

IMPLEMENTATION OF CANE ASH SUGAR IN THE DEVELOPMENT OF MORTARS ON-SITE ROAD REPAIR

Natividad García-Troncoso, PhD.^{1,2}, Samantha Hidalgo-Astudillo, Msc.³, Ana Rivas-Fermin, PhD.⁴, Fabricio Mogro-Montilla, Ing.⁵, Gabriel Garces-Ross, Ing.⁶, Nadia Vanegas-Alman⁷

^{1,2,3,5,6} Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT), ESPOL Polytechnic University, Guayaquil P.O. Box 09-01-5863, nlgarcia@espol.edu.ec, shidalgo@espol.edu.ec, fmogro@espol.edu.ec, gagarces@espol.edu.ec, navanega@espol.edu.ec

⁴ Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador, arivasfe@espol.edu.ec

***Abstract**– Currently in Ecuador, one of the biggest problems in terms of the road system is the state and conservation of roads, where the consequences that these imperfections bring to the population is notorious. The objective of this project is to develop a mortar based on sugarcane bagasse ash for the repair of roads through the characterization of different materials, the design of dosages and the elaboration of optimized mixtures with additions of ash and zeolite. Given the situation that the country is going through, the opportunity arises to propose a repair mortar that contributes with sustainable and technical criteria. To meet the aforementioned objectives, it was necessary to carry out tests on different materials, which allowed the design of the mixtures of traditional mortar M3, M5 and in turn, of the dosages M - 50% C and M - 75% C, with variations in the percentage of ash addition in place of sand. The execution of compression, tensile and adhesion tests allowed to evaluate the properties of each mixture and dosage, where maximum values of compressive strength of 17.96 MPa, modulus of elasticity of 2000 Kgf / cm² and adhesion of 0.52 MPa were determined. The mixture M5 – 50% C, which is postulated under different criteria as a proposal for repair material for its best performance among the options that are evaluated, does not meet the parameters required by the regulations of mortars for the repair of rigid pavements.*

Keywords: Repair Mortar, Rigid Pavements, Dosage, Zeolite.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

IMPLEMENTACION DE CENIZA DE CAÑA DE AZUCAR EN EL DESARROLLO DE MORTEROS DE REPARACION VIAL IN SITU

Natividad García-Troncoso, PhD.^{1,2}, Samantha Hidalgo-Astudillo, Msc.³, Ana Rivas-Fermin, PhD.⁴, Fabricio Mogro-Montilla, Ing.⁵, Gabriel Garces-Ross, Ing.⁶, Nadia Vanegas-Alman⁷

^{1,2,3,5,6} Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT), ESPOL Polytechnic University, Guayaquil P.O. Box 09-01-5863, nlgarcia@espol.edu.ec, shidalgo@espol.edu.ec, fmogro@espol.edu.ec, gagarces@espol.edu.ec, navanega@espol.edu.ec

⁴ Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador, arivasfe@espol.edu.ec

Abstract– Actualmente en Ecuador, uno de los mayores problemas en cuanto al sistema vial es el estado y la conservación de las carreteras, en donde es notoria las consecuencias que traen estos imperfectos hacia la población. El objetivo de este proyecto es elaborar un mortero a base de ceniza del bagazo de la caña de azúcar para la reparación de vías mediante la caracterización de distintos materiales, el diseño de dosificaciones y la elaboración de mezclas optimizadas con adiciones de ceniza y zeolita. Ante la situación que atraviesa el país, se plantea la oportunidad de proponer un mortero de reparación que aporte con criterios sostenibles y técnicos. Para cumplir con los objetivos mencionados fue necesario realizar ensayos a distintos materiales, lo cual permitió el diseño de las mezclas de mortero tradicional M3, M5 y a su vez, de las dosificaciones M – 50% C y M - 75% C, con variaciones en el porcentaje de adición de cenizas en reemplazo de arena. La ejecución de ensayos de compresión, tracción y adherencia, permitieron evaluar las propiedades de cada mezcla y dosificación, en donde se determinó valores máximos de resistencia a la compresión de 17.96 MPa, módulo de elasticidad de 2000 Kg/cm² y adherencia de 0.52 MPa. La mezcla M5 – 50% C, que se postula bajo distintos criterios como propuesta para material de reparación por su mejor desempeño entre las opciones que se evalúan, no satisface los parámetros que exigen las normativas de morteros de reparación de pavimentos rígidos.

Palabras clave: Mortero de Reparación, Pavimentos Rígidos, Dosificación, Zeolita.

I. INTRODUCCIÓN

Los materiales de construcción brindan diferentes propiedades y características en el medio en que se emplean, pueden provenir de distintos orígenes, es por esto que una de sus grandes clasificaciones se da de acuerdo a la materia prima que fue empleada para su fabricación. Entre estos materiales se encuentra el cemento, el cual es un material que ha sido aprovechado desde hace mucho tiempo atrás y que actualmente es usado en todo el mundo. Sus diferentes

aplicaciones han sido una solución para múltiples problemáticas, en donde se han desarrollado técnicas ingenieriles que han permitido crear fórmulas en búsqueda de resultados esperados para su implementación en distintos escenarios, especialmente obras de ingeniería civil.

