

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



**Análisis comparativo técnico y económico de la resistencia al ataque a los sulfatos del
concreto $f'c=280\text{kg/cm}^2$ adicionado con ceniza de bagazo de caña de azúcar con
respecto a puzolanas comerciales**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

AUTOR

Johan Fabrizzio Lozada Sanchez

ASESOR

Angel Antonio Ruiz Pico

<https://orcid.org/0000-0003-2638-0593>

Chiclayo, 2023

ARTICULO FINAL - MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%

INDICE DE SIMILITUD

23%

FUENTES DE INTERNET

18%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	structurae.net Fuente de Internet	2%
3	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	materconstrucc.revistas.csic.es Fuente de Internet	1%
5	P. Lorca, L. Soriano, M.V. Borrachero, J. Monzó, M.M. Tashima, J. Payá. "Study on binary and ternary systems with cement, hydrated lime and fly ash: thermogravimetric analysis, mechanical analysis and durability behaviour", Materiales de Construcción, 2023 Publicación	1%
6	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	1%
7	revistaalconpat.org Fuente de Internet	

ÍNDICE

Resumen	4
Abstract.....	5
Introducción.....	6
Metodología.....	7
Resistencia la compresión	7
Resistencia a Sulfatos	8
Costos Unitarios	9
Resultados.....	10
Resistencia a la compresión.....	10
Resistencia a los sulfatos	11
Análisis de Costos Unitarios.....	13
Conclusiones.....	17
Referencias	20

Resumen

La ceniza de bagazo de caña de azúcar es un subproducto natural que, en estado calcinado, puede aplicarse en materiales cementantes por sus propiedades puzolánicas. Esta investigación el efecto producido por la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA), en las propiedades mecánicas y durabilidad del concreto, comparando a los efectos producidos con Diatomita y Ceniza Volante, al exponer a una solución de Na_2SO_4 . La investigación se basó en reemplazar el cemento en 5%, 7% y 10%, para hallar el porcentaje de CBCA que reemplazase a estas puzolanas de forma eficiente y hacer una reducción en costos. Después de realizar los ensayos se obtuvo que la CBCA al 5% y 10%, iguala comportamiento de estas puzolanas en durabilidad y resistencia a la compresión con 30 MPa y 28MPa respectivamente, en durabilidad se encontró una reducción del 18% en expansión por sulfatos y se determinó una reducción de costo S/22.81.

Palabras clave: Ceniza Residuo Agroindustrial, Ceniza Volante, Diatomita, Puzolana, Sulfatos, Resistencia a la compresión.

Abstract

Sugarcane bagasse ash is a natural byproduct that, in its calcined state, can be applied in cementitious materials due to its pozzolanic properties. This research examines the effect produced by sugarcane bagasse ash (CBCA) on the mechanical properties and durability of concrete, comparing the effects produced with Diatomite and Fly Ash, when exposed to a solution of Na_2SO_4 . The research was based on replacing cement by 5%, 7% and 10%, to find the percentage of CBCA that would replace these pozzolans efficiently and reduce costs. After carrying out the tests, it was obtained that the CBCA at 5% and 10%, equals the behavior of these pozzolans in durability and compressive strength with 30 MPa and 28MPa respectively, in durability an 18% reduction was found in expansion by sulfates and a cost reduction of S/22.81 was determined.

Keywords: Ash Agro-industrial Residue, Fly Ash, Diatomite, Pozzolana, Sulfates, Compressive strength

Introducción

En Perú anualmente se producen alrededor de 10 millones de toneladas de caña de azúcar, estas luego de pasar por un proceso de industrial para obtener azúcar, genera un desperdicio de 10%, este material es incinerado y no reaprovechado. Este bagazo que queda es usa en las calderas como combustible y posterior mente está ceniza sobrante almacenada y desechada, esta ceniza tiene un gran potencial puzolánico, por su alta concentración en óxido silicio (SiO_2) y alúmina (Al_2O_3), siendo catalogado como puzolana de clase N, por su formación a través de incineración [1,3].

La fabricación de concretos con reemplazo parcial del material cementante por ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) en porcentajes de 10% a 60%, demostraron que es un material puzolánico que beneficia a la resistencia a la compresión del concreto, gracias a la densificación de su estructura interna, la cual contribuye a reducir la permeabilidad de la mezcla y aumentar en cierta medida su durabilidad. Pero también afecta a su trabajabilidad, por lo que se precisa de un aditivo superplastificante para poder trabajar con este material [2,4].

Se encontró que la fabricación de concreto con CBCA reduce los costos de mezcla, debido a su bajo costo comercial, y su abundancia en regiones que producen azúcar de caña [5]. Los concretos que utilizan cenizas volantes como reemplazo de cemento tienden a tener resistencias bajas en edades tempranas, las cuales se van elevando en gran medida durante el curado, donde empieza la reacción de la cal hidratada, silicatos y alúmina, formando enlaces fuertes, que ayudan a densificar la estructura interna de la mezcla, haciendo la más durable y resistente [8].

