

Diseño De Hormigón Para Refuerzo De Pavimento Mediante La Técnica De Whitetopping

Concrete Design For Pavement Reinforcement Using The Whitetopping Technique

Autores

Joysbel Estefania Vega Pin¹, Juleidy Guadalupe Zambrano Llor², Eduardo Tejeda Piusseaut³, Allison Raquel Zamora Bailón⁴

¹ Universidad Técnica de Manabí, Ecuador, jvega5019@utm.edu.ec

² Universidad Técnica de Manabí, Ecuador, jzambrano4932@utm.edu.ec

³ Ing. Civil, PhD, Docente. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador, eduardo.tejeda@utm.edu.ec

⁴ Ing. Civil. Ecuador, allisonzamora1514@outlook.com

RESUMEN

Whitetopping es una técnica constructiva donde se usa el hormigón para el diseño y rehabilitación de pavimentos asfálticos. En la investigación se diseñó un hormigón para ser utilizado en esta técnica, empleando agregados procedentes de la zona de Picoazá, Ecuador. Se empleó cemento Portland tipo HE según las especificaciones de las normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización, de alta resistencia inicial para las estructuras viales. Se diseñaron dos mezclas utilizando diferentes agregados gruesos (piedra No. 6 y No. 7) y en ambas mezclas, como árido fino, la combinación de arena de duna y piedra No. 89, para mejorar la calidad de la arena natural en las mezclas. Son empleados dos aditivos en los diseños, uno para retardar el fraguado y otro como plastificante del hormigón. La variable dependiente utilizada para valorar las mezclas fabricadas es la resistencia a compresión no confinada, utilizando pruebas a los 7, 14 y 28 días de curado. Los resultados de la resistencia en el hormigón cumplen con las exigencias para su uso en Whitetopping, alcanzando la resistencia del diseño de 350kg/cm², tanto para la mezcla con el agregado grueso No. 6 como con el agregado No. 7, por lo que no se observa influencia del tipo de áridos en el incremento de la resistencia, sin embargo, la resistencia alcanzada es mayor con el uso de aditivos.

Palabras clave: pavimentos rígidos, pavimento de hormigón, hormigón.

ABSTRACT

Whitetopping is a construction technique where concrete is used for the design and rehabilitation of asphalt pavements. In the research, a concrete is designed to be used in this technique, using aggregates from the Picoazá area, Ecuador. Portland cement type HE was used according to the specifications of the standards of the Ecuadorian Institute of Standardization, with high initial resistance for road structures. Two mixtures were designed using different coarse aggregates (stone No. 6 and No. 7) and in both mixtures, as fine aggregate, the combination of dune sand and stone No. 89, to improve the quality of the natural sand in the mixtures. Two additives are used in the designs, one to delay setting and the other as a plasticizer for the concrete. The dependent variable used to evaluate the manufactured mixtures is the unconfined compressive strength, using tests at 7, 14 and 28 days of curing. The resistance results in the concrete meet the requirements for its use in Whitetopping, reaching the design resistance of 350kg/cm², both for the mixture with coarse aggregate No. 6 and with aggregate No. 7, so There is no influence of the type of aggregates on the increase in resistance; however, the resistance achieved is greater with the use of additives.

Keywords: rigid pavements, concrete pavement, concrete.

1. INTRODUCCIÓN

Los pavimentos de carreteras proporcionan un cimiento necesario para la actividad económica y social de una nación, los que a su vez deben garantizar confort y seguridad durante la circulación vial, para lo cual se requiere prevenir deterioros prematuros en estas infraestructuras, evitando así el incremento de costos en mantenimientos y reparaciones, de manera que se deben cumplir con los requerimientos mínimos de calidad en los materiales de acuerdo a las normas vigentes, para preservar la calzada durante su vida de servicio. La American Concrete Pavement Association (2014), señala que, a nivel mundial, los volúmenes de tránsito aumentan y el emergente riesgo sobre la sustentabilidad de estas estructuras también se incrementa.