El mortero a base de cemento, específicamente, es uno de los más utilizados, su mezcla requiere material cementicio y otros elementos como agua y agregado fino (arena), en ciertas ocasiones se puede llegar a emplear aditivos también, con la finalidad de aumentar, disminuir o alcanzar alguna propiedad requerida. Para el proceso de su conformación existen normativas vigentes que deben ser empleadas para cumplir con los requisitos establecidos de acuerdo con el uso que se le vaya a dar, como, por ejemplo, unión de elementos en la construcción, levantamientos de muros, relleno de espacios entre bloques, trabajo de revestimientos, trabajos en carreteras, entre otros. Pero, según su uso, de manera general los morteros se llegan a clasificar en morteros de pega, de relleno y de revestimiento [1].

Actualmente, dado el movimiento por la conservación del medio ambiente y los criterios de sostenibilidad, en la elaboración de materiales de construcción se trata de utilizar tanto nuevos materiales como técnicas que reduzcan el impacto ambiental. Ciertos materiales ya han sido aplicados y estudiados, mientras que otros están en proceso. Es el caso de la ceniza del bagazo de caña, que se produce cuando se fabrica azúcar, en donde este bagazo o fibra, que es utilizado como generador de energía y para procesos de combustión en la producción de etanol, puede llegar a ser sometido a combustión, dando como resultado ceniza. Ya se ha utilizado este residuo como reemplazo del agregado fino, sin embargo, se conoce que su mayor virtud se da al ser considerado como material cementicio, ya que la ceniza posee propiedades puzolánicas [2]. Por ejemplo, para hormigones, se conoce que

se ha logrado mejorar las propiedades mecánicas tanto a compresión como a flexión con la inclusión de la ceniza [3].

Uno de los tantos campos de aplicación de los materiales de construcción, es la rama del diseño y construcción de vías y pavimentos. Las vías no solo conectan espacios físicos entre sí, si no que su implementación permite dar movimiento a sectores turísticos, agrícolas, ganaderos, entre otros. Es de suma importancia que un país o región cuente con vías como parte de su desarrollo. Los factores mencionados permiten promover la economía local, brindando así oportunidades de mejoras a una comunidad.

Las carreteras se pueden clasificar según su tráfico proyectado a 15 o 20 años, valor que puede ser determinado con el TPDA, dependiendo del intervalo en que se encuentren pueden llegar a ser: tipo V, IV, III, II, I, R-I y RII, correspondiendo a una autopista, corredor arterial, vía colectora o camino vecinal según el Ministerio de Transporte de Obras Públicas del Ecuador [4].

Adicionalmente, el estado de una vía o un pavimento es fundamental, dado que el mismo puede alterar los beneficios ya mencionados. Una vía en mal estado puede llegar a ocasionar accidentes de tránsito que involucren vidas humanas. Estos siniestros se dan por las fallas que ocurren en las superficies del pavimento, en donde los conductores u operadores deben generar maniobras para evadir imperfectos y por ende, ponen en riesgo sus vidas y las de los transeúntes. Entre las principales fallas que se manifiestan en los pavimentos flexibles se presentan fisuras y grietas, deformaciones en la superficie y desintegración de la capa de rodadura, mientras que para pavimentos rígidos se tienen fisuras, deformaciones, desintegración y deficiencia de juntas [5].

Habitualmente, como reparación en proyectos viales, se emplean morteros a base de cemento Portland, sin embargo, dado que diversos factores como fuerzas externas, condiciones de desgaste y factores ambientales afectan los materiales y limitan sus capacidades, motivo por el cual se buscan alternativas que permitan optimizar el desempeño las técnicas de reparación [6].

Existen diversas maneras de contrarrestar las fallas presentes en un pavimento, se emplean técnicas preventivas y correctivas con la finalidad de extender el tiempo de vida del concreto. Comúnmente, el objetivo es emplear materiales que aporten con características similares o mejores a las presentes in situ, para asegurar las condiciones de uso de una vía. Los aditivos son empleados con la finalidad de ofrecer virtudes adicionales a las mezclas, por ejemplo, ese sabe que el uso de polímeros como aditivos, ofrece una opción para reparar losas de concreto de un pavimento rígido [7].

En los proyectos civiles, es necesario contar con un Plan de Manejo Ambiental (PMA), en el cual se detallan las acciones e intervenciones que son llevadas a cabo con la finalidad de salvaguardar los recursos naturales involucrados. Este plan, se desarrolla luego de haber reconocido e identificado los posibles impactos a los que puede estar sujeto

el ambiente dado el desarrollo del proyecto. Para el mismo, se debe tener en cuenta el marco jurídico ambiental del Ecuador y las leyes de Gestión Ambiental, Prevención y Control de Contaminación Ambiental. Este plan contiene medidas preventivas, de mitigación y de compensación [8].