Hay concretos elaborados con diatomita que se caracterizan por tener gran resistencia a largo plazo, porque su concentración de alúmina hace que las reacciones de formación de portlantita sean lentas, los cuales ante algún agrietamiento interno este va cerrando estos huecos con la formación de pasta y dando una estructura más densa y resistente a largo plazo [15].

Esta investigación pretende conocer el comportamiento de las diferentes puzolanas (CBCA, diatomita y ceniza volante) y comparar su comportamiento en resistencia a la compresión y resistencia a sulfatos, estableciendo el porcentaje en que éstas pueden ser reemplazadas por CBCA.

Metodología

Materiales

Para la preparación de las mezclas de concreto de este estudio se han utilizado: CBCA, diatomita y ceniza volante, combinada con agua piedra, arena y cemento convencional, en porcentajes de reemplazo de 5%, 7% y 10%. Estos materiales tienen un gran contenido de sílice y aluminio.

La CBCA utilizada tiene una concentración de 67% de óxido de sílice y 6.2% de trióxido de aluminio.

La diatomita tiene un 85% de óxido de aluminio, 2.6% de trióxido de aluminio.

La ceniza volante tiene una concentración de 51% de óxido de sílice, 28% de trióxido de aluminio. Estos materiales son considerados puzolanas de clase N (activados por ignición), ya que sus componentes de óxido de sílice más trióxido de aluminio más cal libre es mayor o igual a 70% del total de composición. Esto es conveniente porque tendrá una reacción interna en el concreto haciendo más denso por la mayor por la formación de cal hidratada, gracias a su reacción puzolánica de estas adiciones.

Tabla 1

	Composición CBCA	Diatomita	Ceniza Volante
MnO	0.37	0.03	-
MgO	0.81	0.5	1.9
Al ₂ O ₃	6.24	2.6	28.15
CaO	0.2	0.9	4.9
SiO ₂	67.02	85	51.2
Fe ₂ O ₃	2.48	1	12.2
Na ₂ O	1.7	0.9	0.55
K ₂ O	11.91	0.6	3.19
LOI	2.9	7.3	2.1

Métodos

Procedimiento de recolección de datos

Resistencia la compresión

Se elaboraron tres tipos de concretos con las diferentes puzolanas, en reemplazo del 5%, 7% y 10% del material cementante, con una relación de agua/cemento de 0.5 como manda el ACI, para concretos resistentes a sulfatos.

Se elaboraron 27 probetas por cada puzolana, en edades de 7 días, 14 días y 28 días y 9 de muestra patrón, en total 90 probetas se obtuvieron en esta investigación.

Tabla 2

Muestreo de Especímenes de Puzolanas

Días	Reemplazo	CBCA	Diatomita	Ceniza Volante	Muestra Patrón
7	5%	3	3	3	
7	7%	3	3	3	3
7	10%	3	3	3	
14	5%	3	3	3	
14	7%	3	3	3	3
14	10%	3	3	3	
28	5%	3	3	3	
28	7%	3	3	3	3
28	10%	3	3	3	
Sub Total		27	27	27	9
Total		90			

Resistencia a Sulfatos

Se elaboran barras de mortero para la comprobación de la resistencia a sulfatos (Na_2SO_4) con una relación agua/cemento de 0.485 para las puzolanas y de 0.46 para el diseño patrón. Se fabrican cubos de control de $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$, para dar seguimiento a la resistencia del mortero, para poder empezar los ensayos, empezará cuando estas barras lleguen a una resistencia de 200 kg/cm^2

Figura 1



Luego se procederá a sumergir las barras en recipientes que contengan una solución de Na_2SO_4 , en concentración de 50 g por cada 950 ml. Se deja curar 24 horas para la primera lectura y luego se verifica en las siguientes semanas 1, 2, 3, 4, 8 y 12.

Figura 2



Costos Unitarios

Al final se realizará un análisis de costos unitarios para evaluar el costo de fabricación y comprar los precios de cada uno de los diseños. Para ello se tomará en cuenta los índices unificados de CAPECO del 2023, donde nos dan los costos referenciales de cada uno de los materiales utilizados y rendimientos para hacer el análisis.

Tabla 3

Partida: DISEÑO PATRÓN					
Rendimiento	m3/día = 10		Costo Unitario por m3		606.97
:					
Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario	Parcial
MANO DE OBRA					191.41
Operario	HH	2	1.6	26.23	41.97
Peon	HH	10	8	18.68	149.44

