



Influencia del cuarzo y materiales silíceos en las propiedades físico-mecánicas del hormigón

Influence of quartz and siliceous materials in the physical-mechanical properties of concrete

Influência do quartzo e dos materiais silícios nas propriedades físico-mecânicas do concreto

ARTÍCULO ORIGINAL



Cristhian Jesús Calle López 
ccallelo@ucvirtual.edu.pe

Alexander Joseph Salazar Rojas 
asalazarro@ucvvirtual.edu.pe

Universidad César Vallejo. Chiclayo, Perú

Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v8i22.126>

Artículo recibido 17 de julio 2024 / Aceptado 21 de agosto 2024 / Publicado 23 de octubre 2024

RESUMEN

La influencia del cuarzo y otros materiales silíceos en las propiedades físico-mecánicas del hormigón es un tema relevante en el ámbito de la ingeniería civil y la construcción. El hormigón, como material de construcción, se compone principalmente de áridos, agua y un aglomerante. El objetivo del artículo es indagar la influencia del cuarzo y materiales silíceos en las propiedades físico-mecánicas del hormigón, identificando la dosificación y su resistencia a la compresión. A través de un enfoque cualitativo se realizó una revisión sistemática de artículos científicos. El análisis se basó en 42 publicaciones recopiladas durante el estudio, 13 de Scielo, 10 ScienceDirect, 2 Redalyc y 17 en otros. Se concluye que, los estudios analizados muestran que la adición de cuarzo triturado al hormigón f'c 210 puede mejorar su resistencia a la compresión en ciertos casos, pero también puede disminuir la resistencia en otros, siendo la dosificación del 20% de cuarzo la que presenta mejores resultados. Es importante evaluar los materiales antes de usarlos en construcción.

Palabras clave: Cuarzo; Físico; Hormigón; Materiales; Mecánicas; Propiedades; Silicios

ABSTRACT

The influence of quartz and other siliceous materials on the physical-mechanical properties of the hormigón is a relevant topic within the scope of civil engineering and construction. The hormigón, as a construction material, is mainly composed of arid, water and a binder. The objective of the article is to investigate the influence of quartz and siliceous materials on the physical-mechanical properties of the hormigón, identifying the dosage and its resistance to compression. Through a qualitative approach, a systematic review of scientific articles was carried out. The analysis was based on 42 publications collected during the study, 13 from Scielo, 10 ScienceDirect, 2 Redalyc and 17 others. It is concluded that, the analyzed studies show that the addition of crushed quartz to the hormigón f'c 210 can improve its resistance to compression in certain cases, but can also reduce the resistance in others, resulting in the dosage of 20% of that provides better results. It is important to evaluate materials before using them in construction.

Key words: Cuarzo; Physical; Hormigón; Materials; Mechanics; Properties; Silicones

RESUMO

A influência do quartzo e de outros materiais silícios nas propriedades físico-mecânicas do hormigón é um tema relevante no âmbito da engenharia civil e da construção. O hormônio, como material de construção, é composto principalmente de arido, água e um aglomerante. O objetivo do artigo é identificar a influência do quartzo e dos materiais silíceos nas propriedades físico-mecânicas do hormônio, identificando a dosificação e sua resistência à compressão. Através de uma abordagem qualitativa foi realizada uma revisão sistemática de artigos científicos. A análise foi baseada em 42 publicações coletadas durante o estudo, 13 de Scielo, 10 ScienceDirect, 2 Redalyc e 17 e outras. Se concluímos que, os estudos analisados mostram que a adição de quartzo triturado ao hormônio f'c 210 pode melhorar sua resistência à compressão em certos casos, mas também pode diminuir a resistência em outros, ao mesmo tempo em que a dosificação de 20% de quartzo é apresenta melhores resultados. É importante avaliar os materiais antes de usá-los na construção.

Palavras-chave: Cuarzo; Físico; Hormigão; Materiais; Mecânicas; Propriedades; Silícios

INTRODUCCIÓN

La construcción se encuentra en un crecimiento porcentual, aumentando un 1,8% solo en el transcurso del primer trimestre del 2023 (WTW, 2023). Actualmente, además del desarrollo sostenible, se presentan grandes retos para esta industria, los cambios climáticos y la explotación de recursos no renovables (Praveenkumar et al., 2019). Por esta razón, la investigación internacional da cuenta de la búsqueda por reemplazos de materiales, cuyo empleo permita resultados estándar o mejorados para las estructuras de hormigón, llegando así a un incremento de investigaciones en su área (Castillo et al., 2021).

Por este motivo, ante la necesidad de reducir la explotación de recursos no renovables y sus cuestionamientos, se han empezado a considerar productos con origen en los pasivos mineros; y es que, muchos minerales ya son empleados en la industria, generando un gran ingreso en la economía, sin embargo, su actividad y los pasivos resultantes de ella son poco tratables, causando una respuesta negativa en el ambiente y las poblaciones (Ramos y Pérez, 2021). En respuesta a ello, se ha visto su empleo como reemplazo de los agregados.

Ahora bien, el cuarzo, siendo uno de los minerales más presentes en la tierra, compuesto por silicio y oxígeno, unido en menor medida a impurezas; es considerado como un pasivo minero, resultante de las labores de extracción, posee un 7 en la escala de Mohs y un valor de densidad de 2.6

g/cm³ (Márquez et al., 2019). Pese a que el cuarzo es tomado por algunos estudiosos como material de desmonte de la minería, ello se da al tratarse de zonas de explotación de otros minerales, por ello, ante sus características, es requerido en otras áreas de la industria, lo que ha dado pie a su explotación y comercialización, acarreado impactos negativos en numerosos sectores.