En la rehabilitación de los pavimentos asfálticos o flexibles, se puede emplear la técnica conocida como Whitetopping (WT), que consiste en la aplicación de una losa de hormigón superpuesta sobre el pavimento asfáltico existente, con un espesor que puede variar entre 50 y 250 mm, según Luna et al. (2019).

Las experiencias en el empleo del Whitetopping demuestran que con esta alternativa se obtienen grandes ventajas, entre las que se mencionan: la extensión de la durabilidad del pavimento, la mejora de la integridad estructural, protección ante los daños climáticos, además de optimizar la calidad de la estructura y la reducción de los costos asociados al mantenimiento.

En América Latina, las exigencias respecto a la infraestructura, colocan el WT como una de las mejores alternativas tecnológicas para la rehabilitación de pavimentos asfálticos. En la ciudad de São Paulo, en Brasil, se ha aplicado este sistema en el corredor exclusivo para autobuses en la Avenida Rebouças. En México se ha usado exitosamente en numerosos casos, siendo Tijuana una de las ciudades donde más se ha empleado, donde se han recuperado aproximadamente 160 kilómetros de vías (Oliveira, 2019).

Se puede afirmar que el Whitetopping es una tecnología de avanzada, desarrollada e implementada en diferentes países, permitiendo la recuperación de la vialidad a menor costo y de una manera más rápida y eficiente. En Ecuador esta técnica de pavimentación se ha usado muy escasamente, sin embargo, se implementó con éxito en la vía Biblián-Zhud, ubicada en la provincia del Cañar, de dos carriles de circulación y una extensión aproximada de 53 km, aplicando nuevos sistemas de gestión vial y tomando en consideración los parámetros de sostenibilidad (Bojórquez, 2021). El espesor de losa de hormigón, usado como capa de rodadura, es de 220 mm, con losas de longitudes de 4.5 m y ancho de 4.0 m, igual al ancho de carril, y utilizando pasadores de 25 mm en las juntas transversales.

Con este estudio se pretende brindar información sobre este sistema de pavimentación, poco conocido en el Ecuador, como una alternativa de rehabilitación para los pavimentos flexibles, ya que algunas carpetas asfálticas se encuentran actualmente deterioradas y esta solución puede ser ventajosa desde los puntos de vista técnico y económico; es una solución innovadora de nivel internacional en la que se consigue incrementar la durabilidad de las vías que tienen el pavimento asfáltico deteriorado.

Por consiguiente, para establecer el propósito de este trabajo se parte de la siguiente pregunta: ¿Se puede alcanzar la resistencia necesaria para la técnica de Whitetopping, con los agregados procedentes de la región de Manabí? De ahí que se establece como objetivo principal en la investigación: Diseñar una mezcla de hormigón para la rehabilitación de pavimento asfáltico para su utilización en Whitetopping, empleando agregados procedentes de la provincia.

2. LA TÉCNICA DE WHITETOPPING PARA LA REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

El Whitetopping se diseña para la rehabilitación de pavimentos asfálticos donde el nivel de deterioro no sea excesivo, mediante su recubrimiento con una sobrecarpeta de hormigón hidráulico, siendo ideal en carreteras de tránsito ligero y medio, intersecciones, vialidades urbanas, estacionamientos y pistas de aeropuertos. Es una técnica que aprovecha la capacidad resistente de la capa existente, mejorando la capa superficial, a fin de optimizar la vida útil del pavimento (Arias y Leguía, 2021).

Luna et. al (2019) y (Alarcón, 2021) subrayan que el Whitetopping consiste en colocar encima del pavimento existente una sobrecarpeta o losa de hormigón hidráulico, aumentando con ello la vida útil de esta estructura, como se muestra en la figura 1. Sin embargo, el proceso de rehabilitación de un pavimento asfáltico mediante el Whitetopping no solo se utiliza como parte de una solución de rehabilitación, sino también como nueva capa de rodamiento dentro del diseño de una vialidad (Andrade y Franco, 2019).

