

Bloques de concreto con adición de ceniza de caña de azúcar y concreto reciclado en Lambayeque, Perú

Concrete blocks with the addition of sugar cane ash and recycled concrete in Lambayeque, Peru

Disney Román ¹* y Guzmán Mendoza ².

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar las propiedades de resistencia a la compresión, flexión y tracción de bloques de concreto convencionales y adicionados con ceniza de caña de azúcar más escombrera (CCAЕ); la dosis de remplazo es respecto al peso en proporciones de 0%, 5%, 10% y 15% respectivamente, el estudio es experimental, la población muestra fue 180 bloques de concreto, los instrumentos como medio fueron moldes y equipos de laboratorio de suelos. El resultado es una resistencia a la compresión de 51.08, 42.58, 53.79 y 46.23 Kg/cm² respectivamente a los 28 días, resistencia a la flexión de 5.80, 4.44, 6.19, 5.22 kg/cm² respectivamente a los 28 días y una resistencia a la tracción de 1.03, 0.91, 1.09, 0.96 kg/cm² respectivamente a los 28 días, la ceniza y el concreto reciclado tienen una influencia del 10%. Finalmente, obtuvimos que la adición del 10% de CCACR tiene mejores resultados respecto a la muestra estándar (0% de CCACR), además cumple con norma E.070 de albañilería pudiendo trabajar como bloque no portante y portante.

Palabras clave: Escombrera, concreto, reciclado, albañilería, bloques

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the properties of compressive, flexural, and tensile strength of conventional concrete blocks and those added with sugar cane ash plus ash residue (CCAЕ); the replacement dose is concerning the weight in proportions of 0%, 5%, 10%, and 15% respectively, the study is experimental, the sample population was 180 concrete blocks, the instruments as means were molds and soil laboratory equipment. The result is a compressive strength of 51.08, 42.58, 53.79, and 46.23 kg/cm² respectively at 28 days, the flexural strength of 5.80, 4.44, 6.19, 5.22 kg/cm² respectively at 28 days, and tensile strength of 1.03, 0.91, 1.09, 0.96 kg/cm² respectively at 28 days, ash and recycled concrete influence 10%. Finally, we obtained that the addition of 10% CCACR has better results concerning the standard sample (0% CCACR), in addition, it complies with the E.070 masonry standard and can work as a non-load-bearing and load-bearing block.

Keywords: Rubble, Concrete, Recycling, Masonry, Blocks

Recibido: 29/11/2023. Aceptado: 22/12/2023

* Autor para correspondencia

¹. Universidad Privada Cesar Vallejo, Perú. Email: disneyroman@gmail.com

². Universidad Privada Cesar Vallejo, Perú. Email: guzmanmendozarojas@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Las deficiencias del concreto, vinculadas a su naturaleza frágil y a la escasa durabilidad de su resistencia, generan problemas como la formación futura de grietas, baja resistencia a la tracción y limitada capacidad de deformación. Ante estas limitaciones, es crucial explorar nuevas alternativas de diseño que permitan obtener un concreto de calidad, incorporando materiales innovadores, como el uso de residuos, para mejorar sus propiedades (Nunton et al., 2022). Dada la creciente preocupación por la contaminación ambiental a nivel global, la industria del concreto se ve instada a adoptar prácticas más sostenibles. En este contexto, el concreto reciclado emerge como una alternativa adecuada y sostenible, especialmente en países con un consumo masivo de concreto, como China y Estados Unidos, donde la producción anual de cemento alcanza cifras considerables, de 85.9 millones de toneladas (Song et al., 2019).

El concreto reciclado se obtiene principalmente de la demolición de construcciones, incluyendo viviendas, cambios de pisos, empedrados o pavimentos (Ingenieros de Minas de Madrid, 2015). La cantidad significativa de residuos de construcción y demolición, evaluada por Khayat en más de 535 toneladas de escombros en los Estados Unidos, destaca la necesidad de abordar problemas medioambientales, la sobreexplotación de material primario y el agotamiento de agregados naturales asociados con la producción tradicional de concreto.

En Lambayeque, la deficiente recolección de residuos sólidos se atribuye a una producción per cápita alarmante de 116,431.92 kg/hab/día en zonas urbanas domiciliarias (Walter Sánchez, 2019, p.15). Esta situación genera un impacto ambiental y de salud pública, afectando tanto al suelo como a los residentes circundantes. Para abordar este problema, el uso del concreto reciclado emerge como una solución viable, permitiendo una cuidadosa selección de materiales a través de técnicas como el tamizado, lo que resulta en una mejora en la trabajabilidad y resistencia del concreto (Nedeljković et al., 2021). Además, la investigación de Wu et al. (2022) destaca la relevancia de considerar la ceniza de caña de azúcar, un subproducto abundante en la región, para el desarrollo de nuevos materiales de construcción.

Almeida et al. (2019) señalan que el bagazo de caña de azúcar, en su mayoría, se utiliza como combustible en generadores combinados para la producción de electricidad, generando cenizas como subproducto final en la cadena de producción de azúcar. Aproximadamente, una tonelada de bagazo puede producir entre 25 y 40 kg de ceniza. Kolawole et al. (2021) destaca que estas cenizas, desechadas por las industrias azucareras, poseen un alto contenido de componentes puzolánicos, generados durante la extracción del líquido de los tallos de las cañas de azúcar, conocidos como bagazos de caña de azúcar. Lyra et al. (2019) coincide en que las cenizas de este material son un residuo común de la industria

azucarera, mayormente utilizado como combustible. Además, Garret et al. (2020) sostienen que estas cenizas son ricas en sílice amorfa y pueden funcionar como materiales puzolánicos en el concreto. Su composición incluye un 6.83% de óxido de calcio, 71.36% de óxido de silicio, 11.2% de óxido de aluminio, 3.795% de óxido de hierro y 1.56% de óxido de magnesio.

Varios investigadores han abordado la problemática Prabhu et al. (2019), investigó los efectos de la adición de cenizas de bagazo en la elaboración de ladrillos. Se llevaron a cabo pruebas utilizando bloques con incorporación de ceniza de bagazo, y los resultados mostraron que al utilizar porcentajes del 6%, 8%, 16% y 20%, se obtuvieron resistencias a la compresión de 4.00, 4.20, 5.10 y 6.30 N/mm² respectivamente. Garrett et al. (2020), evaluó el efecto de los reemplazos parciales del cemento mediante la inclusión de cenizas de bagazo de caña de azúcar y de cáscara de arroz en las mezclas. Se realizaron pruebas para determinar las resistencias. Los resultados indicaron que al utilizar porcentajes del 0%, 10%, 20% y 30% de cenizas de bagazo de caña de azúcar y cáscara de arroz, se lograron resistencias a la compresión de 18, 25, 17 y 18.5 MPa para el primer material y 20, 25 y 24.5 para el segundo material, concluyeron que el 10% de cenizas de bagazo de caña de azúcar fue el más adecuado, mostrando resultados significativos en la resistencia. Farrel (1967) realizó ensayos en suelos con una amplia gradación, desde arena gruesa hasta arcilla, encontrando que la resistencia a la tracción representaba aproximadamente el 10% de la resistencia a la compresión ($\sigma_t/\sigma_c = 0.1$). Por otro lado, Ottazzi (2004) señaló que la relación entre resistencia a la tracción y resistencia a la compresión se sitúa en un rango de 8 a 15% de la resistencia a la compresión. Además, Gerardo A. Rivera L. (2013), estableció correlaciones entre la resistencia a la flexión y las resistencias a la compresión y tensión, concluyendo que el módulo de rotura muestra valores que varían entre el 10% y el 20% de la resistencia a la compresión.