Como parte de una investigación previamente desarrollada [9] se cuenta también con los resultados del efecto de la ceniza del bagazo de caña de azúcar como remplazo de la arena en las propiedades de los compuestos cementicios de ingeniería, en donde se utilizó cemento Portland ordinario tipo 1, arena estándar, zeolita, ceniza, arena fina de río, aditivo superplastificante y fibras de polipropileno. Con la finalidad de cumplir los objetivos de este trabajo, se elaboraron 5 muestras, cada una variaba el porcentaje de remplazo de arena por ceniza, teniéndose así especímenes con dosis de remplazo de arena de 0%, 25%, 50%, 75%, y 100% del volumen total [9]. Para poder testear y cuantificar los resultados de estos especímenes se realizaron ensayos de compresión y de flexión. Los ensayos de compresión se realizaron de acuerdo con ASTM C109 con cubos de 50 x 50 x 50 mm, evaluándose a 7 y 28 días de curado, ejerciéndoles presión hidráulica con una carga con razón de cambio constante de 0.25 MPa/s. Por otro lado, los ensayos de flexión fueron llevados a cabo en vigas de 76.2 x 35.1 x 300 mm, para así determinar el módulo de rotura basándose en ASTM 31 y usando una configuración de viga simple con carga aplicada en el centro según ASTM C293.

Ante la necesidad de mejorar las vías deterioradas, se plantea elaborar un material de reparación que permita ejecutar acciones eficaces, teniendo en cuenta factores como costos, tiempo, viabilidad y sostenibilidad. El buen estado de cualquier vía beneficia de manera directa no solo a los usuarios involucrados sino también a las personas que dependen de las distintas actividades que se desarrollan a través de la movilización de productos y personas.

El fin de este material, recae en la posibilidad de reparar uno o algunos puntos específicos que presenten falla, sin necesidad de emplear gestiones de gran magnitud como repavimentación total o parcial de la vía. Se encuentra en este escenario la oportunidad de proponer una técnica alternativa de reparación de pavimentos rígidos al mercado nacional, recalcando la necesidad de considerar el impacto ambiental y el abrir un espacio en la cultura nacional promoviendo el arte de reparar por encima de desechar.

II. MATERIALES

En cuanto a los materiales empleados para la dosificación de los morteros, se incluye arena, cemento Portland Puzolánico Tipo IP (INEN 490), fibra de polipropileno de 19 mm y Modulo de Young 1.47 GPa, ceniza del bagazo de la caña de azúcar [9] y zeolita [9]. Entre los ensayos realizados se encuentran granulometría, absorción y gravedad específica, densidad aparente de los agregados verificando su

cumplimiento de acuerdo con las normas locales (INEN) así como también las internacionales (ASTM). La Tabla 1 presenta los resultados granulométricos de la arena en base a la Norma ASTM C 136.

Tabla 1 Granulometría de agregado fino

	Peso Parcial (g)	%Retenido	% Pasante acumulado
3/8	0,00	0,00	100,00
4	3,38	0,67	99,33
8	81,53	16,29	83,04
16	77,92	15,57	67,47
30	99,82	19,94	47,53
50	131,23	26,22	21,31
100	84,16	16,81	4,50
Fondo	22,54	4,50	0,00
Total	500,58		

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, la Figura 2 muestra la distribución de tamaño de partículas de la ceniza obtenida mediante prueba de tamices [9].

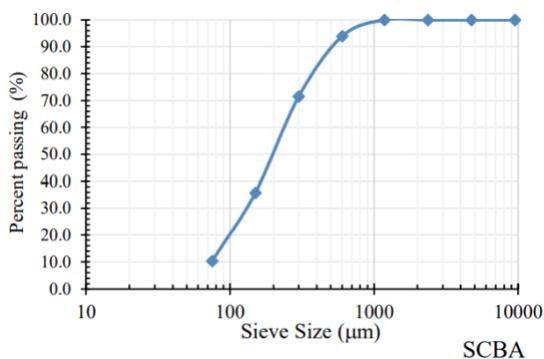


Fig. 2 Distribución de partículas de ceniza
Fuente: Autores

III. DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES

Se desarrolló un plan de trabajo que consistía en usar la ceniza de bagazo de caña como reemplazo de arena en volumen debido a que su implementación tendría menor costo que como reemplazo de cemento en un mortero. El objetivo es disminuir los costos de procesamiento de este residuo para poder utilizarlo y esto se da ya que la ceniza pasa por menos tiempo de molienda.

La mezcla control fue basada en la utilizada en la investigación Effect of Sugarcane Bagasse Ash (SCBA) as Sand Replacement on the Properties of Engineered Cementitious Composites (ECC) en la que cuentan con una dosificación la cual contiene zeolita como material aglutinante. La dosificación se la realizó para 1 m³ y se utilizaron las densidades de la Tabla 2.

Tabla 2. Densidad de materiales

MATERIAL	DENSIDAD KG/M ³	VOLUMEN M ³
Cemento	3150	0.09
Zeolita	2170	0.29
Agua	1000	0.48
Arena SSS	2765	0.11
Ceniza de caña de azúcar	2272	0.00
Aditivo	1220	0.00
Fibra	910	0.02

Fuente: Autores

El proceso de mezclado fue una modificación del mencionado en la norma NTE INEN 155:2009 [8] el cual utiliza una mezcladora mecánica, dado que el material a realizar está enfocado a mezcla in situ se procedió a realizarlo a mano por lo que se cambiaron los tiempos en cada paso de mezclado.