El Whitetopping fue utilizado en sus inicios como pavimento de recubierta y posteriormente, en la década de 1990 se desarrollaron nuevas propuestas de diseño y construcción como un tipo alternativo de pavimento, identificándolos como Ultra Thin Whitetopping. De modo que, en los últimos años, se ha notado presencia de Whitetopping como alternativa viable para la rehabilitación y pavimentación (Alarcón, 2021).

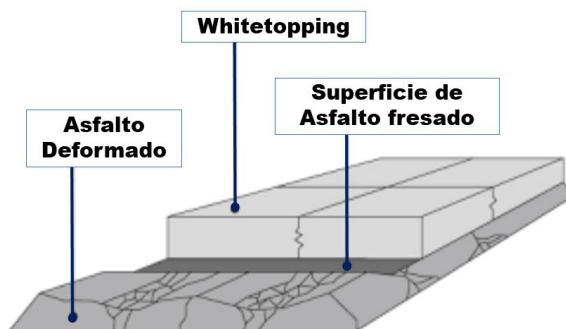


Figura 1. Esquema de la estructura formada mediante Whitetopping.
Fuente: Andrade y Franco, (2019).

El Whitetopping adopta diferentes espesores para extender la vida útil del pavimento deteriorado, definiéndose tres tipos, según el espesor de losa, a saber:

1. Convencional, el de mayor espesor (20 cm o más de hormigón)
2. Delgado, también conocido como Thin Whitetopping (TWT, por sus siglas en inglés), de espesor intermedio, entre 10 y 20 cm y con espaciado de juntas recomendado entre 60 y 120 cm.
3. Ultra delgado, conocido como Ultra Thin Whitetopping (UWT, por sus siglas en inglés), construido con espesor entre 5 y 10 cm y espaciado de juntas recomendado entre 60 y 180 cm.

La adherencia de la losa con la capa asfáltica es un factor importante a tener en cuenta, clasificándose como: Adherido (Bounded), en el que los espesores delgados y ultradelgados aprovechan la adherencia para la reducción del espesor de losas y No adherido (Unbounded), condición típica para Whitetopping convencionales. En el diseño del Whitetopping es necesario evaluar el estado del pavimento existente, para determinar los tipos de fallos que presenta y decidir el espesor que debe ser utilizado para la rehabilitación de la vía (Lázaro et al., 2019).

En el uso de esta técnica se destacan algunas ventajas, según lo expuesto por Gutiérrez, (2021):

- Se obtiene una superficie más resistente y perdurable, en la que los esfuerzos del tráfico no producen deformaciones, por lo que se conservan altos estándares de fricción entre el pavimento y el vehículo.
- La solución representa un costo total inferior en comparación a una rehabilitación mediante capas asfálticas, incluyendo la construcción y los trabajos de mantenimiento, además de incrementar el tiempo de servicio en 15 o 20 años, con mínimas actividades de conservación.
- La losa de hormigón por su dureza y capacidad de resistencia ante lubricantes y combustibles es adecuada para conservar una carpeta superficial en correctas condiciones.
- Con esta técnica, aplicable a pavimentos flexibles con daños a nivel de la carpeta de rodadura, que necesitan alguna rehabilitación o retiro total de la carpeta, se consigue una ejecución más rápida que cualquier solución de recape asfáltico.

Por otra parte, Andrade y Franco (2019), puntualizan otras ventajas con el uso de Whitetopping. El recubrimiento de hormigón, por la facilidad de corregir los problemas existentes en la capa inferior, modifica el perfil de la superficie, rellenando uniformemente las huellas existentes en la capa deteriorada, por tanto, no se desarrollan las fallas presentes en la carpeta asfáltica, reduciéndose considerablemente el reflejo de grietas.

Entre los factores a tener en cuenta para que pueda ser viable esta técnica, Cristóbal (2022), señala que la capa asfáltica debe tener un deterioro superficial, lo que significa, que no posea daño estructural, además indica que el espesor de la carpeta asfáltica existente después del fresado debe ser superior a 7.5 cm.