La situación en Perú en 2022 revela que la producción de caña de azúcar superó las 768 mil toneladas, con una variación del -0.5% en comparación con 2021, según datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2022). Durante el proceso de producción, la quema del bagazo de caña de azúcar genera ceniza, la cual, hasta ese momento, carece de utilidad para las empresas. En el ámbito de la construcción, la norma E.070 de albañilería en Perú establece valores mínimos de resistencia a la compresión para bloques. Conforme a esta normativa, los bloques destinados a muros no portantes deben tener resistencias mínimas de 20 kg/cm², mientras que los bloques de muros portantes deben cumplir con resistencias mínimas de 50 kg/cm² (RNE, 2019). Estos parámetros son fundamentales para contextualizar la investigación sobre la utilización de ceniza de bagazo de caña de azúcar en la elaboración de bloques de albañilería.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo y diseño de investigación: Según Villanueva (2022), el estudio de tipo aplicado tiene como propósito investigar y buscar soluciones basadas en la teoría para abordar problemas a través de los objetivos del estudio. Finalmente, Sampieri R. et al. (2004) mencionan que el enfoque cuantitativo se basa en un esquema metódico y lógico, buscando formular preguntas de investigación e hipótesis para su posterior demostración.

Variables y Operacionalización: En el diseño experimental propuesto, la variable independiente es la adición de ceniza de caña de azúcar, cuya actividad puzolánica se ha demostrado óptima cuando es quemada a temperaturas de 300, 400, 500 y 600°C. La investigación específica sugiere que la temperatura adecuada para obtener una alta reactividad puzolánica es de 600°C, con un índice puzolánico del 77% (Ma-tay, 2014, p. 27). Como variable independiente dos, se considera el concreto reciclado, generado a partir de residuos derivados de la demolición de construcciones, principalmente viviendas, así como cambios de pisos, empedrados o pavimentos (Ingenieros de Minas de Madrid, 2015). La dosificación por peso se determinará para encontrar el porcentaje óptimo de utilización en la construcción de bloques.

Población, muestra y muestreo: Según Arias (2006, p. 81), la población se define como un conjunto de elementos, limitado o ilimitado. En este contexto, la población para el presente estudio está conformada por 180 bloques con medidas de 40x12x20 cm. Dado que es posible tomar alrededor del 30% de la población para obtener una muestra muy representativa (Ramírez, 1999, p. 91), y considerando que la población es inferior a 50 individuos, siendo igual a la muestra (Hernández citado en Castro, 2003, p. 69), se determina que la muestra será igual a la población, es decir, 180 bloques. De estos, 45 bloques se destinarán para determinar la muestra estándar, con 5 muestras patrón por cada ensayo y edades de 7, 14 y 28 días, mientras que los restantes 135 bloques se utilizarán para las diferentes dosificaciones. Hernández et al. (2006) indican que el muestreo busca explorar las relaciones entre la distribución de la variable "y" en la población "z" y la distribución de la misma variable en la muestra en estudio. Por lo tanto, el muestreo se realiza mediante un muestreo aleatorio no probabilístico, utilizado en poblaciones (Arias, 2006, p. 83), como técnica para seleccionar los bloques a utilizar en las pruebas.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos: La técnica seleccionada para el estudio fue la observación directa, ya que implica una observación cuidadosa y detallada, registrando los datos obtenidos directamente del proceso de ensayo. Como instrumento se utilizaron fichas de ensayos de materiales.

Validez: Este término se refiere al grado en que un instrumento llega a ser capaz de medir las variables permitiendo su respectiva evaluación que tendrá relación con la finalidad del estudio, dado ello, cada una de las pruebas se realizarán en condiciones óptimas con instrumentos y máquinas que se relacionen con las normas de calidad requeridas, y estarán avaladas por un certificado a fin de garantizar que los resultados que se alcancen por el laboratorio no hayan sido alterados de ninguna manera.

Confiabilidad: Este término tiene por fin determinar la precisión de los resultados obtenidos en diversas situaciones al emplear los respectivos instrumentos, en función a ello, la fiabilidad de los equipos, y de las pruebas serán confiables por ser realizadas en el laboratorio de mecánica de suelos con ayuda de equipos clasificados y certificados, y tendrá por fin evitar la obtención de resultados errados.

Procedimientos: Primero se realizó la recolección del concreto reciclado de los accesos a la urbanización de Estancia del Valle de Chiclayo. Segundo adquirió la ceniza de bagazo de caña de azúcar en la Agroindustria Pucalá de la localidad Pomalca, que resulta de la combustión del bagazo de caña en la caldera a temperaturas altas. Tercero se adquirió la arena gruesa de la cantera San Nicolas - Pátapo - Ferreñafe - Lambayeque y el confitillo de la cantera Centro - La Cría - Pátapo - Ferreñafe - Lambayeque. Cuarto se limpió el concreto reciclado para eliminar materia orgánica u otros contaminantes que afecten el concreto; mediante el uso de una pistola hidrolavadora 48V inalámbrico de alta presión (ver Figura 01) y se procedió a su trituración con tamaños menores a ½”.



Figura 1. Limpieza del concreto reciclado con uso de pistola hidrolavadora 48V inalámbrico de alta presión.

Quinto se evaluaron las características físicas y mecánicas de los materiales teniendo en cuenta la Norma Técnica E.070 Albañilería y ASTM, como: Granulometría del agregado según NTP 400.012, NTP 400.037, NTP 339.185 contenido de humedad, peso específico, absorción según la NTP 399.604 y

400.021 y peso unitario según la NPT 400.017. Para el análisis granulométrico, se pesan 500 g de muestra de arena, luego se para por el tamiz, 3/8, 4,8,16,30, 50 100, 200. Después de agitar se separa cada tamaño de agregado, se pesa cada uno de estos para medir el porcentaje que tiene cada uno respecto del peso total. Sexto se adquirió cemento QHUNA TIPO I y demás materiales a emplear en la elaboración de los bloques de concreto. Séptimo se tamizo los residuos de ceniza de bagazo de caña de azúcar para eliminar partículas haciendo uso del tamiz #16. Octavo se realizó el diseño de mezcla para los respectivos ensayos, considerando al concreto patrón y al concreto con RCBCACR al 5%, 10% y 15% utilizando para el diseño de mezclas el método ACI 211, mediante hoja de cálculo. Noveno se realizó la dosificación y elaboración de los bloques de concreto, considerando al concreto patrón y al concreto con RCBCACR al 5%, 10% y 15% utilizando para el diseño de mezclas el método ACI 211. Décimo se elaboraron los bloques de concreto (muestra) de manera artesanal utilizando la dosificación indicada para cada muestra, teniendo como insumos arena amarilla, confitillo de ½ hasta la #16, cemento, concreto reciclado, cemento, agua. Décimo primero se realizará la rotura de las muestras en un periodo de 7, 14 y 28 días, para los ensayos de resistencia a la compresión, flexión y tracción. según la NTP 399.604 y 399.6013, según la NTP 339.079 y según la NTP 339.084. Finalmente se realizará la recopilación de datos obtenidos en los ensayos, dentro de los cuales serán registrados en Excel, además se realizará la comparativa de estos mismos, para posterior a ello, realizar las conclusiones y recomendaciones del informe final. La Figura 2A y 2B se muestra el flujograma del procedimiento del desarrollo de la investigación.