De la mezcla de control obtenida parten la dosificación con el 50% y 75% de arena reemplazada por ceniza, adicionando un porcentaje de aditivo con respecto a la cantidad de cemento y considerando solo un cuarto de la zeolita, en la mezcla utilizada el porcentaje fue de 1.0 % y 1.2% respectivamente. Finalmente se realizaron más dosificaciones M3 y M5, variando la cantidad de agua y aditivo, con el afán de adquirir diferentes propiedades para su futura comprensión y comparación. En cuanto a las propiedades para evaluar las mezclas se consideró compresión, tracción, retracción y adherencia por lo que se utilizó cubos de 50 mm de arista (NTE INEN 488:2009), barras para determinar el cambio de longitud (NTE INEN 2 504:2009) y una viga de hormigón para ensayar la adherencia de los morteros al ser vertidos sobre la superficie.

La mezcla control fue realizada con la relación agua cemento (a/c) de 0.32, pero al usar una metodología de mezclado diferente se modificó esta relación agua cemento mejorando la trabajabilidad, llegando al valor de 0.51 a/c. Cabe recalcar que se consideró el porcentaje de absorción y humedad de la zeolita, arena y ceniza para poder obtener las proporciones reales de los materiales por metro cúbico.

Dosificación 50% de reemplazo de arena en volumen

Una vez realizada la dosificación control escogida se procedió a cambiar el porcentaje de Arena al 50% y añadir ceniza de caña de azúcar, al tener una densidad menor y ocupar el mismo volumen, el peso obtenido es menor que el peso de la arena que ocupa ese mismo volumen, además en esta dosificación se agregó 1% de aditivo con respecto al material cementicio, por lo que aparte del cemento también fue considerada la zeolita al cumplir el mismo rol pero en menos proporción, por lo que se optó por dividir la cantidad de este material en 4 para la consideración del aditivo, de esta forma si solo se consideraría el cemento solo se llega a 1.57% lo cual está dentro del 2% del rango máximo que brinda la especificación técnica del aditivo, el cual dice que al tener menos del 2% con respecto al cemento las propiedades de la mezcla no se verán afectadas [10].

Dosificación 75% de reemplazo de arena en volumen

Así mismo como la dosificación 50% también se cambió el porcentaje de Arena pero ahora al 75% y se la reemplazó por ceniza de caña de azúcar, al tener una densidad menor y ocupar el mismo volumen, el peso obtenido fue menor que el peso de la arena que ocupa ese mismo volumen, además en esta dosificación se agregó 1.2% de aditivo con respecto a la materia cementicia por lo que aparte del cemento también fue considerada la zeolita al cumplir el mismo rol pero en menos proporción por lo que se optó para dividir la cantidad de este material en 4 para la consideración del aditivo, de esta forma si solo se consideraría el cemento solo se llega a 1.87% lo cual está dentro del 2% del rango máximo que brinda la especificación técnica del aditivo el cual dice que al tener menos del 2% con respecto al cemento las propiedades de la mezcla no se verán afectadas [10]. La Figura 3 presenta la proporción real de todas las dosificaciones empleadas para la elaboración de 1 m³ de hormigón.

Material	PROPORCIÓN REAL KG/M3					
	M5 control	M5 - 50% C	M5 - 75% C	M3 control	M3 - 50% C	M3 - 75% C
Cemento	290.97	290.97	290.97	333.50	333.50	333.50
Zeolita	658.50	658.50	658.50	733.62	733.62	733.62
Agua	480.42	480.42	480.42	401.43	401.43	401.43
Arena SSS	309.33	154.66	77.33	358.74	179.37	89.69
Ceniza de caña de azúcar	0.00	125.52	188.28	0.00	147.40	221.11
Aditivo	0.00	4.49	5.47	1.06	5.22	6.35
Fibra	16.34	16.34	16.34	18.73	18.73	18.73

Fig. 3 Proporción real de dosificaciones
Fuente: Autores

Mezcla de mortero

El mortero se realizó partiendo de la metodología de mezclado mecánico de la norma NTE INEN 155:2009, al momento de realizar la mezcla a mano se variaron los tiempos de acuerdo con el comportamiento de la mezcla (Fig. 4). El procedimiento realizado se detalla en la Tabla 3.



Fig. 4 Mezcla de mortero
Fuente: Autores

Tabla 3 Procedimiento de mezclado

#	ACCIÓN	T (s)
PASO 1	Colocar toda el agua de mezclado en el tazón.	0
PASO 2	Añadir el cemento al agua y esperar a que se hidrate	30
PASO 3	Luego arrancar la mezcladora y mezclar a velocidad baja (140 rpm ± 5 rpm) por 30 segundos.	30
PASO 4	Añadir la cantidad total de arena lentamente durante un periodo de 30 segundos, mientras se continúa con el mezclado a velocidad baja.	30
PASO 5	Detener la mezcladora, cambiar a velocidad media (285 rpm ± 10 rpm) y mezclar por 30 segundos.	30
PASO 6	Detener la mezcladora y dejar el mortero descansar por 90 segundos. Durante los primeros 15 segundos de este intervalo, empujar rápidamente hacia abajo, dentro de la mezcla todo el mortero que pueda haberse adherido a los lados del tazón; luego por el resto de este intervalo cubrir el tazón con la tapa.	90
PASO 7	Añadir la cantidad total de fibra lentamente durante un periodo de 30 segundos, mientras se continúa con el mezclado a velocidad baja.	30
PASO 8	Terminar el mezclado por 60 segundos a velocidad media (285 rpm ± 10 rpm).	60
PASO 9	En el caso que requiera un intervalo de remezclado, todo el mortero adherido a los lados del tazón, debe ser rápidamente empujado hacia abajo dentro de la mezcla con el raspador, previo al remezclado.	
TIEMPO TOTAL		240

