

Concreto estructural con obsidiana como sustituto de agregado grueso Structural concrete with obsidian as a substitute for coarse aggregate

Jorge A. López-Gutiérrez ^a, Angel N. Melo-Morales ^{a,*}

^a Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

Resumen

La demanda de hormigón en la construcción impulsa la innovación hacia materiales alternativos para producir hormigón duradero y de alta calidad sin dejar de cumplir con los requisitos de ingeniería. Este trabajo busca optimizar los recursos de las regiones locales mediante la introducción de agregados volcánicos con textura vítrea en la producción de concreto. Y determinar la capacidad de estos para una determinada utilización. Para ello se realizaron pruebas y métodos como granulometría, revenimiento y prueba de compresión, para los cuales se trituró el agregado vítreo (obsidiana), se le dio una limpieza externa y se tamizó para determinar el tamaño a utilizar. Se desarrollaron dos diseños de mezcla distintos para evaluar la resistencia a la compresión del hormigón producido a partir de rocas volcánicas, en proporciones diferentes. El estudio tuvo como objetivo identificar las propiedades y características que ofrece cada agregado, incluidas especificaciones técnicas como la resistencia a la compresión, en función de su mérito individual.

Palabras clave: hormigón, compresión, obsidiana, propiedades, resistencia.

Abstract

The demand for concrete in construction drives innovation toward alternative materials to produce high-quality, durable concrete while still meeting engineering requirements. This work seeks to optimize resources from local regions by introducing volcanic aggregates with a glassy texture in the production of concrete. And determine their capacity for a specific use. For this, tests and methods such as granulometry, slump and compression test were carried out, for which the vitreous aggregate (obsidian) was crushed, given an external cleaning and sieved to determine the size to be used. Two different mix designs were developed to evaluate the compressive strength of concrete produced from volcanic rocks, in different proportions. The study aimed to identify the properties and characteristics offered by each aggregate, including technical specifications such as compressive strength, based on its individual merit.

Keywords: concrete, compression, obsidian, properties, resistance.

1. Introducción

La obsidiana, una roca volcánica de textura de grano fino, presenta una superficie relativamente lisa adornada con bordes afilados e irregularidades ocasionales. Su color varía dependiendo de los elementos dominantes en su composición, aunque se reconoce más comúnmente por su apariencia negra brillante. Con su impresionante dureza en la escala de Mohs y su elevado peso específico, la obsidiana goza de gran prestigio por su idoneidad en la producción de mezclas de hormigón. Sin embargo, debe cumplir con las especificaciones requeridas para los agregados de concreto para poder ser utilizado.

No se debe subestimar la importancia de utilizar el tipo y la calidad correctos de los áridos, ya que constituyen una parte sustancial (entre el 60% y el 75%) del volumen del hormigón.

Su función principal es resistir las fuerzas de compresión ejercidas sobre las estructuras y ofrecen una alternativa más rentable al cemento. Por ello, es fundamental incorporar áridos a la mezcla de hormigón en la proporción adecuada.

Actualmente, la producción de hormigón implica la combinación de diversos materiales, entre ellos cemento, áridos de piedra sedimentaria, cantidades precisas de agua y, ocasionalmente, aditivos para mejorar sus propiedades, en respuesta a la creciente necesidad de hormigón de la industria de la construcción. Para satisfacer esta demanda y explorar opciones alternativas, se están introduciendo nuevos materiales, como la obsidiana volcánica, un agregado grueso de textura vítrea derivado de rocas ígneas. (Lemus, 2012).

La obsidiana es una roca volcánica (ígneas), con textura vítrea de color oscuro, es importante conocer que las rocas

*Autor para la correspondencia: me421028@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: lo419528@uaeh.edu.mx (Jorge Alan López-Gutiérrez), me421028@uaeh.edu.mx (Ángel Nahum Melo-Morales).

ígneas componen aproximadamente el 95 % de la parte superior de la corteza terrestre, pero quedan ocultas por una capa fina de rocas sedimentarias y metamórficas. Lo cual indica que existe gran cantidad para su implementación dentro de la fabricación de concreto.

Salazar llevó a cabo una investigación en la cual analizó los efectos físicos, mecánicos y económicos del uso de concreto sustituyendo el agregado grueso con rocas volcánicas, comparándolo con el concreto tradicional para la fabricación de postes la adición de la roca volcánica influye en las características físicas del poste proporcionándoles un color y una textura más vistosa de la convencional, una mejor resistencia al calor y durabilidad. (Salazar, 2018).