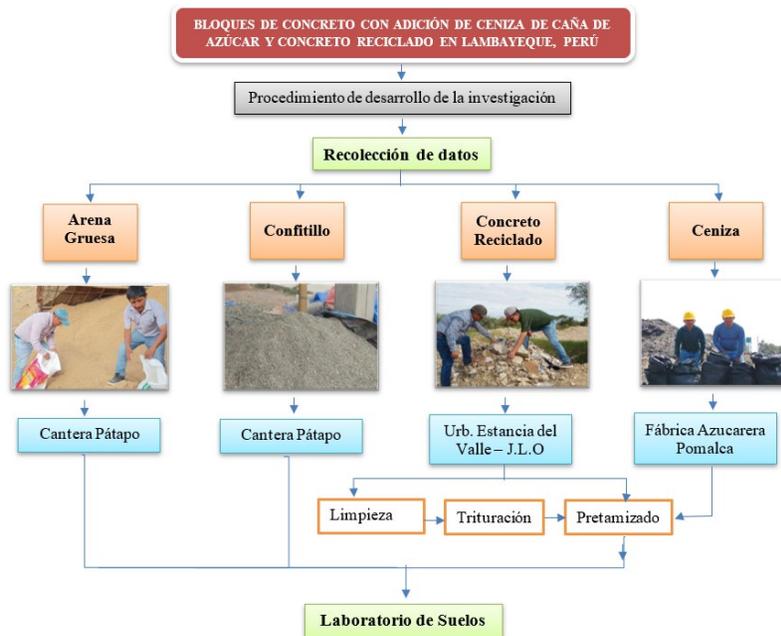


Figura 2. (A) Se presenta el flujograma de procedimientos de desarrollo de la investigación

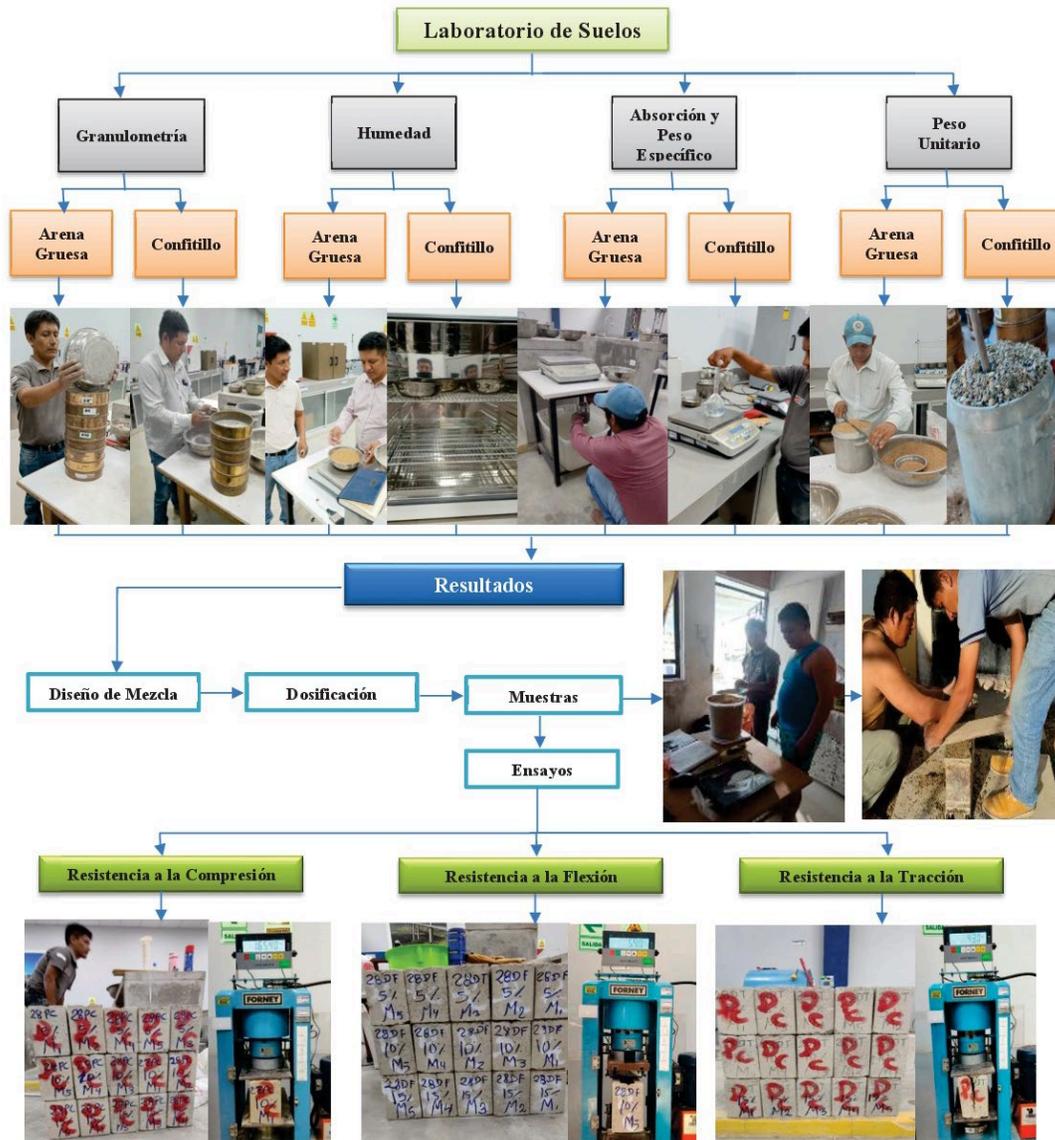


Figura 2. (B) Se presenta el flujograma de procedimientos de desarrollo de la investigación

Método de análisis de datos:

En la presente investigación se procesaron y analizaron los datos haciendo uso de los instrumentos estandarizados para cada uno de los ensayos RNE, Norma Técnica E.070 Albañilería, ACI, NTP y ASTM., todo ello se analizó y se presenta a través de tablas y gráficos estadísticos haciendo uso del software Microsoft Excel; asimismo el análisis estadístico haciendo uso del software SPSS (La prueba de normalidad para definir si la diferencia que existe entre las dosis es significativa o no, la prueba ANOVA que nos permitirá comparar todos los diseños y determinar si son iguales entre sí o se ven

afectadas por los porcentajes reemplazados de manera significativa y la prueba HSD Tukey para determinar cuál de las dosis es el de mejor comportamiento).