Fuente: Autores

IV. IMPACTO AMBIENTAL

La elaboración de un material de reparación de pavimentos rígidos, a base de ceniza del bagazo de caña de azúcar permite considerar el tema ambiental para la solución de la problemática citada. Las etapas o fases por considerar para esta opción son las siguientes: obtención y extracción de la materia prima, fabricación del producto, uso del producto y disposición final del mismo.

La fase de obtención de la materia prima, representa distintos escenarios en esta alternativa, por ejemplo, al usarse materiales alternativos para la dosificación del mortero, tales como la ceniza y la zeolita, se debe tener en cuenta el proceso

de combustión del bagazo de la ceniza de la caña de azúcar, el cual sin duda alguna representa contaminación ambiental por emisión de gases [11], sin embargo, por la misma razón, la adición de estos materiales permite reducir las cantidades de cemento a emplearse [12], disminuyendo así proporcionalmente la contaminación que se deriva del proceso de combustión de la piedra caliza, mineral de hierro y arcilla, elementos necesarios para la elaboración del cemento tradicional, todo esto, teniendo en cuenta que la industria del cemento aporta con el 5% del cambio climático [13]. Todo el uso de esta energía en los diferentes procesos contribuye con emisión de gases de efecto invernadero que derivan en cambios climáticos [14]. La cantidad de agua demandada para la dosificación es un factor que se debe manejar con responsabilidad dado los criterios sostenibles que promueven el no comprometer los recursos del planeta para las generaciones del futuro [15], mientras que en lo que respecta al uso del aditivo, su empleo aporta directamente con el impacto ambiental, debido al origen del mismo, resinas naturales [10]. En el proceso de fabricación del producto, se debe considerar opciones para el desecho de materiales de prueba para ensayos o productos que no hayan alcanzado las consideraciones necesarias de diseño, por lo que el desecho de este mortero al ecosistema promueve contaminación ambiental [16].

Teniendo en cuenta estos escenarios, se organizó las acciones que puedan causar impactos al medio ambiente con la finalidad de clasificar las acciones desde una manera general hasta la particularidad, es decir, partiendo de las fases de obtención de materia prima hasta el uso del mortero de reparación [17].

Se pudo constatar que al usar residuos de caña se genera un impacto benéfico para la agricultura. Mediante la inclusión de materiales alternativos como la ceniza del bagazo de la caña de azúcar en la elaboración de un mortero reparador, se promueve la producción de la caña, permitiendo así dar un nuevo uso mediante la combustión al bagazo residual de la producción.

Habiendo valorado los posibles impactos negativos derivados de las acciones reconocidas se presenta un plan de manejo de desechos que considere una buena gestión de estos, específicamente en la etapa de extracción y obtención de la materia prima. En la Tabla 4 se muestra el plan de manejo de la caña de azúcar.

Tabla 4 Plan de manejo de desechos de la caña de azúcar

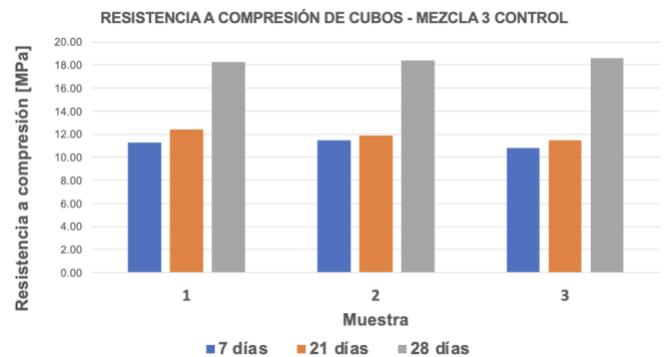
OBTENCIÓN Y EXTRACCIÓN DE MATERIA PRIMA						
Plan	Objetivos	Responsabilidad de la implementación	Actividades específicas	Monitoreo	Indicadores de desempeño	Reportes
Plan de manejo de desechos.	Disponer de un proceso certificado para la recolección del bagazo de la caña de azúcar y su combustión para obtención de ceniza.	Empresarios del sector agrícola.	Cosecha amigable con el ambiente. Combustión sostenible para obtención de bagazo. Combustión sostenible para obtención de ceniza	Visitas de acreditación. Visitas de inspección. Bitácora del proceso.	Toneladas de ceniza obtenida en determinado tiempo.	Informes trimestrales de producción.