De acuerdo a lo anterior, se puede afirmar que el cuarzo se planta como un peligro para el medio ambiente, ya sea durante la explotación minera, produciendo contaminación medio ambiental (Gutiérrez, 2014); como durante su fase de desecho post industrialización en productos derivados de este, contribuyendo al aumento de residuos no reutilizables en basurales y generando posibles daños para las especies y personas (Patil et al., 2021).

En los Estados Unidos de América, la población rechaza la explotación del cuarzo, la Junta de Comisionados del Agua del Centro de Arkansas pidió a su Servicio Forestal negar el permiso a la mina de cuarzo cerca al lago Winona, por temor al impacto en el agua y ecosistema circundante (Arkansas Democrat Gazette, 2023). En Sudáfrica más de 5 ha. de terreno se vieron afectadas ante los cazafortunas, debido a una beta de cuarzo que fue confundida por diamantes, resultando en el desinterés de los improvisados mineros al saber ello, dejando atrás de sí el área devastada con excavaciones de hasta 1 metro de profundidad (The Guardian, 2021). En Perú, la

presencia de productos producidos con el cuarzo post industrializado en botaderos ha generado el aumento de estos, presentándose solo en Lambayeque un incremento del 5.6% en el total de áreas afectadas desde 2018 a 2023, pasando de 438 ha. a 463.97 ha. (OEFA, 2023).

Por otro lado, el uso del hormigón en la construcción ha aumentado considerablemente en los últimos años, diversos estudios exponen que la producción del hormigón se ha visto duplicada desde los años 90', teniendo una variación de 160 millones de m³ entre 1990 y el 2004 (Orozco et al., 2018). Del mismo modo, los problemas presentes en este material también se han hecho cada vez más grandes, como, por ejemplo, el hormiguero, variación del color, grietas, transparencia del agregado, descascaramiento y se suma a esta extensa lista la aparición de burbujas, diversos análisis mencionan que este es el defecto con más aparición, con una frecuencia del 45% (Figueroa y Palacio, 2013). Desafortunadamente también existen problemas más profundos en el hormigón que bajan la vida útil de la edificación y ponen en riesgo la durabilidad, como, lo es, la corrosión del acero, la poca resistencia a la compresión y flexión, etc. (Toirac, 2009).

Por lo tanto, durante su tiempo útil, el hormigón puede sufrir daños que afectan su comportamiento y estructura interna, perdiendo sus propiedades mecánicas y físicas, todo ello a causa de cambios en la temperatura, humedad y presión, afectando sus propiedades como la

resistencia a la flexión y compresión (Imcyc, 2017). Para tener una buena resistencia a la compresión en el hormigón ante agentes destructivos, estos deberían ser muy densos y tener un buen curado, se recomienda también usar cemento aluminoso en vez del cemento portland convencional o usar minerales como aditivos o agregados (Knight, 1949).

Sin embargo, cada vez que se adiciona algún mineral al cemento, dependiendo del tiempo, dosificación y características de este, pueden surgir 3 efectos: la dilución del cemento, el efecto filler y según la reactividad mineral puede presentar actividad puzolánica (Bonavetti y Rahhal, 2006). Por otra parte, la presencia de Nanosílice (dióxido de silicio) aumenta la resistencia a la compresión; reduce la exudación, gracias al refinamiento de los poros y también reduce el hidróxido de calcio de la mezcla, volviéndolo más homogéneo, esto gracias a la reacción puzolánica del dióxido de silicio (Caballero et al., 2021).

En torno a esto, en Rusia, Tolstoy et al. (2019) definen "quartz sandstone" como un desecho de mina con posibles aplicaciones en la construcción, su investigación buscó aplicar arena de cuarzo de los desechos de mina, reemplazando parte del agregado fino, para la mejora de las propiedades físico - mecánicas del hormigón, obteniendo una resistencia a la compresión de 46.3 MPa para su propuesta de hormigón verde, concluyendo en que dicho rendimiento era comparable con el obtenido de un diseño estándar.

Cabe resaltar que, el cuarzo también se presenta en forma de polvo, Vinh, Bazhenov y Aleksandrova (2019) aplicaron ello en combinación con humo de sílice, como reemplazo de parte del material cementante en diferentes proporciones, buscando obtener resultados mejorados en sus características físico - mecánicas, obteniendo así una dosificación del 10% como la ideal, generando valores mayores en resistencias.

También, en forma de roca, el cuarzo se puede emplear como reemplazo del agregado grueso, en Perú se revisó la investigación de Bardales y Bagner (2018), quienes aplicaron dicho material descubriendo así que, su aumento en la translucidez era inversamente proporcional a su resistencia a la compresión, resultando en una respuesta negativa.

Por otro lado, uno de los productos más comunes del cuarzo post industrializado es el vidrio, en Lambayeque, se analizó el estudio de Saravia (2019), el cual aplicó vidrio triturado como reemplazo del agregado grueso, logrando con ello, incrementar las propiedades del hormigón en temas de resistencia a la compresión, alcanzando un 15% de mejora.