Aspectos éticos:

Los autores del estudio cumplen con los principios éticos establecidos en los Código de Ética, del cual se basa en la integridad en cada labor de estudio científico y gestión, honestidad intelectual en cada aspecto que abarca el estudio, la objetividad e imparcialidad que se basa en cómo relacionarse laboral y profesionalmente; la veracidad, justicia y responsabilidad para ejecutar y difundir cada resultado que logre alcanzarse por medio del estudio, se respetará intelectualmente los derechos de citación de cada autor nacional e internacional según ISO 690, la privacidad se basará en salvaguardar la información recolectada de manera segura.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestra los resultados finales de la resistencia a la compresión con adición de CCAE en 0%, 5%, 10% y 15%, para una tanda de 5 muestras, siendo la dosis del 10% la de mejor resistencia con un 53.79 kg/cm² con adición de CCAE.

Tabla 1. Consolidado de Resistencia de las muestras a la compresión con 0%, 5%, 10% 15% de adición de CCAE

Descripción	Fecha de Rotura		Edad (días)	Resistencia F'b promedio (kg/cm ²)	Resistencia F'b Diseño (kg/cm ²)	(%)
	Moldeo	Rotura				
C - 0% Ceniza y C.R.	29/05/2023	5/06/2023	7.00	39.51	-	-
C - 0% Ceniza y C.R.	29/05/2023	12/06/2023	14.00	45.69	-	-
C - 0% Ceniza y C.R.	29/05/2023	26/06/2023	28.00	51.08	-	-
C - 5% Ceniza y C.R.	30/06/2023	7/07/2023	7	38.46	51.08	75%
C - 5% Ceniza y C.R.	30/06/2023	14/07/2023	14	38.91	51.08	76%
C - 5% Ceniza y C.R.	30/06/2023	28/07/2023	28	42.58	51.08	83%
C - 10% ceniza y C.R.	30/05/2023	6/06/2023	7	41.00	51.08	80%
C - 10% ceniza y C.R.	30/05/2023	13/06/2023	14	47.60	51.08	93%
C - 10% ceniza y C.R.	30/05/2023	27/06/2023	28	53.79	51.08	105%
C - 15% Ceniza y C.R.	30/05/2023	6/06/2023	7	38.76	51.08	76%
C - 15% Ceniza y C.R.	30/05/2023	13/06/2023	14	40.80	51.08	80%
C - 15% Ceniza y C.R.	30/05/2023	27/06/2023	28	46.23	51.08	90%

En la Figura 3 se muestra la adición de 10% de CCAE, supera en resistencia a las demás muestras, teniendo resistencia a la compresión de 53.79 kg/cm² a los 28 días, incluso por encima de la muestra patrón.

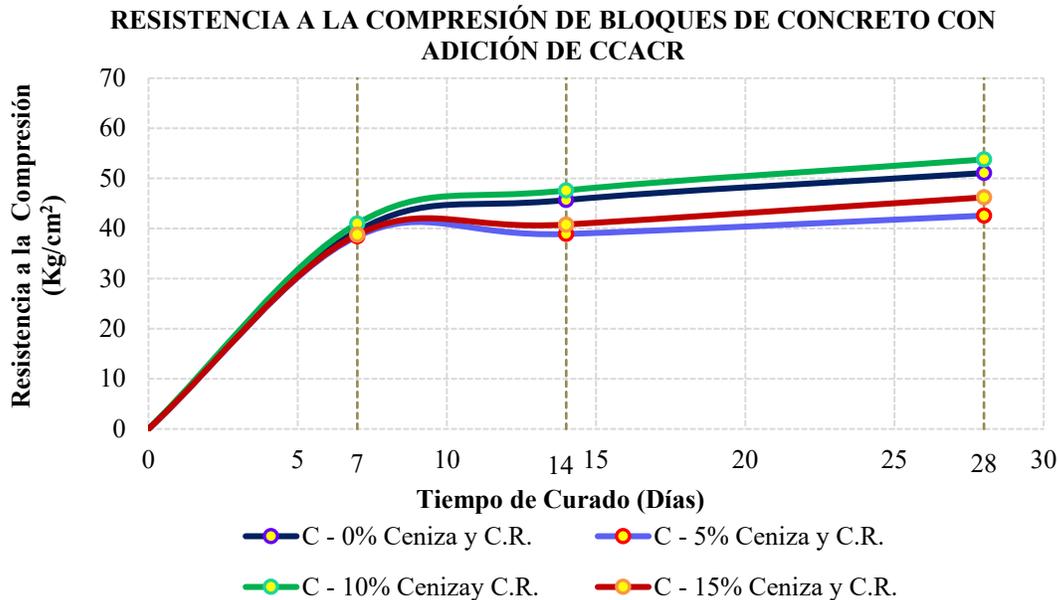


Figura 3. Resistencia a la compresión de los bloques de concreto con adición de CCAE

En la Tabla 2 se muestra un resumen de la resistencia a la compresión de las muestras donde la adición de 10% de CCAE, supera en resistencia con 53.79 kg/cm² a los 28 días.

Tabla 2. Resumen de resistencia a la compresión de los bloques de concreto con adición de CCAE al 0%, 5%, 10% y 15%

Resistencia a la compresión (Kg/cm²)			
Muestra	7 días	14 días	28 días
0%	39.51	45.69	51.08
5%	38.46	38.91	42.58
10%	41.00	47.60	53.79
15%	38.76	40.80	46.23

En la Figura 4 se presenta los resultados promedios de la adición de CCAE en 5%, 10% y 15%, siendo la adición de 10% de CCAE a los 28 días de edad la que presenta mayor resistencia a la compresión respecto las demás dosis, superando a la muestra patrón en un 5% y puede trabajar como bloque NP y P, además, si se disminuye o aumenta la adición de 10% la resistencia a la compresión baja.