Otros casos en donde se presenta la utilización de este agregado es: La investigación experimental de diseño y caracterización de un material compuesto por roca volcánica y concreto como material alternativo de construcción que aumente el aislamiento térmico y que mejore las condiciones de confort interno en viviendas localizadas en climas fríos. (Velásquez, 2018).

Este material compuesto se propone como una solución innovadora y sostenible para la construcción de viviendas en climas fríos, ya que combina las propiedades aislantes de la roca volcánica con la resistencia y durabilidad del concreto. Además, su uso puede contribuir a la reducción de la huella de carbono en la industria de la construcción, ya que ambos materiales son abundantes y de fácil acceso.

Por otro lado, se realizó una comparación con la implementación de cuarzo, ya que presenta similitudes con la obsidiana. En este sentido, Carrasco Delgado analizó el impacto de la inclusión de cuarzo en la resistencia a la compresión y la translucidez de un ladrillo de concreto. Los resultados indicaron que al sustituir el agregado en un 25% con cuarzo, se supera la resistencia de aquellos en los que se utilizaba una mayor proporción. (Delgado, 2023).

Con el fin de mejorar la durabilidad y resistencia de las estructuras de hormigón, es fundamental emplear diversos métodos de protección o implementar modificaciones utilizando materiales especializados. Estos materiales deben ofrecer ventajas mecánicas, físicas y económicas y al mismo tiempo cumplir con los requisitos mecánicos necesarios. El objetivo final es proporcionar resistencia química y mecánica a los componentes, dependiendo de las condiciones ambientales específicas en las que se construirá la estructura.

A la luz de los crecientes gastos asociados con la construcción civil, particularmente en relación con el papel crucial del concreto en la inversión, la planificación y la utilización de materias primas para la fabricación de estructuras, se ha vuelto imperativo explorar métodos y soluciones alternativos.

El objetivo es mejorar la eficiencia y la rentabilidad sin comprometer la calidad del producto final. Se han dedicado amplias investigaciones y esfuerzos para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón a lo largo del tiempo.

El objetivo principal es crear mezclas que ofrezcan mayor resistencia, permitiendo la construcción de elementos estructurales más pequeños que aún cumplan con los estándares internacionales de seguridad. Este logro conduce a una reducción significativa del peso total. Existen métodos alternativos para lograr esta reducción de peso, como la incorporación de hormigón ligero en los diseños estructurales. Esto se puede lograr utilizando una combinación de diferentes

materiales, como es el caso de la obsidiana la cual ofrece una solución prometedora para la producción de diversas estructuras debido a sus propiedades únicas.

(Salazar, 2018).

En esta investigación, se examinará el impacto de la roca volcánica (obsidiana) como agregado en el hormigón ligero para determinar sus efectos en la mejora de las propiedades físicas, mecánicas y económicas de las estructuras durante su fabricación.

2. Propiedades mecánicas

Posee una dureza de 5,00 a 5,50 en la escala de Mohs, la obsidiana es una roca volcánica con características similares al granito. Su peso específico es de 2,60 kg/m³, y presenta una superficie de fractura concoidea, lo que le confiere una apariencia curva. Como roca ígnea de grano fino, la obsidiana posee una excelente resistencia a la compresión y al desgaste. La presencia de bordes afilados y partículas predominantemente semi redondas contribuye a sus características distintivas. Su superficie lisa resulta en una baja adherencia y absorción de agua.

Además, demuestra una notable resistencia al fuego y a las bajas temperaturas. Compuesta por silicatos de aluminio y con un alto porcentaje (70% o más) de óxidos de silícico (SiO₂), la obsidiana se clasifica como roca ácida.

Pertenciente al grupo de los silicatos y clasificada como vidrio por sus propiedades, presenta una estructura atómica desordenada y químicamente inestable, razón por la cual su superficie tiene una cubierta opaca llamada córtex.

La obsidiana es un vidrio volcánico caracterizado por su textura vítrea o transparencia total, donde los cristales aparecen de forma desordenada. Las rocas se consideran mineraloides debido a su función de compartir similitudes químicas con el cuarzo, pero su falta de estructura cristalina lo hace carecer de propiedades ópticas y piezoeléctricas. Suele ser una roca negra brillante, aunque puede variar. La composición química de la obsidiana se muestra en la Figura 1.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA OBSIDIANA										
Oxidos	SiO ₂	Na ₂ O	PPI	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Pr ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	MnO ₂
Contenido (%)	61,27	3,58	10,32	13,20	1,75	0,09	3,73	2,29	3,15	0,05

Figura 1: Composición química de la obsidiana (Cobean, 2002).