No hay una única resistencia a compresión específica para el Whitetopping, ya que puede variar según las especificaciones del proyecto, por lo que debe ser diseñado y dimensionado específicamente para cada caso. En general, se busca que la composición del Whitetopping tenga una resistencia a la compresión lo suficientemente alta como para soportar las cargas y el tráfico previsto sin sufrir daños significativos. De acuerdo a la guía de diseño de ACPA (American Concrete Pavement Association) se aconseja que la composición del hormigón posea una resistencia a compresión mínima de 280 kg/cm², a los 28 días ACPA (2014). Sin embargo, en algunos casos, se pueden utilizar mezclas de hormigón con resistencias más altas para aplicaciones especiales o para resistir mayores cargas pesadas.

3. TRABAJO EXPERIMENTAL.

3.1. Materiales Empleados En El Diseño De Las Mezclas

En el experimento se consideró el diseño de dos tipos de mezclas para su empleo en Whitetopping combinando diferentes agregados, con igual composición granulométrica, en las que se adicionaron dos aditivos, uno como reductor de agua y otro como plastificante del hormigón. Por consiguiente, las variables involucradas en la investigación son: como variables independientes la granulometría de uno de los agregados y como dependiente la resistencia a la compresión no confinada. A continuación, se mencionan las características generales de los materiales utilizados en los diseños de mezclas.

- **Agregados**

Se utilizaron como agregados gruesos muestras de la zona de Picoazá, de primera calidad, producidos por trituración y cribado de piedra basáltica, dura, de forma cúbica, color gris, con una buena graduación y libre de impurezas. Sus aplicaciones son comúnmente para hormigones estructurales, hormigón asfáltico y otras obras civiles, como losas, contrapisos, columnas, etc. (Megarock, 2015).

Para el análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos, se utilizó la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 696 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011). La determinación del Peso Unitario Suelto (PUS) y el Peso Unitario Compactado (PUC), se determinaron mediante la NTE INEN 858 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010) y para la Gravedad Específica (DSSS) se empleó la norma NTE INEN 857 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

- **Cemento:**

El cemento Portland empleando en los diseños fue el tipo HE según las especificaciones de las normas NTE INEN 151:2010 y NTE INEN 2380:2011 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010 y 2011). El cemento hidráulico HE es de alta resistencia inicial producido de acuerdo a la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2380 (equivalente a la norma ASTM 1157), que proporciona una mezcla más fuerte que el cemento convencional a cualquier edad.

De acuerdo a las especificaciones de Holcim Ecuador S.A. (2023), algunos de los beneficios que aporta el uso de este tipo de cemento son: las altas resistencias iniciales y finales y superiores a las especificadas en la Norma NTE INEN 2380; mejor trabajabilidad de las mezclas; reducción de la segregación, exudación y calor de hidratación; buen desempeño de fraguado; difusión de cloruros y ataque de sulfatos, lo que aumenta la durabilidad, así como ahorro significativo en el consumo de cemento.

- **Arena:**

La arena fina, también procedente de Picoazá, con un módulo de finura de 1.00, es un agregado fino de primera calidad, especialmente diseñado para la preparación de hormigones de alta resistencia; con granulometría bien controlada, libre de impurezas gracias a un moderno sistema de lavado. Se aplica en hormigones estructurales, hormigones lanzados, elementos prefabricados, morteros, fabricación de adoquines, etc. (Megarock, 2015).

- **Aditivos**

Se utilizaron dos aditivos químicos disponibles en el país, para modificar las propiedades del hormigón: Sikament® N-100 y Sikament® N-230, que cumplen con la norma ASTM C-494 (Sika, 2017). Se pueden incorporar antes o durante la preparación de la mezcla, con la finalidad de modificar sus propiedades físicas. Usualmente la dosificación es del 5% respecto al peso del cemento (Tomalá y Cucalón, 2020). A continuación, algunas características de los aditivos utilizados.