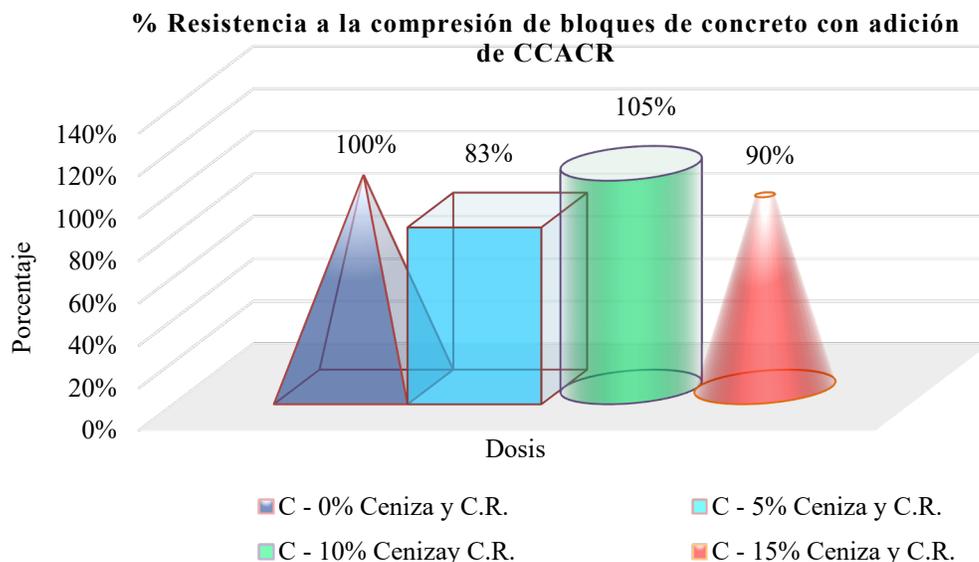


Figura 4. Porcentual de la resistencia a la compresión de los bloques de concreto con adición de CCAE

En la Tabla 3 se muestra los resultados finales de la resistencia a la flexión con adición de CCAE en 0%, 5%, 10% y 15%, para una tanda de 5 muestras, siendo la dosis del 10% la de mejor resistencia con un 6.19 kg/cm^2 .

Tabla 3. Consolidado de Resistencia de las muestras a la flexión con 0%, 5%, 10% 15% de adición de CCAE.

Descripción	Fecha de Rotura		Edad (días)	Mr promedio (Kg/cm ²)	Mr Diseño (Kg/cm ²)	%
	Moldeo	Rotura				
F - 0% Ceniza y C.R.	1/06/2023	8/06/2023	7	2.9	-	-
F - 0% Ceniza y C.R.	1/06/2023	15/06/2023	14	4.5	-	-
F - 0% Ceniza y C.R.	1/06/2023	29/06/2023	28	5.8	-	-
F - 5% Ceniza y C.R.	1/06/2023	8/06/2023	7	2.0	5.8	34%
F - 5% Ceniza y C.R.	1/06/2023	15/06/2023	14	3.6	5.8	62%
F - 5% Ceniza y C.R.	1/06/2023	29/06/2023	28	4.4	5.8	77%
F - 10% Ceniza y C.R.	1/06/2023	8/06/2023	7	3.2	5.8	55%
F - 10% Ceniza y C.R.	1/06/2023	15/06/2023	14	4.6	5.8	79%
F - 10% Ceniza y C.R.	1/06/2023	29/06/2023	28	6.19	5.8	107%
F - 15% Ceniza y C.R.	1/06/2023	8/06/2023	7	2.3	5.8	39%
F - 15% Ceniza y C.R.	1/06/2023	15/06/2023	14	3.8	5.8	65%
F - 15% Ceniza y C.R.	1/06/2023	29/06/2023	28	5.2	5.8	90%

En la Figura 5 se muestra los resultados finales de la resistencia a la flexión con adición de CCAE en 0%, 5%, 10% y 15%, para una tanda de 5 muestras, siendo la dosis del 10% la de mejor resistencia con un 6.19 kg/cm², por encima de la muestra patrón.

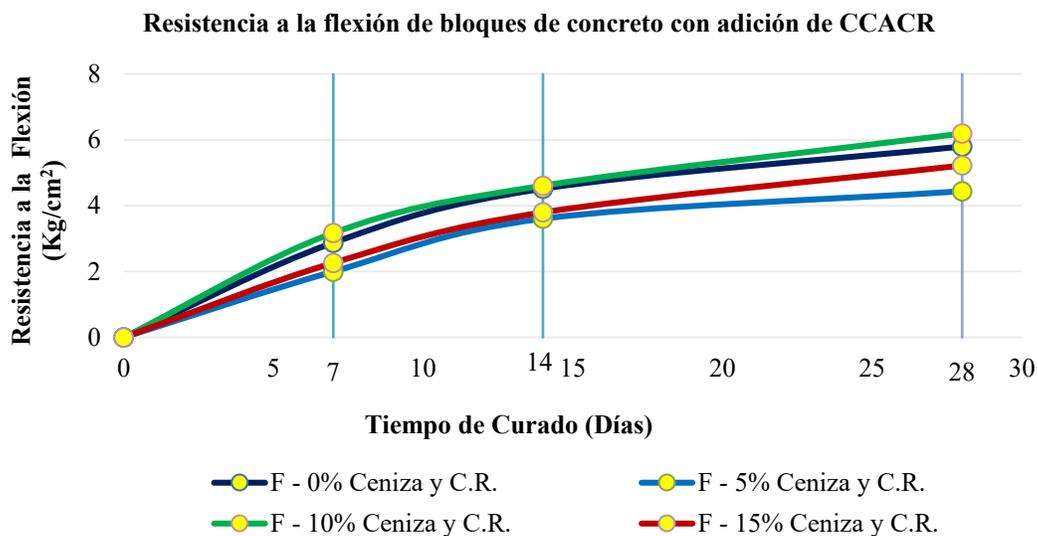


Figura 5. Resistencia a la flexión de los bloques de concreto con adición de CCAE

En la Table 4 se muestra un resumen de la resistencia a la flexión de las muestras donde la adición de 10% de CCAE, supera en resistencia con 6.19 kg/cm² a los 28 días.

Tabla 4. Resumen de resistencia a la flexión de los bloques de concreto con adición de CCAE.

Muestra	Resistencia a la flexión (Kg/cm ²)		
	7 días	14 días	28 días
0%	2.87	4.52	5.80
5%	2.00	3.60	4.44
10%	3.17	4.61	6.19
15%	2.26	3.80	5.22

En la Figura 6 se refleja los resultados promedios de los bloques de concreto con adición de CCAE en 5 %, 10% y 15%, donde la adición del 10% de CCAE a los 28 días de edad, siendo la dosis de mayor resistencia a la flexión, superando la estándar en un 7%, y si se aumenta o baja la dosis disminuye la resistencia.

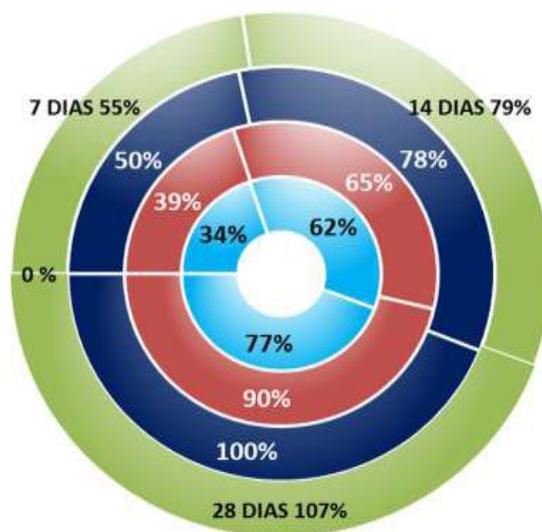


Figura 6. Resistencia a la flexión de los bloques de concreto con adición de CCAE

En la Tabla 5 se muestra los resultados finales de la resistencia a la tracción con adición de CCAE en 0%, 5%, 10% y 15%, para una tanda de 5 muestras, siendo la dosis del 10% la de mejor resistencia a la tracción con 1.09 kg/cm^2 .

