

COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN H-21 CONVENCIONAL Y HORMIGÓN ELABORADO CON POLVO DE VIDRIO

COMPARISON OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE H-21 CONVENTIONAL AND CONCRETE MADE WITH GLASS POWDER

ROLLANO CUELLAR, J. E., GUZMÁN VÁSQUEZ, T. M.

RESUMEN

La comparación, analizando principalmente la diferencia que hay en la resistencia a compresión, entre un hormigón elaborado de manera convencional y uno al que se le añade polvo de vidrio sustituyéndolo por algún porcentaje de cemento, con el fin de determinar si es una alternativa viable. Para llevar a cabo el objetivo, se deben realizar pruebas de laboratorio a los materiales que componen el hormigón con el fin de conocer las propiedades necesarias para el cálculo de la dosificación, una vez que se haya calculado la dosificación se elaborarán pastones de prueba que serán sometidos a ensayos de resistencia a compresión. La importancia radica que a nivel mundial el sector de la construcción es uno de los que causa mayor contaminación al medio ambiente, solo la industria del cemento representa el 7% de emisiones de dióxido de carbono. Además de que en Bolivia el vidrio se desecha en lugares abiertos o se envían a vertederos donde se acumulan por la falta de usos, que al no ser un material biodegradable representa un riesgo para el medio ambiente.

PALABRAS CLAVE

Propiedades mecánicas,
Resistencia a compresión,
Hormigón H-21 convencional,
Hormigón elaborado con polvo de vidrio.

ABSTRACT

The comparison, mainly analyzing the difference in compressive strength, between a conventionally prepared concrete and one to which glass powder is added, substituting it for some percentage of cement. In order to determine if it is a viable alternative. To carry out the objective, laboratory tests must be carried out on the materials that make up the concrete in order to identify the properties necessary for the calculation of the dosage. Once the dosage has been calculated, test batches will be prepared that will be subjected to compression resistance tests. The importance lies in the fact that worldwide the construction sector is one of those that causes the greatest pollution to the environment, only the cement industry represents 7% of carbon dioxide emissions. In addition to the fact that in Bolivia, glass is discarded in open places or sent to landfills where it accumulates due to lack of uses, which, since it is not a biodegradable material, represents a risk to the environment.

KEYWORDS

Mechanical properties,
Compressive strength,
Conventional H-21 concrete,
Concrete made with glass powder.

INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción tiene un gran impacto ambiental por lo que, en 1993, se crea Green Building Council con la misión de promover prácticas centradas en la sostenibilidad en la industria de la construcción. Es en esta década que empiezan a llevarse a cabo numerosas investigaciones para reducir dicho impacto.

En la década de 1990, se llevó a cabo un estudio que comparó la resistencia del hormigón convencional con el hormigón con polvo de vidrio molido y desgastado. Los resultados mostraron que el hormigón con polvo de vidrio desgastado tenía una resistencia a la compresión ligeramente mayor que el hormigón convencional.

Posteriormente los investigadores descubrieron que, al agregar polvo de vidrio al hormigón, además de mejorar la resistencia a la compresión, el hormigón con polvo de vidrio mostró una mayor resistencia al ataque químico, la abrasión y la carbonatación.

Un estudio de 2011 evaluó la resistencia a la compresión del hormigón con diferentes concentraciones de polvo de vidrio reciclado. Los investigadores descubrieron que, al agregar concentraciones de polvo de vidrio reciclado del 10 al 30%, se mejoraba significativamente la resistencia a la compresión del hormigón, siendo el tamaño de partícula óptimo entre 75 a 150 micrómetros (Shao y otros)

A lo largo de las últimas décadas se han realizado numerosos estudios para evaluar la resistencia del hormigón convencional y el hormigón con polvo de vidrio. Los resultados han demostrado que el uso de polvo de vidrio puede mejorar significativamente la resistencia a la compresión del hormigón, así como otras propiedades importantes como la resistencia al desgaste y la durabilidad.

Estos estudios proporcionan una base sólida para la investigación y comparación de la resistencia del hormigón H-21 convencional y el hormigón con polvo de vidrio.

Actualmente en Bolivia más de 1.500 familias se dedican a la recolección de residuos sólidos. Buscan comercializar 50 toneladas de vidrio hacia la empresa Envases Envibol (El Deber, 2021)

DESARROLLO

Para cada ensayo se tomaron como referencia las especificaciones establecidas en la norma A.S.T.M. y el manual de ensayos de materiales de hormigón de la A.B.C.