Fuente: Autores

VI. ANALISIS DE RESULTADOS

Se realizaron ensayos de compresión en los cubos elaborados con la finalidad evaluar las resistencias de los especímenes de las mezclas diseñadas. Las resistencias se presentan en [MPa] y fueron registradas a los 7, 21 y 28 días de curado de los elementos. La Figura 5 representa visualmente el aumento progresivo de la resistencia con el paso de los días de curado. Para todos los especímenes se obtuvo un valor de resistencia superior a los 28 días. En la primera etapa de evaluación, se adquirió un 61.64% de la resistencia total ganada, a los 21 días los resultados no presentaron un aumento considerable, sin embargo, a los 28 días se tuvo un incremento del 38.36% con respecto al valor inicial, alcanzándose un valor máximo promedio de 18.42 MPa entre las 2 tandas.

Fig. 5 Diagrama de barras de resistencia a la compresión de M3 control

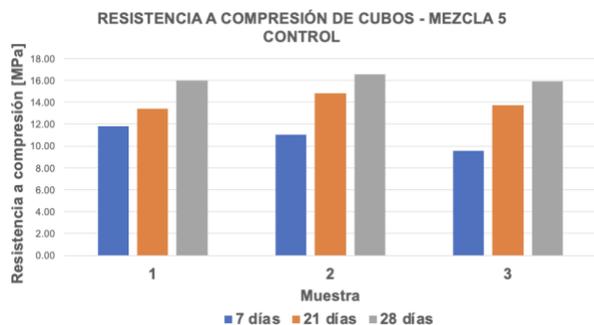


Fuente: Autores

En la Figura 6 se aprecia que existió un aumento secuencial de dichos valores en las 3 tandas, adicionalmente, más del 50% de la resistencia total alcanzada se adquirió durante los primeros 7 días de curado y a los 28 días el

incremento fue del 33.33% en promedio con respecto al ensayo inicial.

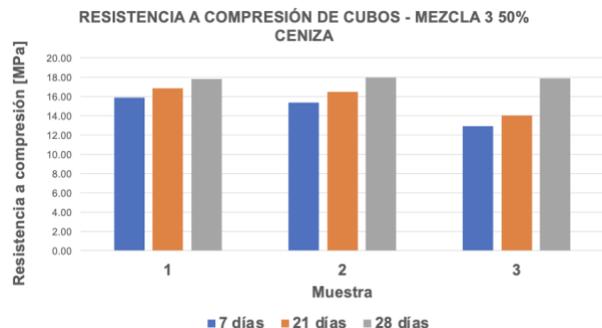
Fig. 6 Diagrama de barras de resistencia a la compresión de M5 control



Fuente: Autores

En la Figura 7 se registra las resistencias a compresión de la mezcla 3 con un reemplazo del 50% de la cantidad de arena por ceniza, los valores máximos alcanzados se obtuvieron a los 28 días de curado, con una resistencia promedio de 17.88 MPa. En esta gráfica se puede visualizar el incremento de la resistencia a compresión con el paso de los días de curado, a los 7 días las muestras alcanzaron un 83.37% de la resistencia con respecto al valor máximo obtenido, este incremento considerable a temprana edad puede ser asociado a las propiedades de agente reductor de agua de alto poder del aditivo [9].

Fig. 7 Diagrama de barras de resistencia a la compresión de M3 – 50% C

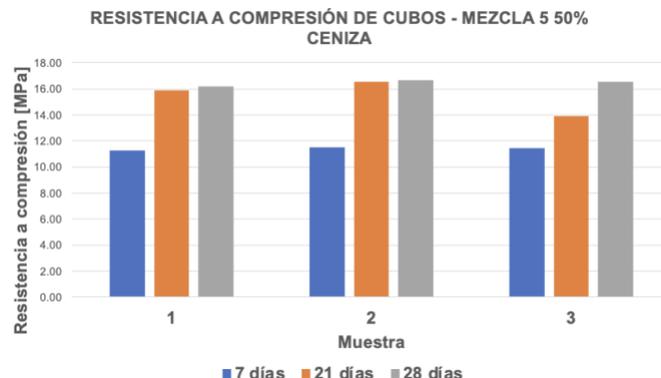


Fuente: Autores

En la Fig. 8 se presentan las resistencias a compresión alcanzadas por los cubos elaborados con la mezcla 5 con reemplazo del 50% de la cantidad de arena por ceniza de caña de azúcar. En los datos se puede apreciar que la resistencia de las dos primeras muestras a los 21 días vs. las de 28 días difirió por 1.67%, a excepción de la muestra 3 obtenida, que

presentó una variación del 16.03% con respecto a la resistencia obtenida a los 21 días.

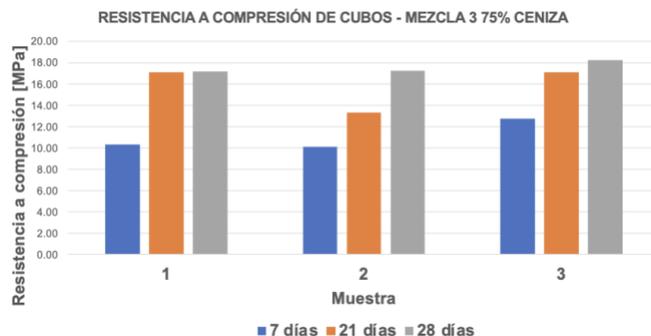
Fig. 8 Diagrama de barras de resistencia a la compresión de M5 – 50% C



Fuente: Autores

En la Fig. 9 se detalla los valores de resistencia alcanzados por los especímenes elaborados con la mezcla 3 con adición del 75% de ceniza en reemplazo de arena. Existe un crecimiento acelerado en la muestra 1 y 3, ya que a los 21 días alcanzaron el 99.40% y 93.69% de la resistencia final, respectivamente. Por otro lado, la muestra 2 presentó un comportamiento sin novedades.