Considerando lo expuesto, este artículo se justifica por la necesidad que existe de optimizar el uso de recursos en la construcción y disminuir el impacto ambiental que está asociado a la producción de hormigón. La incorporación de cuarzo y sus derivados en las mezclas de hormigón no solo puede mejorar sus propiedades físico-

mecánicas, como la resistencia a la compresión, sino que, también ofrece una alternativa sostenible al uso de materiales convencionales.

En atención a todo lo anterior, se realiza la interrogante ¿cuál es la influencia del cuarzo y sus derivados en las propiedades físico-mecánicas del hormigón, y qué ventajas se pueden obtener al utilizar estos materiales como una alternativa sostenible en la construcción?, para dar respuesta a la pregunta, este artículo tiene el objetivo de indagar la influencia y resaltar las ventajas que trae el usar cuarzo y derivados en las propiedades físico - mecánicas del hormigón, planteando un mejor uso para este residuo minero. Basándose en lo dicho por los artículos anteriormente citados, se destaca que el uso del cuarzo y sus derivados de manera correcta, beneficia al hormigón gracias a sus componentes de sílice.

METODOLOGÍA

La investigación se guio bajo un enfoque cualitativo. A través de una revisión literaria se indagó en las formas en que se presenta el dióxido de silicio, arenas, polvos y rocas y otros materiales silíceos. Teniendo como punto unánime la resistencia a la compresión de los diseños de hormigón, respecto a cada dosificación empleada.

A continuación, se detallan los procedimientos implementados para la búsqueda, selección y extracción de datos de los estudios relevantes:

La revisión se llevó a cabo con 42 publicaciones a lo largo del estudio, distribuyéndose de la

siguiente forma: 11 artículos previos al 2019, 5 del 2019, 2 del 2020, 8 del 2021, 7 del 2022, 5 del 2023 y 4 del 2024. Durante la búsqueda se emplearon las palabras siguientes: Cuarzo, quartz influence, quartz sand, influencia del vidrio en el hormigón, vidrio en el hormigón, cerámica en el hormigón, Sílice, quartz powder, vidrio triturado, adiciones minerales, entre otras.

Criterios de inclusión: Se incluyeron artículos de investigación originales, revisiones sistemáticas y estudios experimentales cuya temática abordara la influencia del cuarzo y otros materiales silíceos en el hormigón. La fecha de publicación, de los artículos entre 2010 y 2024. Se consideró que los estudios publicados fuesen en el idioma español e inglés.

Criterios de exclusión: Se excluyeron las reseñas, editoriales, cartas al editor y los estudios que no fuesen originales. Los artículos que no abordaran directamente la influencia del cuarzo o materiales silíceos en el hormigón. La fecha de publicación, anteriores al 2010

La estrategia de búsqueda se realizó en variadas bases de datos académicas como Scielo ScienceDirect, Redalyc, IEEE Xplore, repositorios y otras fuentes. Las estrategias de búsqueda se estructuraron con los siguientes descriptores y operadores booleanos. Ecuación de búsqueda: ("Cuarzo" OR "Quartz" OR "Quartz sand" OR "Silica" OR "Quartz powder" OR "Glass in concrete" OR "Mineral additions") AND ("Concrete" OR "Cement").

En cuanto a los filtros utilizados fueron: la fecha de publicación desde el 2010 hasta el 2024, los artículos en idioma español e inglés, los artículos revisados por pares, Tablas 1 y 2.

El proceso de selección de estudios se realizó en dos etapas:

Cribado inicial: Dos autores revisaron independientemente los títulos y resúmenes de los artículos recuperados para determinar su elegibilidad según los criterios establecidos. Se registraron las discrepancias y se resolvieron mediante discusión.

Revisión completa: Los artículos seleccionados fueron leídos en su totalidad para confirmar su inclusión. En total, 42 publicaciones fueron finalmente incluidas en la revisión.

De igual manera, la extracción de datos fue realizada por dos revisores que trabajaron independientemente para garantizar la precisión y consistencia. Los datos extraídos incluyeron: Características del estudio: autor(es), año, tipo de estudio, diseño experimental; Intervenciones: tipo y cantidad de materiales silíceos utilizados; Resultados: resistencia a la compresión reportada.

Los revisores discutieron cualquier discrepancia en los datos extraídos y confirmaron la información con los autores originales cuando fue necesario. De igual forma, se

buscaron datos sobre las siguientes variables: Características del hormigón (tipo, proporciones), métodos experimentales utilizados para medir la resistencia. Finalmente, los resultados se tabularon para facilitar la comparación entre

estudios individuales, destacando las diferencias en métodos y resultados. La síntesis se realizó mediante un análisis cualitativo que permitió identificar tendencias comunes y variaciones significativas entre los estudios incluidos.

Tabla 1. Criterios de selección según la base de datos y aplicaciones de filtros.

