ser de pega o de relleno en las celdas de los muros. La norma ASTM C 270 clasifica los morteros según su resistencia a los 28 días en M, S, N y O. Los morteros Tipo M descritos en la norma ASTM C 270 deben desarrollar una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de 17,2 MPa. El tipo S de 12.4 MPa. El tipo N de 5.2 MPa y el tipo O de 2.4, concretamente esta investigación uso el tipo M (mortero de pega).

Metodología

En la presente investigación se utilizó el cemento portland tipo GU como material aglomerante, los agregados finos, procedente de una de las canteras de la ciudad de Portoviejo, vidrio reciclado de sílice, cal y sosa. (botellas de vidrio transparentes), previamente tratado y finamente molido con un diámetro de 75 μ , el uso de agua potable como agua de mezcla de los morteros, ya que estas cumplen con las especificaciones indicadas en la norma técnica ecuatoriana.

Materiales

Cemento:

El cemento portland es el material empleado en la elaboración de morteros y hormigón está constituido por 60% de caliza y 40% de arcilla los cuales se mezclan y llevados a hornos con temperatura elevadas en donde son pulverizados para formar el denominado Clinker. (Almeida, et al. 2017)

En la norma NTE INEN 151, 2010 se denomina al cemento portland como cemento hidráulico producido por la pulverización de Clinker, formado esencialmente de silicato y que usualmente contiene uno o más de los siguientes elementos: Agua, sulfato de calcio, hasta 5% de caliza y aditivos de proceso. Para este trabajo se utilizó cemento portland tipo GU con un peso específico de 3150 kg/cm³.

Agua:

El agua utilizada para el mezclado del mortero fue agua potable de la ciudad de Portoviejo y cumple con la norma ecuatoriana NTE INEN 2617:2012, que permite el uso de agua potable como agua para el mezclado del hormigón sin necesidad de realizar ensayos ya que cumple con las especificaciones del mismo.

Agregado fino:

El agregado fino consiste en arena natural proveniente de canteras aluviales o de arena producida artificialmente. Es constituida por fragmentos de rocas limpias, duras, compactas y durables. La idoneidad del material mineral como material de construcción depende tanto de las propiedades de las partículas como elementos individuales como de las propiedades de las partículas en su conjunto. La fracción de material mineral que pasa por el tamiz de 4 mm y permanece en el tamiz de 0,063 mm. (García. et al, 2009).

Vidrio:

Definido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), como sustancia líquida subenfriada, sobre fundida, amorfa, dura, frágil, donde los silicatos sólidos y de cal son su complejo químico (NEC-HS-Vidrio, 2014). Sus principales componentes son: óxido de silicio (SiO₂ 71-73%), óxido de sodio (Na₂O 12-14%) y óxido de calcio (CaO 10-12%). Se utiliza principalmente para la elaboración de envases (botellas, ollas, vasos). (Ruiz M, 2016).

Se caracteriza por ser un material duro, frágil, transparente y resistente a la corrosión, el desgaste y la compresión "En términos de resistencia mecánica, su resistencia a la tracción suele oscilar entre 3.000 y 5.500 N/cm², pero si el vidrio recibe un tratamiento especial, la resistencia a la tracción puede superar los 70.000 N/cm²". (catalán, 2013).

Intervalos de composición del vidrio común:

Tabla 1. Fuente. Rodríguez Cuartas. Coeficiente para el cálculo de propiedades de vidrio (1984).

intervalos de composición frecuente en los vidrios comunes		
componentes	Desde....%	Hasta....%
SiO ₂	68.0	74.0
AL ₂ O ₃	0.0	4.0
Fe ₂ O ₃	0.0	0.5
CaO	9.0	14.0
MgO	0.0	4.0
Na ₂ O	10.0	16.0

K ₂ O	0.0	4.0
SO ₃	0.0	0.3

Composición de los vidrios de silicato sódicos:

Tabla 2. Fuente. Rodríguez Cuartas. *Coeficiente para el cálculo de propiedades de vidrio (1984)*.