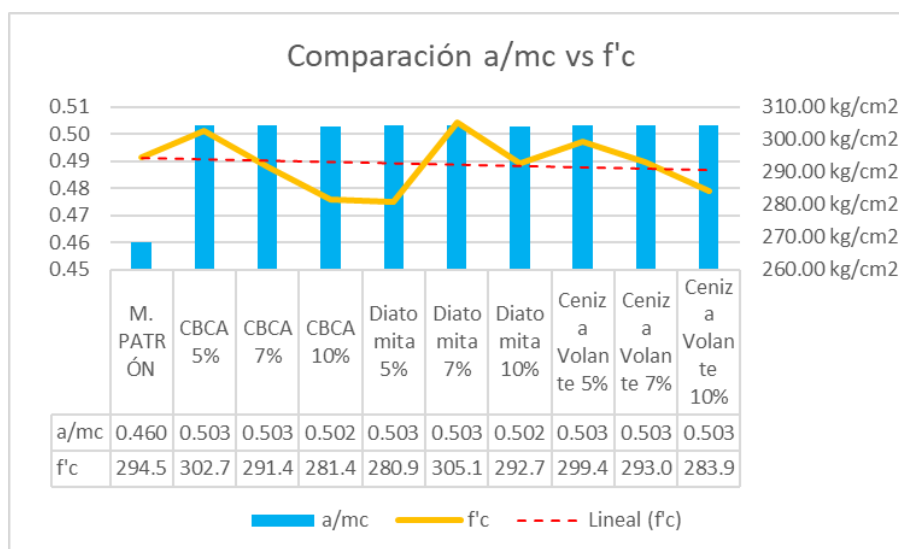
MATERIAL				365.99
Cemento Portland Tipo I (42.5 kg)	bls		10.49	29.09
Puzolana	kg		0.00	0.00
Arena Gruesa	m3		0.37	50.38
Piedra Chancada	m3		0.66	61.44
Agua	m3		0.22	6.11
EQUIPOS				49.57
Herramientas Manuales	%MO		0.05	191.41
Mescladora	HM	1	0.8	50

Resultados

Resistencia a la compresión

Las probetas de concreto, con adición del 5%, 7% y 10% de puzolanas. Las cuales utilizaron una relación agua-cemento de 0.46 como muestra patrón, la cual aumento cuando se reemplazaba por puzolana a valores de 0.50.

Tabla 4



La CBCA, diatomita y la ceniza volante, son materiales con partículas muy finas que ayudan a cubrir los vacíos entre los enlaces que crea la reacción agua-cemento, estas partículas tienen la característica de ser porosas, absorben aire y la humedad en la mezcla, las cuales afectara directamente a la resistencia en edades tempranas, ya que interrumpe en cierta medida la reacción del cemento. Luego en la parte del curado, las partículas van

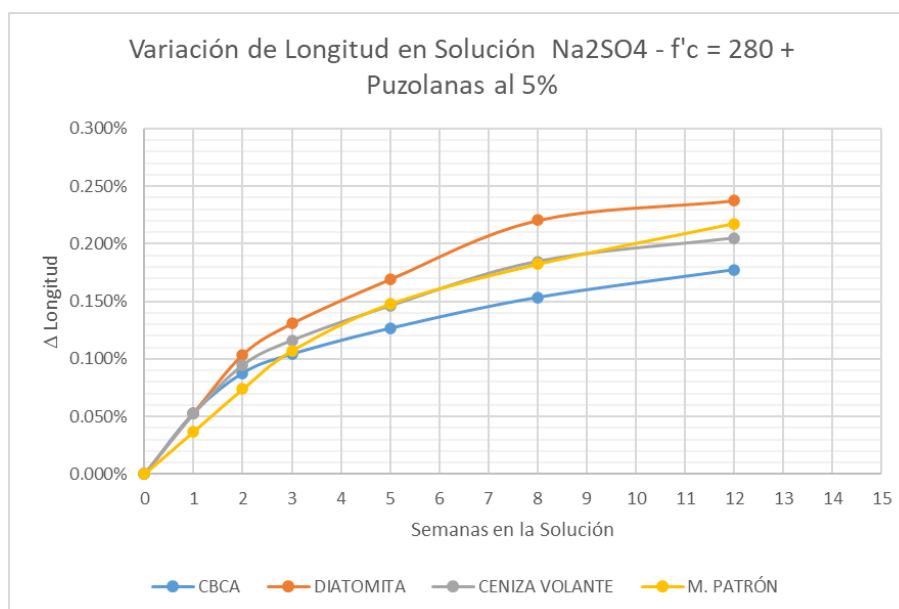
dejando salir esa agua absorbida y van ayudando a la formación de cal hidratada y aluminatos tricálcicos, los cuales aportara mayor resistencia a la estructura de la mezcla [3,8,15]

Con estos resultados podemos ver el comportamiento similar que tienen estas puzolanas en cuanto al aporte de resistencia a la compresión, así comprobándose su comportamiento similar en estos porcentajes.