3. Características del concreto fresco

- La cohesividad y trabajabilidad del hormigón: juegan un papel crucial para evitar la segregación y facilitar su manipulación durante la colocación.
- La pérdida de revenimiento: se refiere al aumento de rigidez de la mezcla de concreto desde que sale de la mezcladora hasta que se coloca y compacta. El uso de agregados porosos en estado seco y cementos de puzolana Portland tienden a resultar en una pérdida de asentamiento más rápida.
- Tiempo de fraguado: cuando se fabrica el hormigón por primera vez, se producen reacciones químicas y, durante este período inicial, la consistencia permanece relativamente sin cambios. Sin embargo, una vez que la resistencia a la penetración alcanza los 35 Kg/cm², el

hormigón empieza a perder notablemente su fluidez. A medida que la resistencia a la penetración alcanza los 280 kg/cm² y el hormigón gana resistencia mecánica, pasa a ser una masa rígida, quebradiza y no moldeable, lo que indica que ha fraguado.

- Segregación: una vez vertido el hormigón en el encofrado o molde designado, se produce un fenómeno natural que hace que el cemento y los áridos se depositen hacia abajo mientras el agua sube hacia arriba. Como resultado, se forma una capa menos resistente y duradera en la superficie superior. (LAJO, 2013)
- Absorción de la humedad: característica que depende de la capacidad de los materiales utilizados en las mezclas, se puede determinar la cantidad de agua a integrar en la mezcla en base a lo indicado en el ACI (American Concrete Institute) o implementando cantidades de agregados (en nuestro caso grava) que absorban la humedad para un mejor diseño en la mezcla.

una resistencia de 200 Kg/cm². Las proporciones consideradas se muestran en la Tabla 1.



Figura 3: Ejemplo de mezcla resultante.

4. Metodología

4.1. Materiales

En el transcurso de la realización del experimento, se utilizaron en su mayoría materiales "comunes", ya que son necesarios para elaborar un concreto tradicional. Estos materiales fueron: agua potable obtenida del suministro gubernamental, cemento y arena adquiridos en una casa de materiales cercana a la universidad, y por último, el nuevo agregado a implementar, las rocas de obsidiana negra, que se recolectaron de una mina perteneciente al municipio de San Agustín Metzquitlán en el estado de Hidalgo (Figura 2).

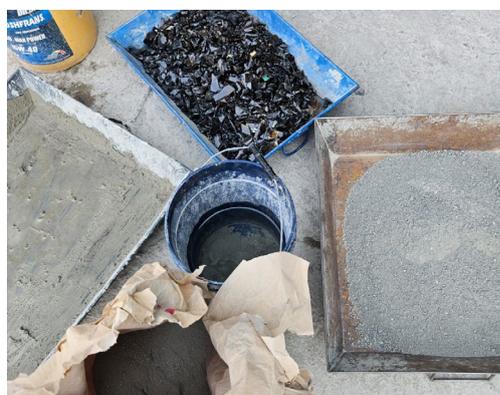


Figura 2: Materiales utilizados en la experimentación.

Tabla 1: Dosificación base

Agregado	Cantidad (kg)
Cemento	6.65
Arena	10.77
Grava	13.16
Agua	4.20

Las proporciones utilizadas en las diferentes muestras realizadas se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Dosificación de diseño

Agregado	Cantidad (Kg)			
	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3	Diseño 4
Cemento	4.43	4.43	4.43	4.43
Arena	7.18	7.18	7.18	7.18
Grava	0.00	2.19	4.39	6.58
Obsidiana	8.77	6.58	4.39	2.19
Agua	2.80	2.80	2.80	2.80

4.2. Diseño

Para evaluar la implementación de la obsidiana como agregado grueso, se adoptó un diseño de concreto estándar para la obtención de las diferentes mezclas (Figura 3). En este diseño, la grava fue reemplazada por nuestra obsidiana triturada, mientras que los demás agregados mantuvieron sus proporciones habituales. Se consideraron diferentes proporciones de obsidiana: 100%, 75%, 50% y 25%, complementadas con el agregado grueso tradicional. Esto permitió obtener una comparación de los resultados obtenidos.