- Sikament® N-100: Es un aditivo líquido, superplastificante, reductor de agua de alto poder y economizador de cemento, compuesto por resinas sintéticas. Se utilizó como reductor de agua, adicionándolo disuelto en la última porción del agua de amasado, con el cual se consigue la misma manejabilidad inicial y un incremento considerable de las resistencias a todas las edades, además, la impermeabilidad y durabilidad del hormigón se ven incrementadas notablemente.

- Sikament®-230: Es un aditivo reductor de agua – plastificante, especialmente formulado para la fabricación de hormigones en plantas de hormigón premezclado y de obra, con densidad de 1,07 kg/l aproximadamente. No contiene cloruros y no ejerce ninguna acción corrosiva sobre las armaduras. Se empleó para prever que la transportación se realice a largas distancias, evitando así la pérdida de trabajabilidad en el hormigón.

3.2. Diseño De La Investigación

En la investigación se desarrollaron dos diseños de mezcla de hormigón para su empleo como capa de Whitetopping, con áridos provenientes de una cantera ubicada en la región de Portoviejo. Se consideraron dos variantes de diseño, que difieren en los tamaños del árido grueso empleado. Se consultaron normativas, técnicas, procedimientos y documentación pertinentes relacionados con la técnica del Whitetopping.

El diseño de las mezclas comenzó con la caracterización de los materiales con el propósito de analizar los requerimientos que deben tener estos materiales para su empleo en el hormigón, así como establecer las diferencias entre los agregados a emplear. En los diseños se utilizaron dos agregados gruesos con tamaños diferentes, pero manteniendo una composición granulométrica aproximadamente constante en ambas mezclas. La Mezcla 1 incluyó la Piedra No. 6, mientras que la Mezcla 2 incorporó la piedra No. 7. En ambas mezclas, se combinaron estos agregados con la piedra de menor tamaño, la No. 89, además de la arena. En la Tabla 1 se detallan las características generales de los agregados utilizados en el estudio. Además de los componentes mencionados, se añadieron aditivos, uno destinado a retardar el proceso de fraguado y otro con funciones plastificantes para el hormigón.

Tabla 1. Características de los agregados utilizados en los diseños de mezcla.

Agregados	Tamaño Máximo	Módulo de Finura	ABS %	PUS kg/m ³	PVC kg/m ³	DSSS kg/m ³
Piedra No. 6 (9,5 a 19 mm)	19,0mm (3/4pulg.)	6,74	3,48	1354,00	1492,00	2607,00
Piedra No. 7 (4,75 a 12 mm)	12,5mm (1/2pulg.)	6,48	3,63	1305,00	1443,00	2591,00
Piedra No. 89 (1,18 – 9,5 mm)	9,5mm (3/8pulg.)	5,55	4,35	1280,00	1408,00	2593,00
Arena		2,67	1,60	1384,00		2659,00
- PUS: Peso Unitario Suelto. - PUC: Peso Unitario Compactado. - DSSS: Gravedad Específica. - ABS: Porcentaje de Absorción.						

El hormigón se distingue por su alta elasticidad y resistencia a los esfuerzos mecánicos intensos, lo que lo convierte, en los pavimentos, en una solución duradera y eficiente, para lo cual debe cumplir con ciertos requisitos, dentro de los cuales se encuentran los siguientes, según la metodología de Abanto (2009).

- El asentamiento de la mezcla debe estar en un rango entre 5 y 7,5 cm, para garantizar una adecuada trabajabilidad.
- La mezcla debe tener un buen curado, evitando con ello el agrietamiento, lo que implica mantener el hormigón húmedo y protegido durante un período de tiempo suficiente para permitir una hidratación y endurecimiento apropiados.

En la preparación de las mezclas se garantizó un asentamiento máximo de 7,62 cm, utilizando la vibración como método de compactación. Las mezclas se ensayaron a compresión con diferentes días de curado, comprobando los resultados a los 7, 14 y 28 días después de su elaboración. La relación agua-cemento requerida se determinó tomando en consideración la resistencia, la durabilidad y las propiedades de acabado del hormigón. Se realizaron, por tanto, dos tipos de mezclas, y a su vez, en su fabricación, se emplearon dos variantes: sin aditivos y con aditivos, para un total de cuatro diseños.