Resistencia a los sulfatos

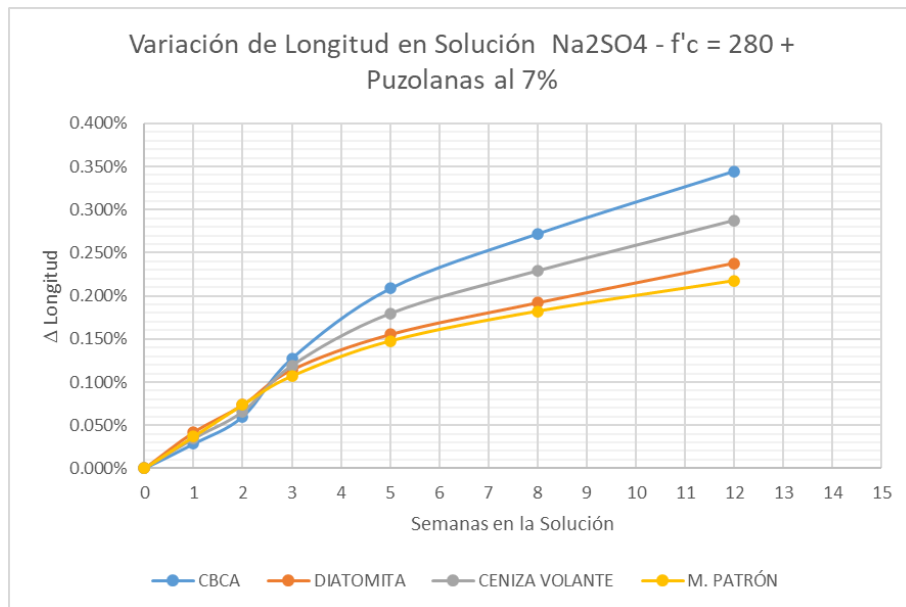
Se realizaron los ensayos de curado del mortero en una solución de Na_2SO_4 en concentración de 50 g en 950 ml, y se les dio seguimiento durante 12 semanas al comportamiento de la mezcla para determinar el porcentaje de variación que presenta ante esta sustancia. La relación agua-cemento de la mezcla patrón fue de 0.46 y para las muestras con puzolana de 0.485, así como nos indica la NTP 334.094 Cementos.

Tabla 5



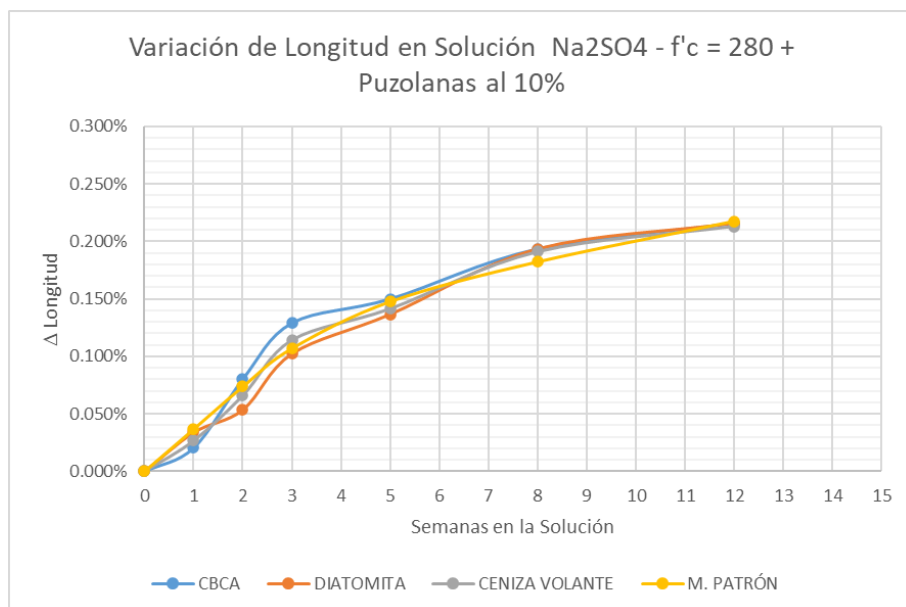
En estos porcentajes la diatomita es la única puzolana que no mejoró las características, referente a la muestra patrón, la CBCA y Ceniza Volante, obtuvieron expansiones por debajo de la muestra patrón (0.217%), de 0.177% y 0.205% respectivamente [13].

Tabla 6



Al 7% las puzolanas no mejoraron el comportamiento frente a la mezcla patrón obteniendo valores superiores a ésta, la CBCA obtuvo la mayor expansión en este porcentaje con 0.312% y la mejor entre ellas la Diatomita con 0.222% [13,24].