Base de datos	Palabras clave	Sin filtro		Aplicación de filtros		Resultados	
		Resultados	Años	Otros	Encontrado	Seleccionado	
Scielo	quartz influence	102	2018 - 2024	- Ingenierías - Construction	5	3	
	quartz sand	101	2018 - 2024	- Ingenierías - Construction	4	1	
	influencia del vidrio en el concreto	1	-	-	1	1	
	vidrio en el concreto	10	-	-	10	2	
	Cerámica en el concreto	122	2018 - 2024	- Ingenierías - Construction	10	3	
	Sílice	320	2018 - 2024	- Ingenierías	29	1	
	Otras	1	2018 - 2024	-	1	1	
ScienceDirect	quartz powder	215272	2018 - 2024	- Engineering	9695	2	
	Vidrio Triturado	17	2018 - 2024	- Research articles - Open access & Open archive	6	2	
	quartz sand	98630	2018 - 2024	- Research articles - Construction and Building Materials - Engineering - Open access & Open archive	122	1	
	quartz	699798	2018 - 2024	-	5260	3	
	Otras	1	2018 - 2024	-	1	1	
Redalyc	adiciones minerales	2	Antiguo - 2024	-	1	1	
	Otras	1	Antiguo - 2024	-	1	1	
IEEE Xplore	-	1	2018 - 2024	-	1	1	
Repositorios	Cuarzo	3	2018 - 2024	-	3	3	
Otras fuentes	-	12	2018 - 2024	-	12	12	
	-	3	Antiguos - 2024	-	3	3	

Tabla 2. Artículos por año de publicación.

Base de datos	Año de publicación							Total
	Antes 2019	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
Scielo	3	2	1	2	5			13
ScienceDirect	1	1			2	2	4	10
Redalyc	2							2
IEEE Xplore				1				1
Repositorios	2	1						3
Otras fuentes	3	1	1	5		3		13

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

A partir de esta sección, se presentan los resultados obtenidos en relación a la influencia del cuarzo y materiales silíceos en las propiedades físico-mecánicas del hormigón, específicamente en su resistencia a la compresión. A continuación, en la Tabla 3, se muestran los valores de resistencia

a la compresión del hormigón al incorporar la roca de cuarzo o triturado, esta información es primordial para comprender cómo estos materiales silíceos afectan las características mecánicas del hormigón, por consiguiente, su aplicabilidad en los proyectos de construcción.

Tabla 3. Valores de resistencia a la compresión con añadido roca de cuarzo o triturado.

Material	Sustitución (%)	Curado	f'c (kg/cm ²)	Referencia
Roca de cuarzo o triturado	CP	7	153,6	(Bardales y Neyra, 2018)
		28	213,26	
	25%	7	167,48	
		28	242,82	
	50%	7	123,23	
		28	187,8	
	100%	7	104,26	
		28	202,59	

En la Tabla 3, el hormigón muestra mejor resistencia cuando se sustituye el 25% del agregado con cuarzo, mostrando una resistencia de 242.82 kg/cm², por otra parte, con un 50% de cuarzo la resistencia disminuyó a 187.80 kg/cm², sin embargo, al sustituir un 100% la resistencia llegó a un máximo de 202.59 kg/cm².

Al analizar los resultados a los 7 y 28 días, se observa que las muestras de hormigón con un 25% de cuarzo tienden a mostrar una mejora en la resistencia a la compresión. A pesar de ello, al llegar a los 56 días de edad, la resistencia de estas muestras disminuye en comparación con el hormigón patrón. A continuación, Tabla 4, la arena de cuarzo o cuarzo pulverizado:

Tabla 4. Valores de resistencia a la compresión con añadido de arena de cuarzo o cuarzo pulverizado.

Material	Sustitución (%)	Curado	f'c (kg/cm ²)	Referencia
Arena de cuarzo o cuarzo pulverizado	CP	7	151,43	(Candian et al, 2022)
		28	158,36	
	100%	7	305,51	
		28	337,32	
	20%	28	439,7	(Meraz et al, 2023)
	30%	28	426,44	
	CP	7	1329,3	(Rojas et al. 2019)
		28	1329,91	
	1%	7	1514,89	
		28	1583,52	
	1,50%	7	1483,38	
		28	1386,92	
	0,70%	7	-	(Karaca et al. 2022)
		28	-	
	1%	7	-	
		28	-	
	1,30%	7	-	
		28	-	
	20%	28	360,98	(Tolstoy et al. 2020)
	30%	28	347,72	
	20%	28	472,13	
	30%	28	477,23	
	15% (sand)	28	662,82	(Hlavička, Hlavicka-Laczák y Lublóny, 2022)
	10% (sand) + AG	28	601,63	
	10% (sand) + C1	28	571,04	
	10% (sand) + C2	28	423,18	
	10% (sand)	3	689,12	(Vinh, Bazgenov y Aleksandrova, 2019)
		7	725,12	
		28	842,69	
	10% (sand) + 5% (silica fume) + 20% (fly ash)	3	534,78	
		7	774,65	
		28	834,25	

Material	Sustitución (%)	Curado	f'c (kg/cm ²)	Referencia
	10% (sand) + 5% (silica fume) + 30% (fly ash)	3	686,61	
		7	743,25	
		28	817,9	
	10% (sand) + 7,5% (silica fume) + 30% (fly ash)	3	651,2	
		7	688,71	
		28	817,9	
	10% (sand) + 10,5% (silica fume) + 30% (fly ash)	3	706,9	
		7	764,35	
		28	925,54	
	10% (sand) + 12,5% (silica fume) + 30% (fly ash)	3	735,52	
		7	780,12	
		28	858,2	
	0.1%	28	473.422	(Li et al. 2024)
	0.2%	28	523.543	
	0.3%	28	756.761	
	20% SiO ₂ + 78% cemento + 2% yeso	7	598.06	(Zhang, Bai y Luo, 2024)
		28	823.72	
	15% SiO ₂ + 78% cemento + 2% yeso	7	692.29	
		28	919.58	
	1 (cemento) : 0.3 (silica fume) : 0.27 (cuarzo ultr.)	28	3306.94	(Ni et al. 2024)
	1 (cemento) : 0.3 (silica fume) : 0.37 (cuarzo ultr.)	28	3053.03	Cuarzo ultrafino por cuarzo molido
	1 (cemento) : 0.3 (silica fume) : 0.47 (cuarzo ultr.)	28	3182.53	
	1 (cemento) : 0.3 (silica fume) : 0.27 (cuarzo fund.)	28	3241.68	
	1 (cemento) : 0.3 (silica fume) : 0.37 (cuarzo fund.)	28	2810.34	Cuarzo fundido por cuarzo molido
	1 (cemento) : 0.3 (silica fume) : 0.47 (cuarzo fund.)	28	2876.62	