Los agregados se extrajeron de lugares almacenados, habiéndose considerado para la arena el método de extracción para muestras de obra, el vidrio molido y agregado grueso fueron sometidos a lavado y/o trituration por lo que se trató como muestra de producción, ASTM C-75.

El cuarteo de las muestras se realizó con un cuarteador mecánico siguiendo la norma ASTM C-702.

Método para tamizar y determinar la granulometría

El tamizado se realizó de manera manual, para ello la norma recomienda dar palmadas a un ritmo de 150 golpes por minuto, girando cada 25 golpes un sexto de vuelta. Se deben completar mínimo dos ciclos. Una vez culminado el tamizado se procedió a registrar el peso de los agregados retenidos en cada tamiz, ASTM C-136.

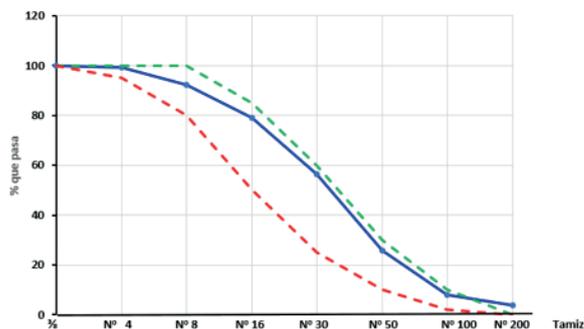


Figura 1. Granulometría Agregado Fino

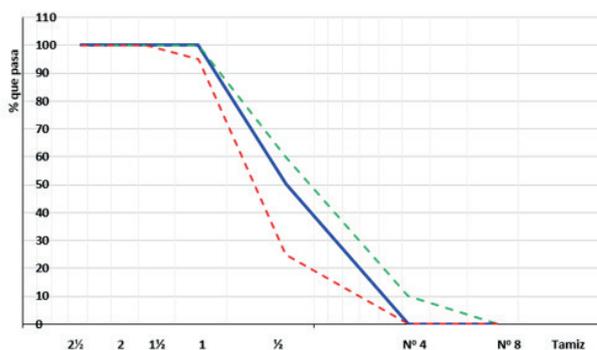


Figura 2. Granulometría Agregado Fino

Para la determinación del porcentaje de humedad por secado, ASTM C-29, la muestra se secó en un horno a 110 ± 5 °C por un periodo de 24 horas. Se registró el peso de la muestra antes y después de introducir al horno evitando pérdidas por demoras.

El peso de la muestra para el ensayo se determinó en función del tamaño de partícula. Para este caso, el peso requerido para el agregado grueso fue de 3000 gr y 500 gr para la arena.

La determinación de la densidad aparente compactada fue de $1,60 \text{ g/cm}^3$ para la grava y $1,75 \text{ g/cm}^3$ para la arena, mientras que la determinación de la densidad aparente suelta de la grava fue de $1,48 \text{ g/cm}^3$ y el peso del agregado fino de $1,48 \text{ g/cm}^3$.

Se determinó la densidad real en agregados gruesos, según ASTM C-29, los resultados fueron: porcentaje de absorción de 0,52%; densidad real neta de $2,22 \text{ kg/m}^3$. Para el agregado fino se siguió la norma ASTM C-29.

El desgaste de los Ángeles se realizó de acuerdo con la norma ASTM C-127. Este ensayo determina el porcentaje de pérdida por abrasión que determina la calidad y durabilidad del material. La pérdida de masa de la muestra fue de 34 %, por lo tanto se considera apta para el uso en elementos estructurales.

Método para determinación el porcentaje que pasa por el tamiz 200.

Este ensayo se realizó con la finalidad de determinar la calidad del cemento. Se llevó a cabo en laboratorio secando el material en un horno a una temperatura de 110 ± 5 °C y extrayendo, por cuarteo, una muestra de 50 gramos para ser tamizada por el tamiz número 200. Finalmente se registró el peso retenido en dicho tamiz y se calculó el porcentaje de muestra retenido.

El porcentaje de finura del cemento fue del 4,05 %, por lo tanto, se considera al cemento un material apto para elaboración de

hormigón por encontrarse dentro de los parámetros establecidos por la norma ASTM.

Medida de la consistencia del cemento con el aparato de Vicat.