Tabla 7

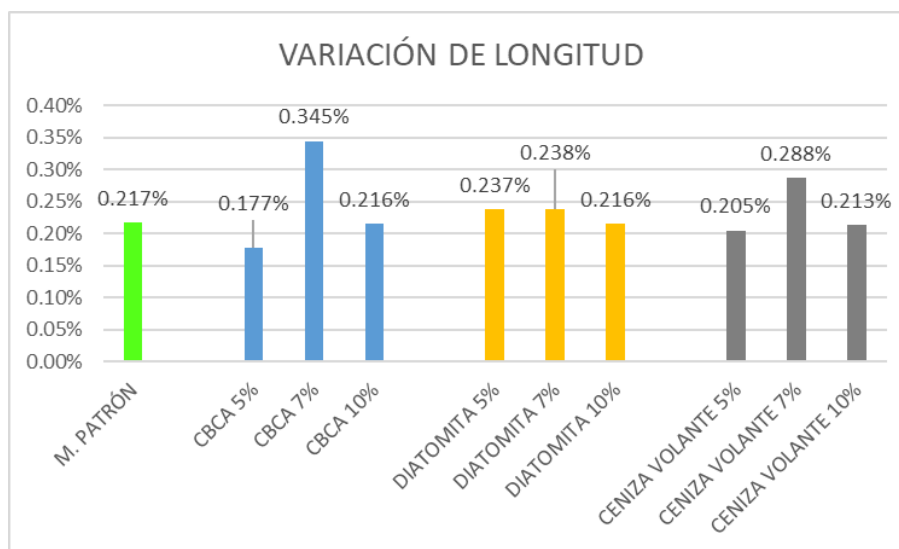


En concentraciones del 10% las puzolanas tienden a un comportamiento similar a la muestra patrón (0.217%), no mostrando una mejora significativa, el comportamiento no mejoró y ni se vio perjudicado, teniendo la CBCA 0.216%, Diatomita 0.216% y Ceniza Volante 0.213% [13,24]

La Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7, nos muestran el comportamiento de las puzolanas al estar expuestas a una solución, el comportamiento de éstas puzolanas es disperso en

porcentajes bajos de 5%, y a mayor porcentaje de reemplazo tienden a tener un comportamiento más similar, como el alcanzado en el reemplazo de 10%. En este caso se comprobó que los únicos resultados de mejora de resistencia ante sulfatos fueron obtenidos por la CBCA y la ceniza volante al 5%, controlando la expansión por sulfato hasta un 18% mejor que la muestra patrón.

Tabla 8



En la Tabla 8 podemos observar el comportamiento de las puzolanas al adicionar CBCA, diatomita y ceniza volante en diferentes porcentajes de 5%, 7% y 10%, donde su comportamiento solo se ve beneficiado al 5% por la CBCA y Ceniza volante, con resultados de expansión de 0.177% y 0.205% respectivamente, mejorando respecto a la mezcla patrón que tiene 0.217% de expansión en el mortero.

Análisis de Costos Unitarios

Se realizó el análisis de costos unitarios, según la revista CAPECO 2023, guiándonos del costo referencial del material, mano de obra y rendimiento, para la elaboración de 1 m³ de concreto de $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$.

Se tubo como costo referencial de la CBCA de S/0.30 por kg, la diatomita de S/3.40 por kg y la ceniza volante S/0.50 por kg. Estos precios son referenciales obtenidos por la adquisición personal del material.

Tabla 9

Partida: DISEÑO PATRÓN					
Rendimiento	m3/día = 10		Costo Unitario por m3 : 684.20		
Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario	Parcial
MANO DE OBRA					191.41
Operario	HH	2	1.6	26.23	41.97
Peon	HH	10	8	18.68	149.44
MATERIAL					443.22
Cemento Portland Tipo I (42.5 kg)	bls		13.34	29.09	388.06
Puzolana	kg		0.00	0.00	0.00
Arena Gruesa	m3		0.45	50.38	22.67
Piedra Chancada	m3		0.51	61.44	31.33
Agua	m3		0.19	6.11	1.16
EQUIPOS					49.57
Herramientas Manuales	%MO		0.05	191.41	9.57
Mescladora	HM	1	0.8	50	40.00

Tabla 10

Partida : DISEÑO PATRÓN + 10% CBCA					
Rendimiento	m3/día = 10		Costo Unitario por m3 : 661.39		
Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario	Parcial
MANO DE OBRA					191.41
Operario	HH	2	1.6	26.23	41.97
Peon	HH	10	8	18.68	149.44
MATERIAL					420.42
Cemento Portland Tipo I (42.5 kg)	bls		12.01	29.09	349.25
Puzolana	kg		56.70	0.30	17.01
Arena Gruesa	m3		0.43	50.38	21.66

Piedra Chancada	m3		0.51	61.44	31.33
Agua	m3		0.19	6.11	1.16
EQUIPOS					49.57
Herramientas Manuales	%MO		0.05	191.41	9.57
Mescladora	HM	1	0.8	50	40.00

Tabla 11

Partida :		DISEÑO PATRÓN + 10% DIATOMITA			
Rendimiento	m3/día = 10	Costo Unitario por m3 :			814.47
Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario	Parcial
MANO DE OBRA					191.41
Operario	HH	2	1.6	26.23	41.97
Peon	HH	10	8	18.68	149.44
MATERIAL					573.49
Cemento Portland Tipo I (42.5 kg)	bls		12.01	29.09	349.25
Puzolana	kg		56.70	3.00	170.09
Arena Gruesa	m3		0.43	50.38	21.66
Piedra Chancada	m3		0.51	61.44	31.33
Agua	m3		0.19	6.11	1.16
EQUIPOS					49.57
Herramientas Manuales	%MO		0.05	191.41	9.57
Mescladora	HM	1	0.8	50	40.00