Los resultados obtenidos por los diferentes autores, según muestra la Tabla 4, al agregar distintas dosificaciones de material fino de cuarzo, evidencian la mejora lograda en hormigones de alta resistencia en el área de su resistencia a la compresión. Las dosificaciones mostradas fueron del 10%, 20% y 30%, y un tiempo de curado de 28 días, logrando incrementar la resistencia en más de un 35% de su hormigón patrón.

En cuanto a esto, Meraz et al. (2023) adicionó polvo de cuarzo y otros minerales, disminuyendo la resistencia a la compresión de ambas muestras en 3,53% y 6,44% respectivamente, respecto al diseño patrón. Sin embargo, Tolstoy et al. (2020), aplicó las mismas dosificaciones de cuarzo y obtuvieron mejoras mínimas en resistencia a la compresión respecto a su diseño patrón, logrando aumentos menores al 5%. Por otro lado, Hlavička, Hlavicka-Laczák y Lublój (2022) aumentaron su resistencia a la compresión gracias a la combinación de la arena de cuarzo en un 10% con productos puzolánicos con presencia de

sílice, aplicación respaldada por Vinh, Bazgenov y Aleksandrova (2019) al emplear la misma dosificación más porcentajes de cenizas volantes y humo sílico, obteniendo más del 10% de mejora. Kaplan et al. (2022) menciona que a medida que se incrementa la cantidad de polvo de cuarzo, las características mecánicas de las mezclas mejoran. Las mezclas de geopolímeros presentaron una resistencia a la compresión de 7 a 60 MPa (71.38 - 611.83 kg/cm²).

En lo investigado por Ni et al. (2024) demuestra que la resistencia a la compresión se ve mejorada con la proporción que emplea un 0.27 de cuarzo ultrafino, alcanzado una resistencia de 3306.94 kg/cm², mientras que, para tracción la mejora se ve en la misma proporción, pero con el uso de cuarzo fundido, siendo de 917.75 kg/cm². Cabe destacar que todas las proporciones con ambos empleos mejoran la resistencia a la tracción respecto al patrón. Residuos de vidrio y polvo de vidrio, Tabla 5.

Tabla 5. Valores de resistencia a la compresión con añadido de residuos y polvo de vidrio.

Material	Sustitución (%)	Curado	f'c (kg/cm2)	Referencia
Residuos de vidrio y polvo de vidrio	CP	28	219,24	(Arbeláez et al., 2022)
	5%	28	184,16	
	10%	28	212,66	
	15%	28	214,86	
	20%	28	231,48	
	25%	28	201,7	
	50%	28	203,89	
	1:0 (CCA + RV = 5%)	28	285,52	(Arbeláez et al., 2024)
	1:1 (CCA + RV = 5%)	28	293,68	
	1:2 (CCA + RV = 5%)	28	300,82	
	1:3 (CCA + RV = 5%)	28	326,31	(Segura et al., 2022) cemento por polvo de vidrio reciclado agregado por vidrio reciclado
	CP	28	217,5	
	25%	28	266,5	
	50%	28	239,6	
	25%	28	234,8	
	50%	28	226,1	
	0%	28	532,29	
	10%	28	531,15	
	20%	28	519,25	
	30%	28	509,69	
50%	28	417,2		
CP	7	7	334,26	(Mattos, Villarreal y Puga, 2023)
		14	382,7	
		28	429,3	
	10%	7	352,41	
		14	414	
		28	452,96	
	15%	7	316,52	
		14	375,87	
		28	433,99	
		28	194,77	
25%	28	188,65		
50%	28	185,59		

Se puede observar en la Tabla 5, que el hormigón patrón utilizado es variable y depende de cada investigación, sin embargo, todos están de acuerdo que la resistencia a la compresión aumenta cuando se adiciona polvo o residuos de vidrio en un 20% a 25%, alcanzando a los 28 días, un $f'c$ de 266.5 kg/cm² respecto a un patrón de 217.5 kg/cm² cuando se adiciona un 25% de vidrio reciclado.

Por su parte, Arbeláez et al. (2022) halló que al reemplazar el 20% del agregado fino con residuos de vidrio, el hormigón muestra la mejor resistencia

a la compresión, alcanzando un máximo de 22.7 Mpa (231.47 kg/cm²) siendo un incremento del 5.5% respecto al hormigón convencional, no obstante, Segura et al. (2022) opina diferente, él observó que al sustituir el 25% del agregado por vidrio reciclado, se logra una resistencia de 235.60 kg/cm² (23.104 Mpa), superando al estándar en un 8.0%. Por otra parte, Dhanabal y Sushmitha (2022) indica que se puede desarrollar una mezcla óptima si se utiliza un 10% de polvo de vidrio y un 30% de relaves de hierro. Residuos de cerámicos rojos, Tabla 6.