Se midió la consistencia del cemento para una penetración de 10 ± 1 mm, 30 segundos después de haber iniciado según indica la norma, ASTM C-187. El porcentaje óptimo de agua encontrado para que el cemento alcance una consistencia óptima es de 48 %.

Peso específico del cemento Hidráulico determinado por triplicado, según ASTM C-188, fue $3,19 \text{ g/cm}^3$.

La composición química de los envases de vidrio cumple con las especificaciones de la norma A.S.T.M. para cementos puzolánicos.

Siguiendo las indicaciones de tamizado en la norma A.S.T.M. C-33 y los tamices especificados para cemento puzolánico se obtuvo la siguiente curva granulométrica:

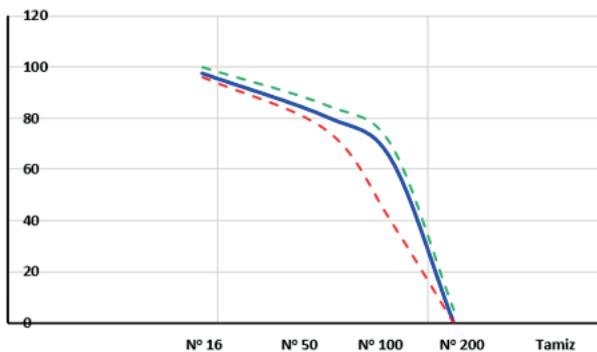


Figura 3. Granulometría vidrio

La determinación del índice de actividad puzolánica con cemento se llevó a cabo aplicando lo estipulado en el acápite 26 de la norma “Métodos de prueba estándar para muestreo y prueba de cenizas volantes o puzolanas naturales para uso en concreto de cemento Portland” con el fin de determinar el comportamiento que presenta el espécimen al reemplazar parcialmente cemento por polvo de residuo cerámico. Se dosificaron los especímenes según la norma para seis cubos. La dosificación se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Mezcla Morteros de Cemento

| Componente | Mezcla de Prueba | Mezcla Patrón |
|---------------------|------------------|---------------|
| Cemento Portland, g | 400 | 500 |
| Polvo de vidrio, g | 100 | -- |
| Arena graduada, g | 1375 | 1375 |
| Agua, ml | 242 | 242 |

Se dosificaron 2750 gr de arena, en total para las dos mezclas, para cumplir con los límites establecidos en la norma “Método Normalizado de Ensayo de Resistencia a Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico (Utilizando Especímenes Cúbicos de 2 pulgadas. o 50mm.)”.

Posteriormente se procedió a incorporar los materiales previamente pesados.

Comenzando con la arena y el cemento, una vez homogenizados, se agrega el agua. La mezcla resultante se coloca dentro de los moldes en dos capas, la cuales se compactan y se dejan reposar por alrededor de 24 horas. Finalmente se desmolda y se curan los cubos.

Los resultados del ensayo de resistencia en los cubos de mortero de 50 mm de lado y sección de 2500 mm^2 , con un peso promedio de 279,75 g para los cubos con polvo de vidrio y de

275.58 g para el cubo patrón. La resistencia promedio para las muestras prueba fue de $43,4425 \text{ kg/cm}^2$ y para el patrón fue de 37.5375 kg/cm^2 .

A partir de estos resultados se calculó el índice de actividad puzolánica que fue de 116 %. Como el índice excede el 75%, se concluyó que el polvo de vidrio es un elemento puzolánico.

Cálculo de la Dosificación del Hormigón Patrón y con Polvo de vidrio

Resistencia de diseño: Para un hormigón con una resistencia inicial especificada de 21 MPa se obtiene un $F'_{cr}=29.3 \text{ MPa}$.

Selección del asentamiento: Se usó un asentamiento de 3 pulgadas o 7,5 cm.

Elección del tamaño máximo del agregado: Se determinó un tamaño máximo nominal de 19 mm.

Cálculo del agua de mezclado y contenido de aire: Con los datos obtenidos anteriormente se pudo estimar que el contenido de agua fue de 200 kilogramos y el aire atrapado en 2%

Selección de la relación agua cemento (a/c): Se calculó mediante el ensayo de consistencia normal del cemento, obteniéndose un porcentaje de 48%

Cálculo de contenido de cemento: Una vez conocida la masa de agua y la relación agua/cemento (a/c) de los resultados anteriores se determinó una masa de cemento de 378.705 kg
 Estimación del contenido de agregado grueso: Se calculó mediante tabla. El peso del agregado grueso de la muestra fue de 1173,097 kg.