El diseño base utilizado estaba destinado a proporcionar

4.3. Métodos e instrumentos utilizados

- Granulometría: La composición del hormigón o mortero depende en gran medida de la distribución óptima y la calidad de los áridos, que normalmente constituyen entre el 70 y el 75% de la mezcla. Es fundamental garantizar que los áridos utilizados sean de alta calidad, ya que contribuyen en gran medida a la resistencia y durabilidad de las estructuras. La selección de agregados es particularmente importante porque ocupan una porción significativa del volumen del concreto y el uso de agregados débiles puede comprometer la resistencia general del material. Sin embargo, los agregados

también juegan un papel vital al proporcionar estabilidad y durabilidad al concreto. Actúan como base de soporte de la pasta (cemento y agua), reduciendo la cantidad de pasta necesaria por metro cúbico de hormigón. Además, los agregados forman una masa de partículas que pueden resistir eficazmente el desgaste mecánico y la intemperie. La función principal de los agregados gruesos de roca caliza, para fabricar mezclas de concreto, es resistir los esfuerzos de compresión que actúan sobre las estructuras, cuando se encuentran bien proporcionados dentro de la mezcla, para lo cual es importante conocer los límites permitidos, para cada número de tamiz.

- **Revenimiento:** El revenimiento es la primera prueba que se le practica a un concreto en estado fresco, de acuerdo con lo establecido en el Manual M·MMP·2·02·056, Revenimiento del Concreto Fresco. Cuando no existan especificaciones al respecto, se aplicarán los valores nominales señalados en la Tabla 3, dicha tabla obtenida de la antes mencionada Norma:

Tabla 3: Valores nominales de referencia para mezclas de concreto

Revenimiento	Tolerancia	Consistencia
menos de 5 cm	±1.5	Baja
entre 5 y 10 cm	± 2.5	Media
mayor a 10 cm	±3.5	Alta

El concreto alcanzará la resistencia a la compresión ($f'c$) o a la tensión (T), a los veintiocho días de edad, que se haya establecido en el proyecto, con las tolerancias allí indicadas.

- **Prueba de compresión:** Los ensayos de compresión utilizan para determinar el comportamiento de un material bajo cargas de aplastamiento aplicadas y, por lo general, se realizan aplicando presión de compresión a una muestra de prueba (generalmente de geometría cúbica o cilíndrica) utilizando placas o accesorios especializados en una máquina universal de ensayos. Durante la prueba, varias propiedades del material se calculan dando como resultado las cualidades como resistencia a la compresión.

5. Resultados

Se obtuvieron diferentes parámetros resultantes de las diferentes pruebas y métodos realizados, con unidades variables de acuerdo al procedimiento realizado.

En cuestión a la granulometría, se obtuvo la Tabla 4 que nos deja observar el tamaño de la grava que se utilizó para realizar nuestro concreto.

Para el revenimiento se obtuvo un resultado numérico el cual debería de estar entre el rango normado para el elemento en el cual se utilizará el concreto a desarrollar, este resultado obtenido fue de 14 cm, con este resultado nos damos cuenta de que la obsidiana no absorbe mucha humedad en comparación con otros materiales como la grava común, esto para nuestra prueba más favorable, lo cual se ilustra en la Figura 4.

Tabla 4: Resultados de la granulometría realizada

Granulometría obsidiana				
Tamaño de tamices	Peso de material retenido (gr)	% Retenido individual	% Retenido acumulado	% Pasa de acumulado
3/4"	5548.20	35%	35%	65%
1/2"	6918.20	44%	79%	21%
3/8"	1850.90	12%	91%	9%
1/4"	798.30	5%	96%	4%
No.4	613.30	4%	100%	0%
Total	15728.90	100%		



Figura 4: Revenimiento obtenido en la mezcla.

En el caso de los cilindros, como tales resultados no se obtuvieron, pero si generamos el medio por el cual se determinarían el aspecto más importante y el cual determina el éxito del experimento. Este fue 6 cilindros (dicha cantidad a causas de tiempos y recursos; cantidad pertinente para demostrar su reproducibilidad) de medidas 15cm de diámetro por 30 cm de alto, sin huecos visibles. Los cuales se pueden ilustrar en la Figura 5.



Figura 5: Cilindro obtenido de la experimentación.

Para finalizar en este apartado, en la última prueba se consiguió la resistencia que tiene el diseño de este concreto (Figura 6), es decir, la capacidad a la compresión que resiste nuestro hormigón, los valores en diferentes etapas de maduración de nuestro concreto se muestran en la Tabla 5.



Figura 6: Prueba realizada a los cilindros para determinar la resistencia.