Composición "tipo" de vidrio de silicato sódico

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
73.20	1.51	0.10	10.62	0.03	13.22	1.12	0.20

Métodos

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, se realizó el estudio comparativo donde se presentan los resultados obtenidos de los ensayos, haciendo los análisis correspondientes del mortero incorporándose al vidrio finamente molido de 75 μ y el mortero convencional. Este estudio permitió conocer la resistencia mecánica a la compresión de los morteros, sustituyéndolo en porcentajes del 5%,10%,15% en sustitución parcial del cemento.

Los siguientes ensayos realizados del agregado fino corresponden a la arena de banco

- **ÁRIDOS. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso;** NTE INEN 696:2011 donde se obtuvieron los siguientes datos de esta prueba: el módulo de finura fue 0,58 y el valor de la prueba estuvo dentro del rango especificado de la norma.
- **ÁRIDOS. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino;** NTE INEN 856:2010, de este ensayo se obtuvo lo siguiente gravedad específica de masa de 2,60 gr; gravedad específica SSS de 2,64 gr; gravedad específica aparente de 2.71 gr; y porcentaje de absorción de 1.50%. los valores de estos ensayos cumplen según lo establecido en la norma.
- **ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. Determinación del contenido de humedad;** NTE INEN 862:2011 obtenido por esta prueba, contenido de humedad de 11.56%
- **ÁRIDOS. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.** NTE INEN 858:2010 de estos ensayos se obtuvieron los siguientes datos: peso

unitario suelto de 1,28 kg/m³; peso unitario compactado de 1,45 kg/m³, contemplados en la norma.

Los siguientes ensayos realizados del agregado fino corresponden a la arena homogenizada

- **ÁRIDOS. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso;** NTE INEN 696:2011 de este ensayo se obtuvo lo siguiente: módulo de finura de 2.85. el valor de este ensayo cumple con el rango establecido en la norma.
- **ÁRIDOS. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino;** NTE INEN 856:2010, En este ensayo se obtuvieron los siguientes datos: densidad 2,36 g; densidad SSS 2,51 gr; densidad aparente 2,78 gr; tasa de absorción 6,43%. Los valores de estas pruebas corresponden a los valores especificados en la norma.
- **ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. Determinación del contenido de humedad;** NTE INEN 862:2011 en este ensayo se obtuvo, contenido de humedad de 17.11%
- **ÁRIDOS. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.** NTE INEN 858:2010 De estos ensayos se obtuvieron los siguientes datos: El peso de la unidad libre es 1,21 kg/m³; el peso de la unidad comprimida definido en la norma es de 1,48 kg/m³.

Para la obtención del vidrio molido en la presente investigación, se le dio un tratamiento de limpieza a las botellas para el proceso de trituración, con la ayuda de un proctor y un compactador se procedió el triturado de las botellas, pasándolo por los tamices 30, 60, 100 y el Tamiz #200 para obtener la finura pasante (75 μ) todo el proceso de tamizado fue realizado sin la incorporación de agua.

Resultados y discusión

Para conocer las propiedades físicas mecánicas del mortero, utilizando vidrio molido para reemplazar parcialmente al cemento. Comprobando su resistencia a la compresión, la cantidad de reemplazo es del 5%, 10%, 15% del peso del cemento, normas de diseño de mortero, NTE INEN 2518; 2010; NTE INEN 488; 2009. Cálculos de dosis determinados según normas técnicas ecuatorianas. La resistencia característica propuesta en este estudio es de 17,2 MPa, que corresponde a la resistencia mínima del mortero tipo M, descrito en la norma ASTM C 270, a

continuación, se detallan las tablas con los valores en gr para los materiales que se emplearon en la elaboración del mortero.

Tabla 3. Fuente: Los autores. Dosificación de mortero con arena de Banco.