Tabla 12

Partida :		DISEÑO PATRÓN + 10% CENIZA VOLANTE			
Rendimiento	m3/día = 10	Costo Unitario por m3 :			672.73
Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario	Parcial
MANO DE OBRA					191.41

Operario	HH	2	1.6	26.23	41.97
Peon	HH	10	8	18.68	149.44
MATERIAL					431.76
Cemento Portland Tipo I (42.5 kg)	bls		12.01	29.09	349.25
Puzolana	kg		56.70	0.50	28.35
Arena Gruesa	m3		0.43	50.38	21.66
Piedra Chancada	m3		0.51	61.44	31.33
Agua	m3		0.19	6.11	1.16
EQUIPOS					49.57
Herramientas Manuales	%MO		0.05	191.41	9.57
Mescladora	HM	1	0.8	50	40.00

De la Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12, podemos notar una diferencia en cuanto al costo de fabricación del concreto, siendo el valor más bajo 661.39 por m³ obtenido por el reemplazo del 10% de CBCA, y el más alto la Diatomita con S/814.47. El costo que tomaremos como referencia será el de la muestra patrón para un concreto de $f'_c=280$ kg/cm² que es de S/ 684.20, este valor es mayor al obtenido por la CBCA, por lo cual la ceniza en este caso si obtuvo una reducción de costo de fabricación de S/22.81 (3.33%) por cada m³ de concreto.

Conclusiones

1. Se realizó un diseño de mezcla para la muestra patrón con una relación a/c de 0.38 y luego se realizó los otros diseños de mezcla para identificar como varía con la incorporación de puzolanas, hallando que nuestra relación a/c al adicionar puzolanas se eleva a 0.43, sin afectar las características de resistencia a la compresión de la mezcla, y notando que en la mayoría de los casos vuelve más vulnerable a resistencia a los sulfatos, excepto cuando se reemplaza la CBCA y ceniza volante al 5%.

2. Los resultados obtenidos de resistencia a la compresión podemos concluir:

Se concluyó que las cenizas analizadas influyeron en la Resistencia a la compresión del concreto de manera positiva, con la sustitución del cemento nos dieron resistencias superiores a la muestra patrón y cumpliendo con la resistencia requerida, entonces la CBCA tuvo el comportamiento como, dándonos los siguientes datos:

- ✓ En cuanto al diseño de $f'c=280$ kg/cm² reemplazando 5%, ceniza de bagazo de caña de azúcar y la ceniza volante, dan mejor resistencia a la compresión, cuando reemplazan el 5% del material cementante, dándonos 302.74 kg/cm² y 299.43 kg/cm², por el contrario, la diatomita da 280.97 kg/cm² una resistencia menor a la de muestra patrón 294.56 kg/cm², pero cumpliendo con la resistencia requerida.
- ✓ En cuanto al diseño de $f'c=280$ kg/cm² reemplazando 7%, la diatomita favorece en este porcentaje dando una mayor resistencia a la compresión con 305.16 kg/cm², mientras que la ceniza de bagazo de caña de azúcar y la ceniza volante tienen valores de 291.41 kg/cm² y 293.05 kg/cm² respectivamente, cumplen con la resistencia requerida.
- ✓ En cuanto al diseño de $f'c=280$ kg/cm² reemplazando 10%, la ceniza de bagazo de caña de azúcar, diatomita y ceniza volante, no hay un aporte a la resistencia significativo, cumplen con la resistencia requerida, teniendo valores de 281.46 kg/cm², 292.76 kg/cm² y 283.99 kg/cm².

3. Los resultados obtenidos del curado de las muestras de mortero para comprobar la Resistencia a Sulfatos podemos decir que:

Se concluyó que las puzolanas analizadas influyeron en la Resistencia a los Sulfatos (Na_2SO_4) del concreto de manera positiva, ya que cuando éstas sustituyeron parte del material cementante, tuvieron menor variación de longitud que la muestra patrón y demostrando que la CBCA tiende a comportarse como estas puzolanas, dándonos los siguientes datos:

- ✓ En cuanto al diseño de $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ reemplazando 5%, la ceniza de bagazo de caña de azúcar y ceniza volante, presentan las menores variaciones de longitud cuando reemplazan el material cementante con 0.177% y 0.205% respectivamente, por el contrario, la diatomita en este porcentaje da mayor variación de longitud con respecto a la muestra patrón dando nos un resultado de 0.217%.
- ✓ En cuanto al diseño de $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ reemplazando 7%, la ceniza de bagazo de caña de azúcar, ceniza volante y diatomita, todas ellas tienen mayor variación de longitud que la muestra patrón que es de 0.217%, teniendo una variación de 0.345%, 0.288% y 0.238% respectivamente, esto un punto negativo en cuanto al análisis, ya que no mejora la durabilidad.
- ✓ En cuanto al diseño de $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ reemplazando 10%, la ceniza de bagazo de caña de azúcar, ceniza volante y diatomita, mejoran la durabilidad en poca medida presentando valores similares en cuanto a variaciones de longitud teniendo 0.215%, 0.213% y 0.216% respectivamente, expandiendo se cómo la muestra patrón.