Tabla 6. Valores de resistencia a la compresión con añadido de residuos de cerámicos rojos.

Material	Sustitución (%)	Curado	F'c (kg/cm ²)	Referencia
Residuos de cerámicos rojos	CP	28	103,5	(Jansen et al., 2018) Influencia del contenido de cerámica roja del árido reciclado en las propiedades del hormigón permeable.
	10%	28	30,08	
	25%	28	32,63	
	50%	28	27,12	
	100%	28	20,39	
	CP	7	247,38	(Passos, Moreno y Marmorato, 2020) Durabilidad del hormigón elaborado con árido grueso procedente de residuos cerámicos rojos.
		28	305,92	
	40%	7	207,82	
		28	267,37	
	100%	7	167,54	(Cardoso, Lorenzetti y Mariana, 2018) Uso de residuos agroindustriales en las propiedades mecánicas del concreto
		28	194,15	
	CP	3	228,42	
		7	270,22	
		28	357,92	
12%	3	299,79		
	7	390,55		
	28	485,38		

Las dosificaciones empleadas en cada investigación de la tabla 6, fueron variadas, sin embargo, la mayoría desarrolló efectos adversos en cuanto a su resistencia a la compresión, disminuyéndola drásticamente con el aumento de los porcentajes de dicho agregado; dichos impactos, se intuye, se deberían a la presencia de arcilla en el producto ya industrializado, que sabiéndose de antemano, mejora mucho el tema de la trabajabilidad del hormigón, pero por el contrario, causa que el producto ya endurecido no cumpla con los valores de resistencia requeridos.

Jansen et al. (2018) descubrieron que ha medido que las dosificaciones de residuos de cerámico rojo aumentaban (10, 25, 50 y 100%), su resistencia a la compresión descendía considerablemente, llegando hasta 20.39 kg/cm² con 100% de reemplazo del agregado, un 19.7% del diseño patrón. Dichos resultados quedaron respaldados por Passos, Moreno y Marmorato (2020) quien al reemplazar la misma dosificación resultó con una resistencia a la compresión 21.52%

menor a la original. Sin embargo, la investigación de Cardoso, Lorenzetti y Mariana (2018) si obtuvo resultados positivos, y es que, gracias a 12% de reemplazo con residuos de cerámico rojo, se logró un 35.61% de mejora en la resistencia a la compresión a los 28 días de curado.

De acuerdo con Mejía et al. (2022), los cerámicos de baldosa y aparatos sanitarios hechos de residuos cerámicos tienen potencial para actuar como cemento. Aunque no se pudo determinar su capacidad cementante, estas mezclas contienen sustancias químicas que, al ser procesadas, podrían activarse y responder químicamente para preservar unidos los agregados. También es factible emplear los desechos cerámicos del ladrillo como componente adicional en mezclas de mortero destinadas a labores de construcción como mampostería, revoques y enlucidos. Además, se puede sustituir hasta un 5% del cemento tipo Pórtland por polvo de ladrillo cerámico en dichas actividades.

Tabla 7. Valores de resistencia a la compresión con añadido de otros derivados (pizarra).

Material	Sustitución (%)	Curado	f'c (kg/cm ²)	Referencia
Otros derivados (pizarra)	CP	3	132,56	(Fernández, Almenares y Otaño, 2021)
		7	155	
		28	234,53	
	30%	3	122,37	
		7	144,8	
		28	227,4	

Al utilizar residuos de pizarra como agregado el hormigón disminuye su resistencia a la compresión, llegando a 227.4 kg/cm² cuando se sustituye un 30%, fue incapaz de superar el $f'c$ 234.53 del hormigón patrón a una edad de 28 días.

CONCLUSIÓN

Los estudios analizados muestran que la adición de cuarzo triturado al hormigón $f'c$ 210 puede mejorar su resistencia a la compresión en ciertos casos, pero también puede disminuir la resistencia en otros, siendo la dosificación del 20% de cuarzo la que presenta mejores resultados en la resistencia a la compresión. Por otro lado, el uso de residuos de vidrio y polvo de vidrio en el hormigón al 25% puede aumentar la resistencia a la compresión en un 8% respecto al estándar, mientras que el uso de residuos cerámicos rojos tiende a disminuir la resistencia del hormigón.