MATERIAL (gr)	Porcentajes a sustituir (a/c= 0,48)			
	0%	5%	10%	15%
ARENA	1430,23	1430,23	1430,23	1430,23
CEMENTO	821,76	780,67	739,58	698,99
AGUA	369,79	369,79	369,79	369,79
VIDRIO	-	41,09	82,18	123,26

Tabla 4. Fuente: Los autores. Dosificación de mortero con arena homogenizada.

MATERIAL (gr)	Porcentajes a sustituir (a/c= 0,48)			
	0%	5%	10%	15%
ARENA	1344,1	1344,1	1344,1	1344,1
CEMENTO	787,07	747,72	708,27	669,01
AGUA	354,18	354,18	354,18	354,18
VIDRIO	-	39,35	78,71	118,06

Las mezclas obtenidas de la tabla 3 y de la tabla 4, fueron elaboradas de forma manual descrita en la norma NTE IENEN 488; 2009. se utilizaron moldes de 50 mm de cada lado, llenando 2 capas de mortero, cada una aproximadamente la mitad del molde 25 mm, apasionando el mortero en cada compartimento cúbico 32 veces en alrededor de 10 segundos, en 4 rondas, en cada ronda se compacto con 8 golpes, en dirección perpendicular a la anterior.

Una vez completada la primera capa de compactación de todos los espacios cúbicos, el resto se relleno y se compacto como se especifica para la primera capa. Finalmente, la superficie del

mortero de todos los cubos debe sobresalir ligeramente del borde del molde. Se uso una llana para quitar la lechada derramada y nivelar el cubo usando el lado plano de la llana.

Posteriormente se dejó fraguar las mezclas por un periodo de 24 horas, transcurrido este tiempo se desencofró y se los ubicó cuidadosamente en una piscina de almacenamiento de curado el cual contiene agua potable. Los cubos de mortero permanecieron en la piscina de curado un período máximo de 28 días como lo establece la norma NTE INEN 2528,2010.

Para esta investigación se realizaron roturas de cubos a los 7,14, 28 días. se tomó en consideración este tiempo máximo porque se cumple el principio físico de endurecimiento y adherencia de la mezcla de cemento conforme avanza la edad de las probetas.

Tabla 5. Fuente: Los autores. Resistencia a la compresión con arena de banco.

Resistencia a la compresión en (MPa)				
días	0%	5%	10%	15%
7	14.28	13.50	13.89	13.36
14	23.28	22.94	19.16	17.11
28	27.53	25.27	22.20	22.00

Gráfico 1:

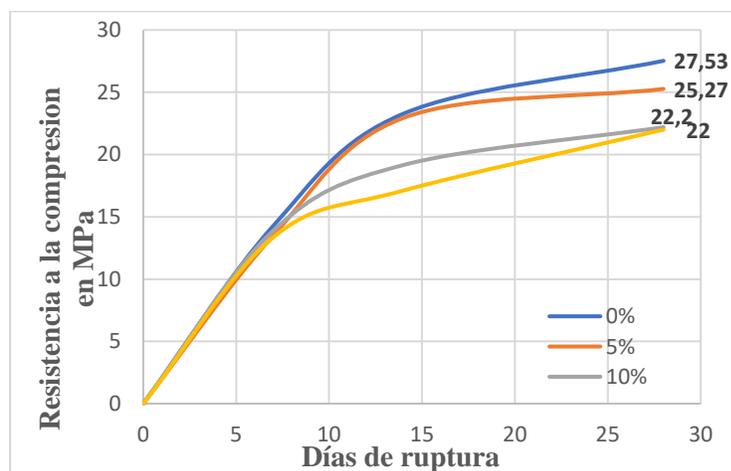


Ilustración 1. Fuente: Los autores. Curva de resistencia a la compresión del mortero vs. Edad del mortero

En la figura 1, como puede verse en la arena de banco, las 3 alternativas de polvo de vidrio lograron una resistencia significativamente mayor que la resistencia mínima determinada en la prueba de compresión de 28 días. Obteniendo el 0% o patrón una resistencia del 160%, el 5% de sustitución una resistencia del 146%, el 10% de sustitución una resistencia del 129% y el 15% de sustitución una resistencia del 127%, todas las sustituciones se mostraron por encima de resistencia establecida en la norma ASTM C 270.