Estimación del contenido de agregado Fino por metro cúbico de hormigón: Se utilizaron los de métodos de a) Método de los pesos: 594 kg y b) Método de los volúmenes absolutos: 703 kg.
 Ajustes por humedad de agregado: Se corrigió el peso de los agregados y la cantidad de agua en la mezcla debido al porcentaje de absorción y porcentaje de humedad de cada material. Los resultados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Resumen de Dosificación Corregida

| Materiales | Método de los Volúmenes Absolutos (Kg/m^3) | Relación Cemento |
|-----------------|---|------------------|
| Cemento | 388,0 | 1 |
| Agregado Fino | 707,5 | 1,82 |
| Agregado Grueso | 1179,5 | 3,02 |
| Agua | 188,0 | 0,4 |

Ajustes de la mezcla con pastones de prueba: A continuación, se presenta el resumen de los resultados de las dosificaciones finales, con diferentes porcentajes de vidrio molido como reemplazo de cemento, con las cuales serán sometidos a pruebas de compresión que, posteriormente, servirán como datos para calcular una dosificación más exacta. Ver tabla 3.

Tabla 3. Dosificación para la elaboración pastones de prueba en kg por m^3 de mezcla

| | Patrón | 5 % | 10% | 15 % |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|
| Cemento | 388,000 | 368,600 | 349,200 | 329,800 |
| Vidrio | -- | 19,400 | 38,800 | 58,200 |
| Agregado Fino | 707,303 | 707,303 | 707,303 | 707,303 |
| Agregado Grueso | 1179,432 | 1179,432 | 1179,432 | 1179,432 |
| Agua | 188.186 | 188.186 | 188.186 | 188.186 |

La elaboración y curado en el laboratorio de muestras de hormigón para ensayos de compresión se realizó siguiendo la norma ASTM C-192.

Los ensayos de compresión de probetas cilíndricas siguieron la norma A.S.T.M. C-39.

Los resultados obtenidos se muestran las figuras 4, 5 y 6.

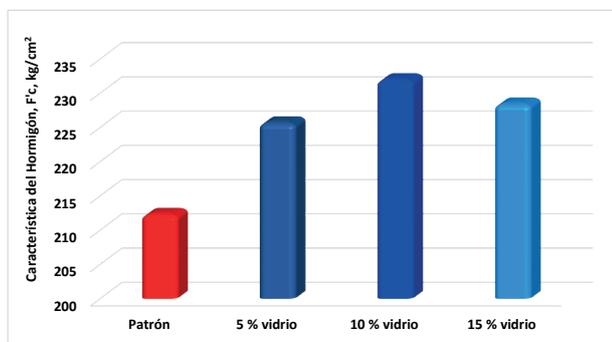


Figura 4. Resistencia característica

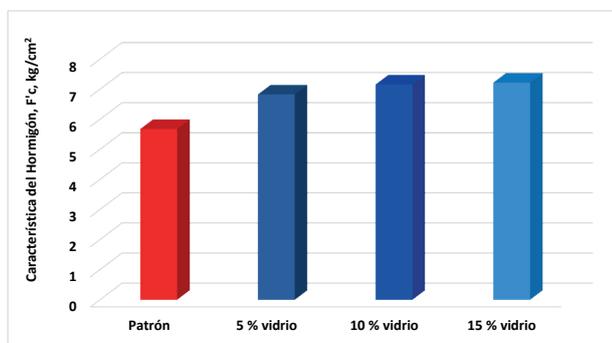


Figura 5. Promedio de asentamiento

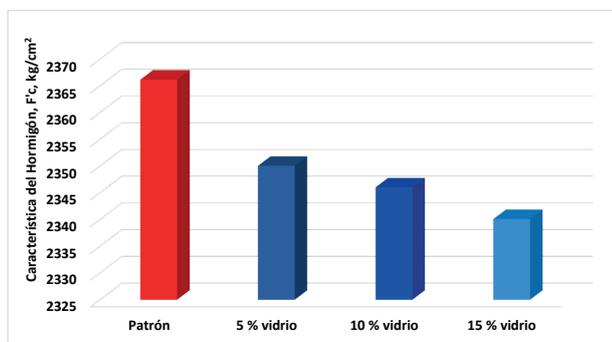


Figura 6. Densidad aparente del hormigón,

DISCUSIÓN

Hormigón con 5 % de vidrio: Este hormigón tiene una diferencia del 6,23 % respecto al hormigón patrón debido a que el polvo de vidrio es apto como material puzolánico. Este material se caracteriza por aumentar la fuerza a compresión ya que, en la reacción de agua y cemento, se produce más silicato de calcio hidratado (CSH), elemento que ayuda a la capacidad de unirse y cohesionarse.