Es importante evaluar cuidadosamente las propiedades y características de cada material antes de utilizarlos en la construcción, del mismo modo, se debe seguir investigando y evaluando los efectos de estos materiales en las propiedades del hormigón y del mortero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arbeláez, O. F., Senior, V., Rúa, A. Carvajal, J., Lasso, C. (2024). Influencia del polvo de vidrio en el comportamiento ambiental, térmico y mecánico del hormigón que contiene ceniza de cascarilla de arroz. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2023.06.004>
- Arbeláez, O. F., Agudelo, J. J., Acevedo, M., Valencia, S. (2022). Factores de emisión de concretos modificados con residuos de vidrio en reemplazo de los agregados finos. *Revista Ingeniare*, 30(2). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052022000200368>
- Arkansas Democrat Gazette (2023). Central Arkansas Water voices opposition to quartz mine near Lake Winona. Recuperado de: <https://www.arkansasonline.com/news/2023/aug/11/central-arkansas-utility-voices-opposition-to/#:~:text=Central%20Arkansas%20Water%20Board%20of,unjust%20burden%20on%20water%20ratepayers.%22>
- Bardales, F. L., Neyra, B. A. (2018). Influencia del cuarzo reemplazante del agregado grueso en las propiedades mecánicas del concreto, Trujillo 2018. Proyecto de grado (Bachiller en Ingeniería Civil). Perú: Universidad Privada del norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14966>
- Bonavetti, V. L.; Rahhal, V. F. (2006). Interacción de Adiciones Minerales en Pastas de Cemento. *Revista de La Construcción*, 5(2), 33-41. <https://www.redalyc.org/pdf/1276/127619380004.pdf>
- Caballero, P.W., Damiani, A. C., y Ruiz, A. (2021). Optimization of the concrete through the addition of nanosilice, using aggregates of the cantera de Añashuayco de Arequipa. *Revista de Ingeniería de Construcción*, 36(1), 71–87. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732021000100071>
- Candian, E. L., dos Santos, G. C., Covaes, D., Andréa, S. (2022). Pervious concrete with waste foundry sand: mechanical and hydraulic properties. *Revista Materia*, 27(1). <https://doi.org/10.1590/S1517-707620220001.1354>
- Cardoso, R., Lorenzetti, A. y Mariana, K. (2018). Produção de concreto autoadensável incorporado com resíduo da indústria de cerâmica vermelha. *Revista Matéria - Rio de Janeiro*, 23(3). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620180003.0500>

- Castillo Piscocoya, G. E., Chavarry Koosi, J. C., Peralta Panta, J. K., y Muñoz Pérez, S. P. (2021). Uso de residuos agroindustriales en las propiedades mecánicas del concreto: Una revisión literaria. *Revista Ingeniería*, 5(13), 123–142. <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v5i13.86>
- Dhanabal, P. y Sushmitha, K. S. (2022). Effect of Iron Ore Tailing and Glass Powder on Concrete Properties. *Revista Ingeniería de Construcción*, 37(1). <https://doi.org/10.7764/ric.00017.21>
- Días, L. V., Soares, S. M., Salvador, J. A., Ferreira, F. G. S. (2021). Evaluation of chloride migration in ultra-high performance concrete (UHPC) with glass powder. *Revista ALCONPAT*, 11(2), 64-75. <https://doi.org/10.21041/ra.v11i2.512>
- Fernández, C., Almenares, R. S., Otaño, J. A. (2021). Evaluación de la reactividad puzolánica de residuos de pizarras del depósito Tchihingue en Angola: Influencia de la composición mineralógica. *Revista Materia*, 26(3). <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210003.13042>
- Figueroa, T. y Palacio, R. (2013). Patologías, causas y soluciones del concreto arquitectónico en Medellín (pathologies, causes and solutions of architecture concrete in medellín). *Revista EIA*, 5(10), 121. <https://doi.org/10.24050/reia.v5i10.214>
- Flores, V., Jiménez, V., Pérez, A. (2018). Influencia de la incorporación de vidrio triturado en las propiedades y el comportamiento a alta temperatura de morteros de cemento, *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 57(6), 257-265, <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2018.03.001>
- Gutiérrez, E. P. (2014). Manejo de residuos en minería: la regulación como herramienta de desarrollo. Proyecto de grado (Bachiller en Ingeniería Ambiental). Colombia: Universidad de los Andes. 2014. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/17204/u703667.pdf>
- Hlavička, V., Hlavicka, L. E., Lublůy, E. (2022). Residual fracture mechanical properties of quartz and expanded clay aggregate concrete subjected to elevated temperature. *Revista Construction and Building Materials*, (328). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126845>
- Imcyc. (2017). Patología y durabilidad en el concreto. *Revista Construcción y Tecnología*, 6(12). <https://www.imcyc.com/revistacyt/MARZO%202017/MARZO17.pdf>
- Jansen, R., Krüger, P., Pereira, E., Barbosa, C., Ribas, M. (2018). Influência do teor de cerâmica vermelha do agregado reciclado nas propriedades do concreto permeável. Influencia del contenido de cerámica roja del árido reciclado en las propiedades del hormigón permeable. *Revista Matéria-Rio de Janeiro*, 23(3). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620180003.0497>
- Kaplan, G., Öz, A., Bayrak, B., Görkem, H. A., Çelebi, O., Cüneyt, A. (2022). Effect of quartz powder on mid-strength fly ash geopolymers at short curing time and low curing temperature. *Construction and Building Materials*, 329(1), 127153–127153. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127153>
- Karaca, H., Tekin, K., Bahadir, S. Kasap, Ö. (2022). Effects of particle size optimization of quartz sand on rheology and ductility of engineered cementitious composites. *Revista de la Construcción*, 21(2), 448-460. <http://dx.doi.org/10.7764/rdlc.21.2.447>
- Knight, B. H. (1949). Fallos en el hormigón: causas y remedios. *Revista Materiales de Construcción*, 009, 54–56. <https://doi.org/10.3989/mc.1949.i009.3409>
- Li, X., Shao, Y., Ma, G., Wang, L. (2024). A New 3D printing method and similar materials of the tunnel lining for the geomechanical model test. *Revista Construction and Building Materials*, 433(1). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136724>
- Mattos, R., Villareal, R., Puga K. L. (2023). Evaluación del concreto con vidrio reciclado molido como reemplazo parcial del agregado fino. *Revista ID Tecnológico*, 1(18). <https://n9.cl/83739>
- Márquez, C. A., Mata, J., Molina, J. R., Campillo, G. E., Vásquez, J., García, A., Vega, H. R. (2019). Estudio de siete tipos de cuarzo para su posible uso como blindaje contra fotones ionizantes. *Revista*