Tabla 6. Fuente: Los autores. Resistencia a la compresión con arena homogenizada

Resistencia a la compresión en (MPa)				
días	0%	5%	10%	15%
7	14.18	14.37	14.13	13.26
14	20.51	19.29	17.7	16.17
28	22.98	22.77	22.48	20.89

Gráfico 2:

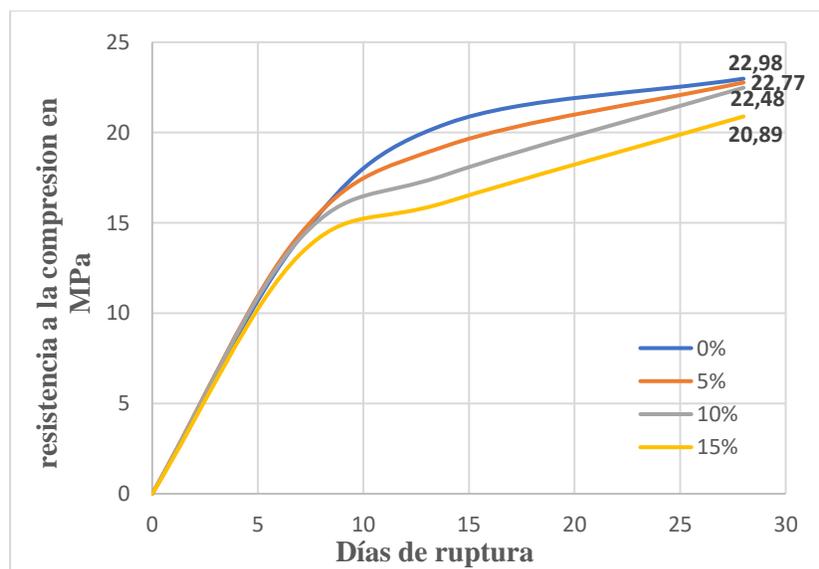


Ilustración 2. Fuente: Los autores. Curva de resistencia a la compresión del mortero vs. Edad del mortero.

En la figura 2, la arena homogenizada se observa que la sustitución del 5, 10 y 15% presenta diferencias significativas en comparación con la resistencia mínima establecida a la compresión a los 28 días, ya que estos obtuvieron unas resistencias del 133% para el patrón, un 132 % para el 5% de sustitución, 130% en la sustitución del 10% y una resistencia a compresión del 121% para el 15% de sustitución, mostrándose estas resistencias por encima a la mínima establecida por la norma ASTM C 270.

El análisis comparativo de la resistencia de diseño de 17,2 MPa arrojó los siguientes resultados: los morteros con un 160% de arena de banco y 133% de arena homogénea excedieron la resistencia mínima de los morteros tipo M para

Conclusiones

- La resistencia obtenida después de 28 días para los morteros de arena de banco fue significativamente superior a la resistencia mínima especificada en la norma ASTM C 270, donde se destaca que ninguna de las réplicas con adición de vidrio molido en este estudio superó la resistencia del modelo.
- Los morteros de arena homogenizada con reemplazo del 5%, 10% y 15% del vidrio triturado mantiene resistencia parecidas al modelo después de 28 días de curado sin reducciones significativas.
- Entre los valores obtenidos de la arena de banco y la arena homogenizada se denota que la arena de banco se comportó mejor para la utilización de morteros ya que está tiene una absorción más baja, lo cual demanda menos agua y mejora su resistencia a la compresión.
- Tanto la arena de banco y la homogenizada empleada durante la investigación y procedente de las canteras de la localidad de Portoviejo cumplen con los parámetros requeridos de las normas.
- El impacto ambiental de estos residuos se puede disminuir, reduciendo la cantidad de cemento y aumentando la cantidad de vidrio finamente molido.