Tabla 5. Consolidado de Resistencia de las muestras a la tracción con 0%, 5%, 10% 15% de adición de CCAE

Descripción	Fecha de Rotura		Edad (días)	Resistencia a la Tracción Indirecta promedio (kg/cm^2)	Resistencia Diseño (kg/cm^2)	(%)
	Moldeo	Rotura				
T - 0% Ceniza y C.R.	2/06/2023	9/06/2023	7.00	1.19	-	-
T - 0% Ceniza y C.R.	2/06/2023	16/06/2023	14.00	1.09	-	-
T - 0% Ceniza y C.R.	2/06/2023	30/06/2023	28.00	1.03	-	-
T - 5% Ceniza y C.R.	2/06/2023	9/06/2023	7	1.02	1.03	99%
T - 5% Ceniza y C.R.	2/06/2023	16/06/2023	14	1.01	1.03	98%
T - 5% Ceniza y C.R.	2/06/2023	30/06/2023	28	0.91	1.03	88%
T - 10% Ceniza y C.R.	2/06/2023	9/06/2023	7	1.23	1.03	120%
T - 10% Ceniza y C.R.	2/06/2023	16/06/2023	14	1.13	1.03	109%
T - 10% Ceniza y C.R.	2/06/2023	30/06/2023	28	1.09	1.03	105%
T - 15% Ceniza y C.R.	2/06/2023	9/06/2023	7	1.11	1.03	107%
T - 15% Ceniza y C.R.	2/06/2023	16/06/2023	14	1.04	1.03	101%
T - 15% Ceniza y C.R.	2/06/2023	30/06/2023	28	0.96	1.03	93%

En la Figura 7 se muestra los resultados finales de la resistencia a la tracción con adición de CCAE en 0%, 5%, 10% y 15%, por encima de la muestra patrón.

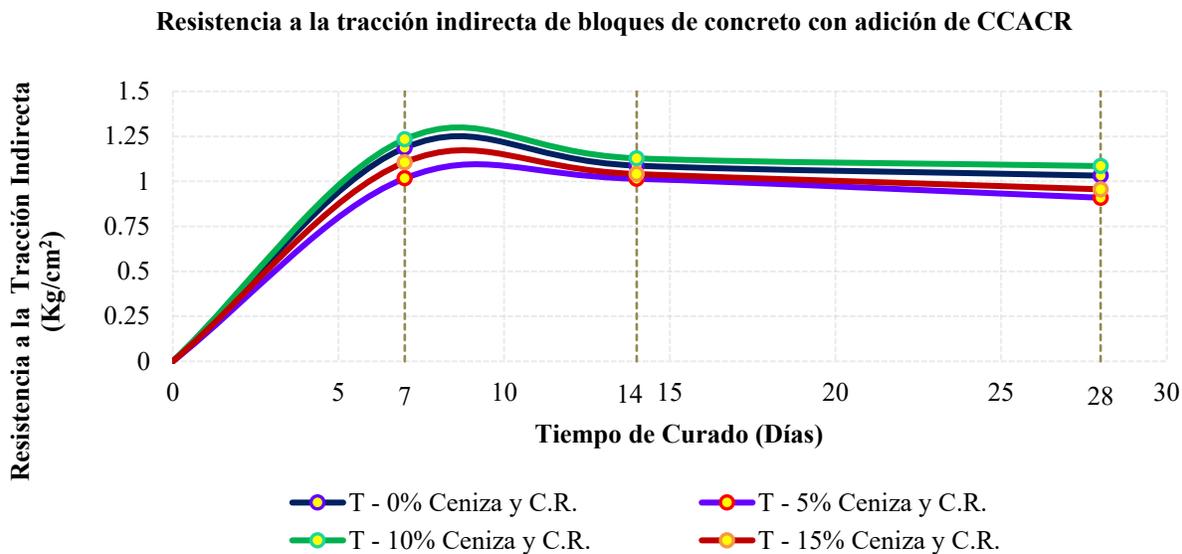


Figura 7. Resistencia a la tracción de los bloques de concreto con adición de CCAE

En la Tabla 6 se muestra el resumen de la resistencia a la tracción de las muestras, donde la adición de 10% de CCAE, supera en resistencia con 1.09 kg/cm² a los 28 días.

Tabla 6. Resumen de resistencia a la tracción de los bloques de concreto con adición de CCAE.

Resistencia a la tracción (Kg/cm²)			
Muestra	7 días	14 días	28 días
0%	1.19	1.09	1.03
5%	1.02	1.01	0.91
10%	1.23	1.13	1.09
15%	1.11	1.04	0.96

En la Figura 8 se refleja los resultados promedios de los bloques de concreto con adición de CCAE en 5%, 10% y 15%, de los 3 grupos, donde la adición de 10 % de CCAE es la que superaron al patrón en resistencia a la tracción a los 28 días de edad.

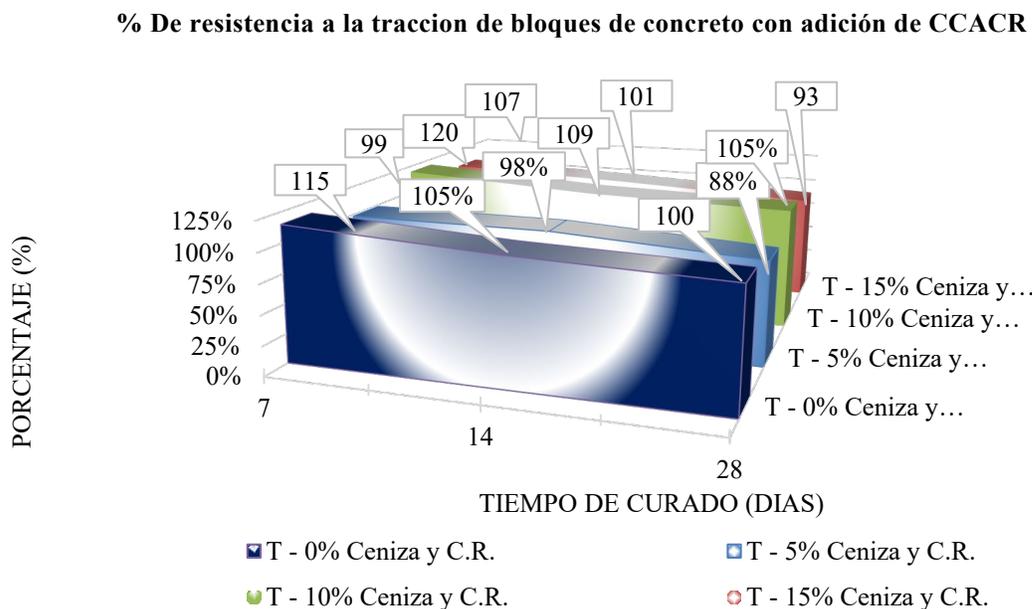


Figura 8. Resistencia a la tracción de los bloques de concreto con adición de CCAE

En la Tabla 7 se muestra una relación que existe entre la compresión y la flexión, Gerardo A. Rivera L. (2013); indica que la relación varía entre un 10% y un 20% de la resistencia a la compresión, cumplen las tres dosis la condición, pero la dosis del 10% es mayor con 6.19%.