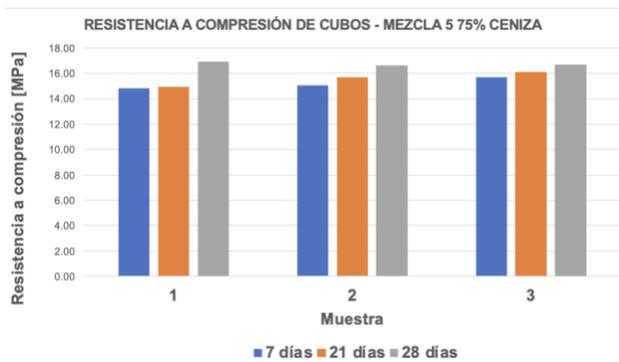
Fig. 9 Diagrama de barras de resistencia a la compresión de M3 – 75% C



Fuente: Autores

En la Fig.10 se registran los datos alcanzados en el ensayo de resistencia de las muestras M5 – 75% C, a los 7, 21 y 28 días de curado. Se puede observar el incremento de resistencia de las tres muestras entre los días 7 y 28 de curado, es menor al 10%, ya que las muestras a los 7 días obtuvieron un valor promedio del 90.80% de la resistencia total adquirida.

Fig. 10 Diagrama de barras de resistencia a la compresión de M5 – 75% C



Fuente: Autores



Fuente: Autores

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos de compresión entre todas las dosificaciones de las dos mezclas elaboradas, se procedió a elegir la mezcla que reúna criterios sostenibles, técnicos y presupuestarios para evaluar su comportamiento al ser vertida en una superficie o bache en cuanto a adherencia respecta. Entre estos indicadores se considera sostenibilidad, viabilidad técnica y monetaria, obteniendo que para el indicador de sostenibilidad y resistencia la mezcla 5 se la considera ideal debido a su composición y resistencia alcanzada.

A los 14 días de curado, se evaluó la adherencia de la mezcla M5 con 50% de contenido de ceniza, el mortero se colocó sobre una superficie rugosa de hormigón, simulando la colocación sobre un bache. La Tabla 5 presenta el reporte de los resultados de cuatro muestras en las que se ensayó la adherencia adquirida, adicionalmente, se detalla el área del disco generador de la superficie de contacto, la resistencia, esfuerzos máximos soportados y el tipo de falla ocasionado (Fig. 11).

Tabla 5 Resultados de ensayo de adherencia mezcla M5 50% C

ENSAYO DE ADHERENCIA					
Muestra	Área de disco (mm ²)	Resistencia Max	Esfuerzo [kN/m ²]	Esfuerzo [MPa]	Tipo de falla
1	1963.00	0.80	407.54	0.41	B
2	1963.00	0.80	406.52	0.41	C
3	1963.00	1.01	516.56	0.52	B/C
4	1963.00	0.63	322.47	0.32	B

Fuente: Autores

Fig 11. Muestras evaluadas por adherencia

La Figura 11 exhibe las cuatro tomas de muestras ensayadas por adherencia. Visualmente, los discos 1 y 4 presentaron una superficie de contacto limpia, este acontecimiento se asocia al comportamiento de una falla B (falla por junta entre hormigón y mortero), el disco 2 en su evaluación dejó escombros de mortero en la cara de contacto del hormigón, asociándose a una falla del mortero (ASTM C1583/C 1583M, 2008), finalmente, el disco 3 presentó la mitad de su superficie limpia y con mortero, pudiendo ser una falla por mortero o por junta.

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Los ensayos llevados a cabo permitieron caracterizar el agregado fino y conocer sus propiedades. Por medio del análisis de las propiedades mecánicas y de un estudio de impacto ambiental, se seleccionó la dosificación M5 – 50% C como propuesta de material reparador de pavimentos rígidos. Ante la inclusión de ceniza del bagazo de la caña de azúcar, se logró optimizar su diseño, obteniéndose una resistencia promedio a la compresión de 16.45 MPa, 1.92% mayor a la resistencia promedio de la mezcla control, 16.14 MPa. Similar comportamiento presentó la dosificación M5 – 75% C, que obtuvo un esfuerzo promedio de 16.74 MPa, 3.71% mayor al de la mezcla control. Si bien la dosificación M5 – 75% C, obtuvo un comportamiento a compresión mejor, esta no fue seleccionada como propuesta, dada la influencia de una mayor cantidad de aditivo empleada, priorizando los factores medio ambientales.

Recomendaciones

Para la elaboración de las mezclas de mortero y sus dosificaciones, se recomienda tener en cuenta las limitaciones técnicas de equipos, como la falta de una máquina mezcladora, ya que en caso de diseñar una dosificación con relación agua/cemento alto, característica de poseer baja trabajabilidad, no se asegura el alcanzar los valores de resistencia a

compresión esperados, debido a la dificultad que se presenta con la técnica de mezclado a mano.