Referencias

Almeida Beltrán, J. B., & Trujillo Vivas, C. R. (2017). Principios básicos de la construcción sostenible utilizando vidrio triturado en la elaboración de hormigones (Bachelor's thesis,

Quito: UCE). Quito: Universidad Central del Ecuador.
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/9820>

Alvarado Mera, S. M. A., Soledispa, A. G. V., Párraga, W. E. R., Hernández, E. H. O., & Castro, C. M. J. (2019). Estudio de la resistencia a compresión del hormigón utilizando el vidrio finamente molido en reemplazo parcial del cemento. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT* ISSN: 2588-0721, 4(2), 1-7.

American Society for Testing and Materials (ASTM). (2007). C 270-07: Standard Specification for Mortar for Unit Masonry. Pennsylvania: ASTM International.

Catalán, C. (2013). Estudio de la influencia del vidrio molido en hormigones grado H15, H20, Y H30. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

García del Toro, EM & Más López, MI (2018). Estudio de nuevas formaciones de CSH en morteros conglomerantes fabricados con polvo de vidrio. *Ingeniería e Investigación*, 38 (3), 24-32. doi: <https://dx.doi.org/10.15446/ing.investig.v38n3.67270>

Lam, C. y Poon, C. (2007): Enhancing the performance of pre-cast concrete blocks by incorporating waste glass—ASR consideration. *Cement & Concrete Composites*, 29(8): 616–625. ISSN: 0958-9465.

NTE INEN 151. (2010). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana; cemento hidráulico. Definición de términos.

NTE INEN 2617. (2012). Instituto Ecuatoriano de Normalización. Norma Técnica Ecuatoriana. Agua para mezcla.

NTE INEN 696. (2011). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.

NTE INEN 856. (2010). Instituto Ecuatoriano de Normalización. Norma Técnica Ecuatoriana. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.

NTE INEN 858. (2010). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.

NTE INEN 862. (2011). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad.

- NTE INEN 2528. (2010). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. En Cámaras de curado, gabinetes húmedos, tanques para almacenamiento en agua y cuartos para elaborar mezclas, utilizados en ensayos de cemento hidráulico y hormigón.
- NTE INEN 448. (2010). Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. Cemento Hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50mm de arista.
- NEC-HS-Vidrio, (2014). Norma Ecuatoriana de la Construcción. Vidrio.
- Rodríguez, M. y Ruíz, M. (2016). Evaluación del desempeño de un hormigón con incorporación de vidrio reciclado finamente molido en reemplazo de cemento mediante ensayos de laboratorio. Revista Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 3(2): 53–60. ISSN: 2362–2539.
- Sarmiento Martel, O., & Anco Avila, G (2021). Influencia del vidrio molido reciclado como agregado fino para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto. Universidad Ricardo Palma. Lima. Perú.
https://www.google.com/url?q=https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20500.14138/4719/T030_75615896_T%2520%2520%2520ANCO%2520AVIA%2520GERSON.pdf%3Fsequence%3D1&sa=U&ved=2ahUKEwiysKfqlqj5AhUshr4QIHfsxASAQFnoEAcQAg&usg=AOvVaw1NZXKXSf7wDr8yleFUDQwj
- Valbuena Porras Sergio; Mena Serna Milton; García Ubaque Cesar;(2016). Evaluación de la resistencia a la compresión en morteros de pega de acuerdo con la dosificación establecida por el código Sismo Resistente Colombiano. Estudio de caso Tecnura, vol. 20, núm. 48, pp. 115-122.

© 2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).