4. Del análisis de costos unitarios de la fabricación del concreto podemos decir que:

Se realizó la comparación económico y técnico de un concreto con puzolanas comerciales (diatomita y ceniza volante), frente a uno con CBCA, obteniendo así el siguiente análisis:

Resistencia a la Compresión – Beneficio Económico

La CBCA al 10% fue la puzolana que cumple con la resistencia requerida, y reduce el mayor coste, haciendo a esta la mejor alternativa en la zona de Chiclayo por la accesibilidad del producto de la caña de azúcar.

- ✓ Se logró reducir el costo por m^3 con la CBCA en S/22.81 que representa un 3.33% y con la Ceniza Volante se logró reducir S/11.47 que representa el 1.68% del costo total de la mezcla, cuando es reemplazado el 10% del material cementante, estás cumpliendo con la resistencia requerida del diseño teniendo una resistencia de 281.46 kg/cm^2 y 283.99 kg/cm^2 respectivamente. La Diatomita cumple con la resistencia requerida de 280 kg/cm^2 , pero su costo haciende a S/814.47 superando por S/130.27 al diseño patrón, encareciendo así su producción.

Resistencia a los Sulfatos – Beneficio Económico

La CBCA al 5% es la mejor opción al elaborar las mezclas, reduce significativamente la expansión por sulfatos y reduce el costo de elaboración, teniendo en cuenta que será más favorable siempre y cuando trabajemos en zonas de producción de caña de azúcar.

- ✓ En cuanto a la durabilidad con beneficio económico en la mezcla de concreto reemplazando al 5% del material cementante se confirmó en este porcentaje que la CBCA se comporta mejor que la Ceniza Volante y aun menor costo de fabricación, nos dieron los siguientes datos: La ceniza de bagazo de caña de azúcar tuvo una expansión de 0.177% que representa un 18.43% con un costo unitario por m³ de S/ 673.30, y la Ceniza Volante logró mejorar la durabilidad expandiéndose 0.205% esto significando una reducción de la expansión del mortero en un 5.80% con un costo unitario por m³ de S/ 678.97. La Diatomita en este caso presento mayor expansión que la muestra patrón con un valor de 0.237%, no aportando a la resistencia ante sulfatos y teniendo un costo de S/749.84.

Referencias

1. Económico Departamental, INEI, Lima, Económico, 09, 2022
2. A. Casas y O. Maldonado, “Corporación Azucarera del Perú S.A.”, Apoyos&Asociados, FitchRantigs, Perú, Económico, 3ra Emisión, 2021.
3. P. Rattanachu, I. Karntong, W. Tangchirapat, C. Jaturapitakkul, P. Chindapprasirt, “Influencia de las cenizas de bagazo y el agregado de concreto reciclado en las propiedades endurecidas del concreto de alta resistencia” *Rev. Materiales de Construcción*, Vol 68, N°330, 2018. <https://doi.org/10.3989/mc.2018.04717>
4. M. Maldonado, U. Hernández, P. Montes, P. Valdez, “La influencia de las cenizas de bagazo de caña de azúcar no tratadas en las propiedades microestructurales y mecánicas de los morteros”, *Rev. Materiales de Construcción*, Vol. 68, N°329, 2018. <https://doi.org/10.3989/mc.2018.13716>
5. S. Ramjan, W. Tangchirapat, C. Jaturapitakkul, “Influencia de las cenizas de bagazo con diferente finura sobre la reactividad álcali-sílice del mortero”, *Rev. Materiales de Construcción*, Vol. 68, N°332, 2018. <https://doi.org/10.3989/mc.2018.08617>
6. A. Pereira, J. Moraes, M. Moraes, J. Akasaki, M. Tashima, L. Soriano, J. Monzó, J. Payá, “Valorización de cenizas de bagazo de caña de azúcar (SCBA) con alto contenido de cuarzo como material puzolánico en mezclas de cemento Portland”, *Rev. Materiales de Construcción*, Vol. 68, N°330, 2018. <https://doi.org/10.3989/mc.2018.00617>
7. P. Lorca, L. Soriano, M. Borrachero, J. Monzó, M. Tashima, J. Payá, “Estudio sobre sistemas binarios y ternarios con cemento, cal hidratada y cenizas volantes: análisis termogravimétrico, análisis mecánico y comportamiento de durabilidad”, *Rev. Materiales de Construcción*, Vol. 73, No 351, septiembre 2023. <https://doi.org/10.3989/mc.2023.346623>
8. Teara y D. Shu Ing, “Propiedades mecánicas del hormigón de alta resistencia que reemplazan el cemento en parte mediante el uso de cenizas volantes y polvo de cáscara de huevo” *Rev. Phys. Chem. Earth*. Vol. 120, No 102942, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102942>
9. H. Justnes, J. Skocek, A. Ostnor, C. Engelsen, O. Skjolsvold, “Cambios microestructurales del cemento hidratado mezclado con cenizas volantes tras la carbonatación”, *Rev. Cem. Concr.*, Vol 137, No 160192, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106192>