Hormigón con 10 % de vidrio: Este porcentaje es el más conveniente debido a que presenta la resistencia a compresión más alta, un 9,19 % más resistente, que el hormigón H-21 patrón. **Hormigón con 15 % de vidrio:** La cantidad de cemento Portland que se debe reemplazar es 58,2 kg, presentando una menor resistencia a la compresión debido a que el cemento puzolánico, para reaccionar, depende tanto del agua y del cemento Portland. A partir de este punto la cantidad de cemento Portland que se reemplaza es mayor a la que el material puzolánico necesita para reaccionar de manera óptima.

Como se puede observar en la figura 5, el hormigón H-21 patrón tiene un asentamiento promedio de 5.68 cm y este aumenta a medida que aumenta el porcentaje de sustitución del vidrio, llegando a tener un asentamiento de 7.22 cm para un 15% de reemplazo. En el caso del hormigón con reemplazo de vidrio su consistencia se considera plástica, mientras que la consistencia del hormigón patrón fue prácticamente seca. Sin embargo, en ambos casos se cumplen satisfactoriamente los asentamientos establecidos por la norma A.C.I.

Densidad aparente del hormigón. En este caso ocurre lo contrario: la densidad aparente del hormigón patrón fue de 2366,17 kg/m³ y disminuye a medida que se le añade polvo de vidrio, llegando a variar en un 1,10 % con el hormigón de 15% de sustitución. La densidad aparente considera el peso de los materiales más el peso de los poros de un elemento, por lo tanto, el hormigón con vidrio puzolánico tiene una mayor cantidad de poros que el hormigón convencional, llegando a tener todas las ventajas de los poros en el hormigón como ser: mayor resistencia a ciclos de hielo y deshielo, un material más ligero, mayor absorción acústica, entre otros, sin comprometer su resistencia a la compresión.

REFERENCIAS

- A.C.I. COMITE 211. (2002). PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA SELECCIONAR PROPORCIONES PARA CONCRETO NORMAL, PESADO Y EN MASA.
- A.S.T.M. . (2008). CONJUNTO DE NORMAS PARA EL CEMENTO Y AGREGADOS, CONCRETO, HORMIGÓN COMPONENTES Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, CENIZAS DE CARBÓN Y PUZOLANA NATURAL CRUDA O CALCINADA PARA USO EN CONCRETO
- EL DEBER. (15 DE JUNIO DE 2021). WWW.ELDEBER.COM.BO. [HTTPS://ELDEBER.COM.BO/SANTACRUZ/MUNICIPIO-PROPICIA-ALIANZA-ENTRE-RECOLECTORES- DE-RESIDUOS-Y-EMPRESARECICLADORA-DE-SUCRE_235463](https://eldeber.com.bo/santacruz/municipio-propicia-alianza-entre-recolectores-de-residuos-y-empresarecicladora-de-sucres_235463)
- EMACRUZ. (2021). WWW.EMACRUZ.COM.BO. [HTTPS://WWW.EMACRUZ.COM.BO/2021/06/22/ALCALDIA-AVANZA-EN-GESTION-PARA-LACOMERCIALIZACION-DE-VIDRIO-RECICLADO/](https://www.emacruz.com.bo/2021/06/22/alcaldia-avanza-en-gestion-para-lacomercializacion-de-vidrio-reciclado/)
- GARCÍA DEL TORO , E. M., ALCALA-GONZALEZ, D., MÁS-LÓPEZ, M. I., GARCÍA-SALGADO, S., & PINDADO, S. (2021). USE OF ECOFRIENDLY GLASS POWDER CONCRETE IN CONSTRUCTION OF. MDPI.
- IBNORCA. (2018). MANUAL DE LABORATORIO DE LA ABC.
- IBNORCA. (2021). APNB 1225001
- SHAO, LEFORD, MORAS, & RODRIGUEZ. (S.F.). STUDIES ON CONCRETE CONTAINING GROUND WASTE GLASS

CITA