Tabla 7. Relación compresión Vs flexión de bloques de concreto con adición de CCAE

Edad Especimen	Dosis	Resistencia a la Compresión promedio (kg/cm ²)	Resistencia a la Flexión promedio (Kg/cm ²) $10\%F'_c \leq M_r \leq 20\%F'_c$		
7		39.51	3.95	2.87	7.90
14		45.69	4.57	4.52	9.14
28	0%	51.08	5.11	5.80	10.22
7		38.46	3.85	2.00	7.69
14		38.91	3.89	3.60	7.78
28	5%	42.58	4.26	4.44	8.52
7		41.00	4.10	3.17	8.20
14		47.60	4.76	4.61	9.52
28	10%	53.79	5.38	6.19	10.76
7		38.76	3.88	2.26	7.75
14		40.80	4.08	3.80	8.16
28	15%	46.23	4.62	5.22	9.25

En la Figura 9 se refleja la relación de la resistencia a la compresión vs la resistencia a la flexión de los Bloques de concreto con adición de CCAE en 5%, 10% y 15%, su la relación de la resistencia a la compresión vs resistencia a la flexión, se mantiene el 10% de adición como predominante, además si tenemos en cuenta los parámetros promedios referenciales para este estudio oscila entre el 10% - 20% (Gerardo A. Rivera L), la relación de resistencia a la compresión y la flexión, lo que indicaría que la adición de CCAE a un 10% si trabajarían con esfuerzos a flexión.

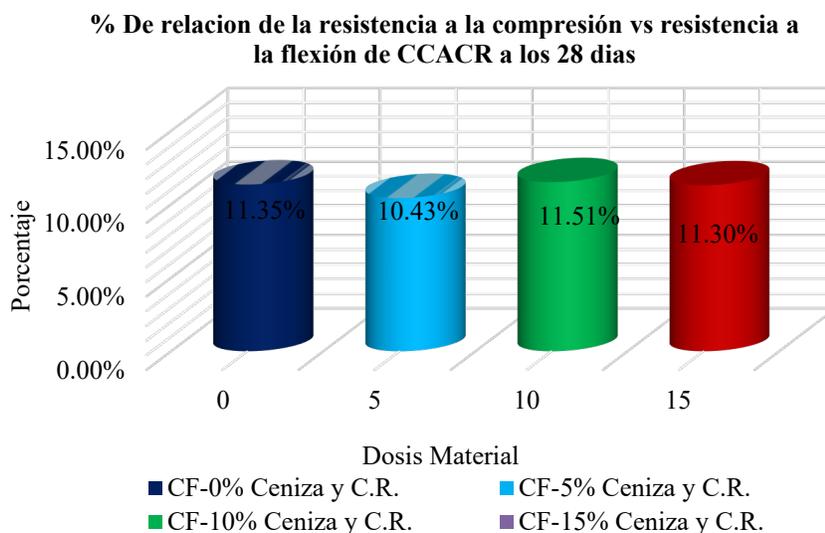


Figura 9. Relación de la resistencia a la compresión Vs Resistencia a la flexión de bloques de concreto con adición de CCAE a los 28 días.

En la Tabla 8 se muestra la relación entre la resistencia a la compresión y la tracción, Otazzi (2004); indica que la relación varía entre un 8% y un 15% de la resistencia a la compresión, lo cual no cumplen las tres dosis la condición, pero la dosis del 10% es mayor con 1.09%, esto no cumple teniendo en cuenta que el bloque no trabaja a tracción.

Tabla 8. Porcentaje de relación de la resistencia a la compresión vs resistencia a la Tracción Indirecta de bloques de concreto con adición de CCAE a los 28 días.

Edad Especimen	Dosis	Resistencia a la Compresión promedio (kg/cm ²)	Resistencia a la Tracción Indirecta promedio (kg/cm ²) 8%F'c<Mr<15%F'c		
7		39.51	3.16	1.19	5.93
14		45.69	3.66	1.09	6.85
28	0%	51.08	4.09	1.03	7.66
7		38.46	3.08	1.02	5.77
14		38.91	3.11	1.01	5.84

28	5%	42.58	3.41	0.91	6.39
7		41.00	3.28	1.23	6.15
14		47.60	3.81	1.13	7.14
28	10%	53.79	4.30	1.09	8.07
7		38.76	3.10	1.11	5.81
14		40.80	3.26	1.04	6.12
28	15%	46.23	3.70	0.96	6.93

En la Figura 10 se refleja la relación de la resistencia a la compresión vs la resistencia a la tracción indirecta de los Bloques de concreto con adición de CCAE en 5%, 10% y 15%, muestra una tendencia similar respecto a la muestra patrón, y si tenemos en cuenta los parámetros promedios referenciales para este estudio oscila entre el 8% - 15% (Farrel), de la relación de resistencia a la compresión vs la tracción indirecta, estos están considerablemente por debajo de los parámetros, indicando que la adición de CCAE a los bloques de concreto no aportan resistencia a esfuerzos de tracción.

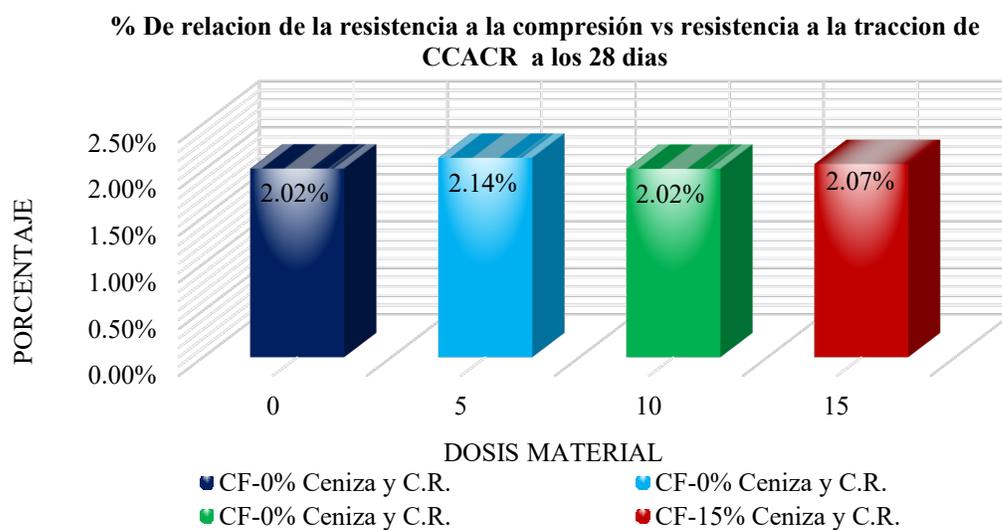


Figura 10. Porcentaje de la Relación resistencia a la compresión Vs resistencia a la tracción de bloques de concreto con adición de CCAE a los 28 días.