Durante la evaluación de la resistencia a la adherencia de alguna muestra de mortero en una futura ocasión, se recomienda verter la mezcla sobre una superficie lisa a pesar de la presencia de irregularidades en las superficies de un pavimento real. Esto se sugiere para asegurar una mejor unión entre las caras de los materiales y obtener resultados más claros en cuanto al tipo de falla que presente el ensayo, pudiéndose interpretar mejor si las fallas ocurren por la junta de adherencia, por el mortero o por el hormigón.

Se recomienda emplear al menos dos aditivos distintos y variar su método de uso con la finalidad de evaluar y aprovechar las distintas ventajas que ofrecen cuando son utilizados como superplastificantes, agentes reductores de agua de alto poder o agentes economizadores de cemento.

REFERENCES

- [1] Sánchez, F. J. (2002). *Historia, caracterización y restauración de morteros*. (I. U. Construcción, Ed.) Sevilla, España: Universidad de Sevilla, P 9-10. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=243267>
- [2] Giraldo Escandón, C. E., Vidal Velasco, D. V., Martínez López, C. y Torres Agredo, J. (2012). Ceniza de bagazo de caña como aditivo al cemento Portland para la fabricación de elementos de construcción. *Acta Agronómica*, 61(5), 77-78. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/41468
- [3] Álvarez, Maria & Rojas Manzano, Manuel & Izquierdo, Juan. (2019). Uso de la ceniza de bagazo de caña (CBC) como reemplazo parcial del cemento Portland -Caso Colombia. *61º Congresso brasileiro do concreto - cbc2019*. https://www.researchgate.net/publication/341600795_uso_de_la_ceniza_de_bagazo_de_cana_cbc_como_reemplazo_parcial_del_cemento_portland_-_caso_colombia
- [4] Comunicaciones, M. d. (2002). Especificaciones Generales Para la Construcción de Caminos y Puentes. Quito.
- [5] Gordillo, C. (2018). Evaluación de daños de pavimentos. Guayaquil.
- [6] Pérez Casal, Olga (2018). *Estudio del comportamiento mecánico de elementos de hormigón reparados con morteros de reparación*. Tesis (Doctoral), E.T.S. de Edificación Madrid: Escuela Técnica Superior de Edificación de Madrid. (UPM). <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.52732>.
- [7] Contreras, N. F. (2021). Mortero de cemento con aditivo de Polímero líquido tipo Latex para la preparación a profundidad parcial de Losas de Concretos en Pavimentos Rígidos. Bogotá: Universidad Católica de Colombia Facultad de Ingeniería. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/14638cb8-7531-4af5-912f-a93592b2cc01>
- [8] Consulting, C. (2015). Estudio de impacto ambiental y plan de manejo ambiental para la construcción y mejoramiento de la carretera Quinindé – Las Golondrinas – Saguangal (Magdalena Bajo) con una longitud aproximada de 98 km. Quito.
- [9] Arce, G., Hassan, M., Subedi, S., Rivas, A., Hidalgo, S., & Eguez, H. (2020). Evaluation of Bagasse Ash as Cement and Sand Replacement for the Production of Engineered Cementitious Composites (ECC). Retrieved from https://digitalcommons.lsu.edu/transet_pubs/88Sika. (2020).
- [10] Hoja técnica de producto - Sikament - N 500. Guayaquil. <https://ecu.sika.com/es/documentacion.html?>
- [11] Aquino Mercado, P., Cuevas Alvarado, C., & Carrillo Arévalo, K. (2017). Balance de las emisiones de gases y partículas de la quema de caña de azúcar en México. ATAM. <https://independent.academia.edu/INVESTIGACION%20NESTRATEGICA>
- [12] Arbeláez Pérez, O., Delgado Varela, K., & Castañeda Mena, J. (2022). Efecto de la incorporación de ceniza de bagazo de caña en las propiedades mecánicas y las emisiones de dióxido de carbono del hormigón preparado con residuos de vidrio. ELSEVIER, 1. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2022.08.001>.
- [13] León Velez, A., & Guillén Vera, V. (2020). Energía contenida y emisiones de CO2 en el proceso de fabricación del cemento en Ecuador. SCIELO, 1. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300448>
- [14] Benavides Ballesteros, H., & León Ariztizabal, G. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Bogotá: IDEAM. <http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=9059>
- [15] Díaz-Pulido, A. P., Chingaté-Hernández, N., Muñoz-Moreno, D. P., Olaya-González, W. R., Perilla-Castro, C., Sánchez-Ojeda, F., & Sánchez-González, K. (2009). Desarrollo sostenible y el agua como derecho en Colombia. *Revista Estudios Socio-Jurídicos*, 11(1), 84-116.
- [16] Flores-Alés, V., Martín-del Río, J. J., Blasco-López, F. J., & Alejandre, F. J. (2015). Análisis de impactos ambientales producidos durante la fase de ejecución en edificación: operaciones de limpieza y recuperación de aguas de lavado de hormigones en España. *Informes De La Construcción*, 67(538), e091. <https://doi.org/10.3989/ic.14.031>
- [17] Garmendia, A. (2005). *Evaluación de impacto ambiental*. Madrid: Pearson Educación S.A.