10. P. Lorca, R. Calabuig, J. Benllch, L. Soriano, J. Payá, “Micro-hormigón con sustitución parcial del cemento Portland por cenizas volantes y adición de cal hidratada” *Rev Mater. Des.*, Vol 64, pp. 535-541, 2014.
<http://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.08.022>
11. L- Soriano, J. Monzó, M. Borrachero, S. Velázquez, M. Bonilla, “Efecto de las puzolanas en el proceso de hidratación del cemento Portland curado a bajas temperaturas”, *Rev. Cem. Concr.*, Vol. 42, pp. 41-48, 2003.
<http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.05.007>
12. T. Klathae, T. Ho, S. Men, C. Jaturapitakkul y W. Tangchirapat, “Resistencia, resistencia al cloruro y permeabilidad al agua de cenizas de bagazo de caña de azúcar de alto volumen que incorporan hormigón de alta resistencia”, *Rev. Construction and Building Materials*, Vol. 311, pp. 1-12, 28 de Octubre del 2021.
13. J. Bernal, S. Mahmoud, E. Reyes y A. Moragues, “Estudio de la influencia de los medios con presencia de sulfatos en hormigones con cementos sulforresistentes y adiciones minerales”, *Rev. De la Construcción*, Vol 12, N° 2, pp 14-29, Noviembre, 2013.
14. P. Garcés, E. Zornoza, F. Baeza, O. Galao, J. Payá, “Es compatible la durabilidad con la sostenibilidad en la industria de la construcción”, *Rev. Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, Vol. 2, N°2, pp. 57-71, 2012.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427639588002>
15. Al-Omari y M. Al-Awadi, “Efecto de la diatomita en la resistencia del hormigón”, *Rev Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 22, N° 10, pp. 1165-1172, 2010.
16. A. Alexander, A. Prakash, M. Saberianm, J. Li, “Green Pervious Concrete Containing Diatomaceous Earth as Supplementary Cementitious Materials for Pavement Applications”, Vol. 16, N°1, pp. 48, 2023.
<https://doi.org/10.3390/ma16010048>
17. J. Flores, J. Pérez, M. Gutiérrez y J. Gonzáles, “Influencia de la relación agua/cemento en la elaboración del mortero normalizado de los cementos con puzolana”, *Rev. De la Construcción*, Vol. 52, N° 265, pp. 77-83, 2002.
18. E. Mansaneira, N. Schwantes, G. Barreto y B. Martins, “Sugar cane bagasse ash as a pozzolanic material” *Rev. Dina*, Vol. 22, pp. 164-171, 2017.
<http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v84n201.61409>.

19. P. Camargo, A. Pereira, J. Akasaki, C. Fioriti, J. Payá, J. Pinheiro, “Performance of mortars produced with the incorporation of sugar cane bagasse ash”, *Rev. Ingeniería de Construcción*, Vol. 29, N°2, pp. 187-199, 2014. <https://www.scielo.cl/pdf/ric/v29n2/art05.pdf>
20. M. Oliveira, I. Ferreira, C. Souza, J. Osorio, “”, *Rev. Dyna*, Vol. 77, N°163, pp. 47-54, 2010. <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v77n163/a05v77n163.pdf>
21. N. Farhanim, N. Hafida, D. Hasan, A. Shalabi, M. Radzi, M. Tasnim, “Behaviour of normal concrete with Sugarcane Bagasse Ash (ScBA) as partial cement replacement”, *Rev. IOP*, Vol. 1238, N°1, 2016. DOI:10.1088/1755-1315/1238/1/012016
22. P. Praipipat, P. Ngamsurach, N. Roopkhan, “Zeolite A powder and beads from sugarcane bagasse fly ash modified with iron(III) oxide-hydroxide for lead adsorption”, *Rev. scientific*, Vol. 13, N°1, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29055-4>
23. A. El-said, A. Awad, A. Mahmood, M. Mahmood, S. Sabri, A. Farouk, T. Maged, “The Mechanical Behavior of Sustainable Concrete Using Raw and Processed Sugarcane Bagasse Ash”, *Rev. sustainability*, Vol. 14, N°18 <https://doi.org/10.3390/su141811181>
24. C. Nattapong, N. Theeranuch, C. Narong, T. Prasit, P. Supree, “Mechanical and Dielectric Properties of Fly Ash Geopolymer/Sugarcane Bagasse Ash Composites”, *Rev. polymers*, Vol. 14, N°6, 2022. <https://doi.org/10.3390/polym14061140>