- Zacatecas, (1), 1-18. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/51/015/51015549.pdf
- Mejía, C. A., Sierra, L. J., Arboleda, S. A., y Zuluaga, U. (2021). Evaluación técnica del potencial cementante de arcillas provenientes de los residuos de la construcción y la demolición. *Revista Tecnológicas*, 24(52), e2038–e2038. <https://doi.org/10.22430/22565337.2038>
- Meraz, M., Tam, V. W., Hayet, M., Rahman, H., Sadiqul, N., Nazmus, M. (2023). Effect of various powder content on the properties of sustainable self-compacting concrete. *Revista Case Studies in Construction Materials*, 19(1), e02274–e02274. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02274>
- Ni, W., Cui, X., Yuan, J., Sun, W., Cui, C., Wu, Y. (2024). The influence of fiber, aggregate and cementitious materials on the mechanical properties of ultra-high content steel fiber reinforced reactive powder concrete. *Revista Construction and Building Materials* 431(1). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136530>
- OEFA (2023). PORTAL Interactivo de Fiscalización Ambiental (PIFA). <https://n9.cl/xzdiw>
- Orozco, M., Avila, Y., Restrepo, S., y Parody, A. (2018). Factors influencing the concrete quality: a survey to relevant actors of the concrete industry. *Revista de Ingeniería de Construcción*, 33(2), 161–172. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732018000200161>
- Passos, L., Moreno, A. L., Marmorato, C. E. (2020). Durabilidade de concretos produzidos com agregado graúdo proveniente de resíduo de cerâmica vermelha. Durabilidad del hormigón elaborado con árido grueso procedente de residuos cerámicos rojos. *Revista Materia*, 25(2). <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200002.1076>
- Patil A., Tatke, A., Vachhani, N., Patil, M., Gulhane, P., (2021). Garbage Classifying Application Using Deep Learning Techniques. *Revista IEEE*, (1), 122-130. <https://doi.org/10.1109/RTEICT52294.2021.9573599>
- Praveenkumar, T. R., Vijayalakshmi M. M., Meddah, M. S. (2019). Strengths and durability performances of blended cement concrete with TiO₂ nanoparticles and rice husk ash. *Revista Construction and Building Materials*, (217), 343-351. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.045>
- Ramos, M.I., Pérez, M. (2021). Characterization of mine tailings in their natural state and stabilized with cement, focused on construction. *Revista Ingeniería Investigación y Tecnología*, 23(2). <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2021.22.2.010>
- Rojas, R., Korzenowski, C., Jepef, F. R., Beraldin, R., Pinto, L. C., Campos, A. (2019). Investigación de diseños de mezcla para producir Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPRFC) usando ANOVA. *Revista Materia*, 24(2). <https://doi.org/10.1590/S1517-707620190002.0680>
- Saravia, Y. E. (2019). Aplicación de vidrio triturado reemplazando agregado grueso para diseño de mezcla de concreto f'c=210 kg/cm² en el distrito La Victoria – Chiclayo. Proyecto de grado (Bachiller en Ingeniería Civil). Perú: Universidad César Vallejo. 2019. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/39441?locale-attribute=es>
- Segura, L. A., Sigüenza, R. W., Solar, M. A., y Zamora, J. E. (2022). Efecto del uso de vidrio reciclado en el diseño de concreto.

- Revista Universidad Y Sociedad, 14(1), 179–192. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202022000100179&lang=es
- The Guardian (2021). Stones that sparked ‘diamond’ rush in South Africa are just quartz. <https://www.theguardian.com/world/2021/jun/20/stones-sparked-diamond-rush-quartz-tests-reveal>
- Toirac, J. (2009). La resistencia a la compresión del hormigón, condición necesaria pero no suficiente para el logro de la durabilidad de las obras, Revista Ciencia y Sociedad. 4, 463–504. <https://www.redalyc.org/pdf/870/87014516001.pdf>
- Tolstoy, A., Lesovik, V., Fediuk, R., Amran, M., Gunasekaran, M., Vatin, N. y Vasilev, Y. (2020). Production of Greener High-Strength Concrete Using Russian Quartz Sandstone Mine Waste Aggregates. Revista Materials, 13(23), 5575. <https://doi.org/10.3390/ma13235575>
- Vinh, N. D., Bazgenov, Y., M., Aleksandrova, O. V. (2019). Effect of quartz powder and mineral admixtures on the properties of high-performance concrete. Revista VESTHIL MGSU, 14(1), 102-117. <https://n9.cl/fbzxa>
- WTW (2023). Global Construction Rate Trend Report, Q1 2023. Recuperado de: <https://n9.cl/ek92e>
- Zhang, X., Bai, Y., Luo, Q. (2024). Exploring synergistic effects and hydration mechanisms in metakaolin-blended cement system with varying metakaolin and wollastonite content. Revista Construction and Building Materials 425(1). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135962>