DISCUSIÓN

Se determinó que la adición de CCAE a los bloques de concreto en dosis de 0%, 5%, 10% y 15% nos da como resistencia a la compresión de 51.08 Kg/cm², 42.58 Kg/cm², 53.79 Kg/cm² y 46.23 Kg/cm² respectivamente, siendo la dosis del 10% la más óptima (53.79 kg/cm²), similar a la investigación de Garrett et al. (2020) quien uso dosis de 0%, 10%, 20% y 30% de cenizas de bagazo de cañas de azúcar

y cáscara de arroz logrando una resistencia a la compresión de 18, 25, 17 y 18.5 MPa para el primer material y 20, 25 y 24.5 MPa para el segundo material, concluyeron que el 10% de cenizas de bagazo de caña de azúcar fue el más adecuado al tener resultados significativos en bloques de concreto. Del mismo modo el presente estudio tiene resultados similares al estudio realizado por Ardiles (2021) el cual presenta resultados con dosis de 0, 5, 10 y 15 % de ceniza de bagazo de caña de azúcar logró una resistencia a la compresión de 28.180, 33.590, 37.810 y 35.450 kg/cm², Concluyó que la dosis más óptima fue de 10% al tener un mejor valor de resistencia a compresión.

Además, en la investigación realizada por Prabhu et al. (2019) donde realizo la adición de cenizas de bagazo en la elaboración de ladrillos con dosis de 6, 8, 16 y 20 % logrando una resistencia a la compresión de 4.00, 4.20, 5.10 y 6.30 N/mm² respectivamente, concluyendo que al incluir 20% de ceniza de bagazo tuvo resultados significativos en su resistencia, teniendo en cuenta nuestra investigación y los autores citados se determina lo contrario al analizado por Prabhu, quien al incrementar la dosis más del 10% de CCAE disminuye su resistencia moderadamente.

Los resultados obtenidos muestran que la adición de CCAE a los bloques de concreto, en dosis de 0%, 5%, 10%, y 15%, produce resistencias a la flexión de 5.80, 4.44, 6.19 y 5.22 kg/cm² respectivamente. Según estudios realizados por Gerardo A. Rivera L. (2013), la relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión oscila entre el 10% y el 20%. En este estudio específico, se ha calculado una relación de resistencia a la compresión versus flexión de 11.35%, 10.43%, 11.51%, y 11.30% para las dosificaciones del 0%, 5%, 10%, y 15% de adición de CCAE, respectivamente.

En la evaluación de la resistencia a la tracción de los bloques de concreto con adición de CCAE en dosis de 0%, 5%, 10%, y 15%, se obtuvieron valores de 1.03, 0.91, 1.09 y 0.96 kg/cm² respectivamente. Según estudios realizados por Otazzi (2004), la relación de resistencias a la compresión versus la resistencia a la tracción se encuentra generalmente en el rango de 8% a 15%. En el presente estudio, los resultados obtenidos están en el rango de 2.02% a 2.14%, lo cual está significativamente por debajo del rango de referencia.

CONCLUSIONES

La adición del 10% de CCAE a los bloques de concreto mejora resistencia a la compresión, obteniendo 53.79 Kg/cm², en comparación con la muestra estándar que contiene 0% de CCAE, la cual tienen una resistencia de 51.08 Kg/cm². Este hallazgo sugiere que la dosis más óptima para mejorar la resistencia a la compresión es del 10% de adición de CCAE. En cuanto a la resistencia a la flexión, la adición del 10%

de CCAE mejora la resistencia obteniendo 6.19 Kg/cm^2 , en comparación con la muestra estándar que tiene 0% de CCAE, con una resistencia de 5.80 Kg/cm^2 . Además, la relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión, oscila entre el 10% y el 20%, se encuentra en el rango del 11.51%, siendo la dosis del 10% la más óptima y confirmando que existe una relación estrecha entre ambas resistencias. La resistencia a la tracción, con la adición del 10% de CCAE mejora la resistencia obteniendo 1.09 Kg/cm^2 , en comparación con la muestra estándar que contiene 0% de CCAE, la cual tiene una resistencia de 1.03 Kg/cm^2 . Sin embargo, la relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción no se encuentra en el rango típico del 8% al 15%, ya que está por debajo del 8%, indicando que las dosificaciones planteadas están por debajo del rango de relación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida et al. (2019). USE of sugarcane bagasse ash sand (SBAS) as corrosion retardant for reinforced Portland slag cement concrete. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.217>
- Abasi et al. (2023). Evaluation of tensile properties of early-age concrete-block masonry assemblages. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130542>
- Anjos et al. (2020). Properties of self-leveling mortars incorporating a high-volume of sugar cane bagasse ash as partial Portland cement replacement. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101694>
- Ardiles, R. (2021). Influencia de la ceniza del bagazo de la caña de azúcar como sustituto parcial del cemento portland tipo I en la elaboración de unidades de albañilería Abancay, 2021. Repositorio Digital Institucional UCV. Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.12692/75213>
- Cabané et al. (2022). Anisotropy and compressive strength evaluation of solid fired clay bricks by testing small specimens.
Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128195>
- Cayotopa, K. (2019). Resistencia a la compresión de ladrillos de concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, reemplazando el agregado grueso por ladrillo y concretos reciclados, en diferentes porcentajes. Repositorio Institucional UPN. Retrieved from <https://hdl.handle.net/11537/22301>

Farrel et al. (1967). Ensayos de Resistencia. varios: varios.

Garrett et al. (2020). Sugarcane bagasse and rice husk ash pozzolans: Cement strength and corrosion effects when using saltwater. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2020.04.003>

INEI. (2022). Producción nacional. Lima. Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/03-informe-tecnico-produccion-nacional-ene-2022.pdf>

Lyra et al. (2019). Reuse of sugarcane bagasse ash to produce a lightweight aggregate using microwave oven sintering.

Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.150>

Nunton et al. (2022). Una revisión del comportamiento mecánico del concreto con adición de fibras de acero de neumáticos reciclados. Retrieved from <https://doi.org/10.25100/iyv.v24i2.11741>

Prabhu et al. (2019). An experimental study on bricks by partial replacement of bagasse ash. International Research Journal of Multidisciplinary, 258-265. Retrieved from <https://doi.org/10.34256/irjmtcon35>

RNE. (2019). Norma E.070 Albañilería. Retrieved from <https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.070-alba-ileria-sencico.pdf>

Song et al. (2019). Effect of carbon fiber on mechanical properties and dimensional stability of concrete incorporated with granulated-blast furnace slag. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117819>

Wang et al. (2023). Study on the properties variation of recycled concrete paving block containing multiple waste materials. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01803>

Wu et al. (2022). Use of sugar cane bagasse ash in ultra-high performance concrete (UHPC) as cement replacement. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125881>

Zahra et al. (2021). Compressive strength and deformation characteristics of concrete block masonry made with different mortars, blocks, and mortar bedding types. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102213>