Tabla 5: Resultados promedio obtenidos de resistencias obtenidas

Días	Resistencias (kg/cm ²)			
	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3	Diseño 4
7	76.17	84.19	96.47	101.27
14	108.23	111.93	127.12	139.21
28	149.29	152.45	162.83	178.91

4. Discusiones

El uso de materiales como la obsidiana en la creación de nuevos diseños de concreto podría ser viable. Basándonos en los resultados de este proyecto, sugerimos una revisión más exhaustiva de la interacción de la obsidiana y los factores que altera. Observamos que, en comparación con una mezcla de concreto convencional, se requeriría una cantidad ligeramente menor de obsidiana, ya que no es un material poroso y, por lo tanto, no absorbería la misma cantidad de agua. Esto resultaría en una mezcla menos densa de lo normal.

En el proceso de utilización de la obsidiana al 100%, se determinó que es un agregado poco absorbente, por lo que el uso de agua debe ser en pequeñas cantidades para no afectar el revenimiento. En la prueba donde se sustituye en un 25%, se obtuvieron mejores resultados, ya que, al utilizar una mayor cantidad de agregado convencional como la grava, mejora la absorción y resistencia del concreto.

En cuestión a la resistencia, sustituir el agregado grueso por obsidiana sería difícil, ya que la obsidiana por sí sola no cumple con los requisitos mínimos o no alcanza los niveles de un concreto con agregado convencional.

En cuanto a la cohesión de la mezcla, sería conveniente considerar una estandarización en el tamaño de la obsidiana a utilizar y posiblemente incluso reducir en lo posible su tamaño hasta los límites permitidos para lograr una cohesión significativamente mejor. Del mismo modo, podría haber menos agrietamiento en el momento del fraguado, ya que, al ser más pequeñas, la interacción entre la obsidiana sería menor,

lo que reduciría los riesgos de ruptura de la obsidiana y, en consecuencia, de la resistencia del concreto.

Conclusiones

Los agregados de origen volcánico y textura vítrea cumplen con algunas características físicas para ser utilizados como agregados para la fabricación de mezclas de concreto utilizando en proporciones menores, sin omitir al 100% el agregado grueso convencional.

En este caso, el objetivo de crear un diseño de concreto con una sustitución del 100% del agregado grueso, para una resistencia de 200 Kg/cm² no se ha logrado. Sin embargo, la dosificación implementada en este ensayo nos dio una resistencia cercana al objetivo. Rediseñando un poco más la dosificación, se podría alcanzar en parte esa resistencia objetivo.

La resistencia obtenida no sería utilizada en elementos estructurales por la baja capacidad de compresión que nos ofrecen cuando sustituyen al 100% el agregado grueso. Sin embargo, podrían ser utilizados de manera decorativa o en su caso para castillos o dalas.

Agradecimientos

Los autores agradecen la guía e inspección en todo momento del Dr. Iván Erick Castañeda Robles, que fueron de suma importancia para la ejecución de este artículo científico, por las recomendaciones que dio para que la ejecución de este trabajo tuviera éxito, la paciencia al momento de la ejecución de las actividades y el tiempo que otorgó para que culminaran de la mejor manera.

Referencias

- Cobean, R. H. (2002). A world of obsidian: the mining and trade of a volcanic glass in ancient Mexico (Vol. 4). Center for Comparative Arch.
- Delgado, A. G. (2023). Efectos de la incorporación de cuarzo, sobre la resistencia a la compresión y translucidez, aplicados a un ladrillo de concreto. Perú: Trujillo.
- Lajo, C. R. (2013). "Uso de concreto ligero con agregados de roca volcánica en la fabricación de unidades de albañilería no estructural. Perú: repositorio de tesis UCSM.
- Lemus, P. C. (2012). Determinación de la resistencia del concreto elaborado con rocas ígneas de textura vítrea como agregados. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Louis, B. Z. (2018). Influencia del cuarzo reemplazante del agregado grueso en las propiedades mecánicas del concreto. Perú: Trujillo
- Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, s. c., norma mexicana nmx-c-155- onnce -2004, industria de la construcción-concreto hidráulico especificaciones, México (2004).
- Rodríguez Villalba, I. (2013). Propuesta de elaboración del capítulo referente a la granulometría de agregados para el concreto. Escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito.
- Salazar, H. I. (2018). Efectos del concreto ligero con agregados de roca volcánica en la fabricación de postes en Perú: Universidad César Vallejo.
- Velásquez, J. N. (2018). Diseño y caracterización de un material compuesto por roca volcánica y concreto como material alternativo de construcción que permita mejorar los niveles de confort interno en viviendas localizadas en climas fríos. Quito: Escuela Politécnica Nacional.