Las mezclas se realizaron aplicando la norma NTE INEN 1 573 (2010) y siguiendo la metodología propuesta por Abanto (2009), con el objetivo de alcanzar una resistencia de 350 kg/cm². Es importante destacar que ambas mezclas consideradas en este estudio compartían la misma composición granulométrica, pero se realizaron modificaciones en el árido grueso utilizado.

En el caso de la Mezcla 1, la granulometría estaba compuesta por el agregado grueso No. 6. Además, como agregado fino, se empleó una arena de duna lavada combinada con la Piedra No. 89 para mejorar la composición del agregado fino. Esto se logró utilizando una proporción de 60% de arena de duna lavada y el 40% de la piedra No. 89. Por otro lado, la Mezcla 2 se conformó con los agregados No. 7 como árido grueso, además de utilizar arena como agregado fino y el árido No. 89 en proporciones iguales a las de la Mezcla 1.

Ambas mezclas se sometieron a modificaciones mediante el uso de aditivos. Se generaron dos grupos de cilindros en cada una de las mezclas, con un total de 18 cilindros en cada tipo de mezcla. De estos, 9 cilindros se elaboraron sin el uso de aditivos, mientras que los 9 restantes se fabricaron con aditivos.

La Tabla 2 muestra en detalle los materiales que conforman las mezclas 1 y 2. Es importante destacar que se mantuvo constante la proporción entre los agregados en ambas mezclas, y la variable de estudio se centró en el tipo de árido grueso utilizado.

Tabla 2. Mezcla 1 con y sin aditivos incorporados, para 1 m³ de hormigón.

F'c= 350 kg/cm ²								
MATERIALES	MEZCLA 1				MEZCLA 2			
	Sin aditivo		Con aditivo		Sin aditivo		Con aditivo	
	kg/m ³	%	kg/m ³	%	kg/m ³	%	kg/m ³	%
Cemento	507,36	22	507,36	21	507,36	22	507,36	21
Agua	207,87	9	177,45	7	207,87	9	177,45	7
Piedra No. 6	477,44	21	477,44	21				
Piedra No. 7					461,76	20	477,44	21
Chispa No. 89	450,56	20	450,56	20	450,56	20	450,56	20
Arena	654,41	28	735,29	29	667,49	29	735,29	29
Aditivo reductor de agua		-	7,61	1,50			7,61	1,50
Aditivo retardante AD	-	-	2,537	0,50			2,537	0,50

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la tabla 3 se muestran los resultados de la resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días de curado para todos los cilindros de la Mezcla 1 donde se utilizó la piedra No. 6, como árido grueso, con aditivos y sin aditivos. Cuando se utilizó aditivos la relación a/c es de 0,35 y sin aditivos, la relación a/c es de 0,41.

Tabla 3. Resultados de la resistencia a compresión no confinada para las dos mezclas, con piedra No. 6 como agregado grueso, con diferentes días de curado.

Dosificación	Resistencia de cilindros para diferentes días de curado (kg/cm ²)		
	7 días	14 días	28 días
Sin aditivo Relación a/c de 0,41	266,50	303,78	353,21
	265,50	304,60	353,92
	266,56	304,88	354,44
Con aditivo Relación a/c de 0,35	351,15	356,29	416,36
	352,19	357,06	417,57
	353,39	358,07	418,42

En la tabla 4 se muestran los resultados de la resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días de curado para todos los cilindros de la Mezcla 2 donde se utilizó la piedra No. 7, como árido grueso, ensayados con aditivos y sin aditivos. Cuando se utilizó aditivos la relación a/c es de 0,35 y sin aditivos, la relación a/c es de 0,41.

Tabla 4. Resultados de la resistencia a compresión encofinada para las dos mezclas, con piedra No. 7 como agregado grueso, con diferentes días de curado.

Dosificación	Resistencia de cilindros para diferentes días de curado (kg/cm ²)		
	7 días	14 días	28 días
Sin aditivo Relación a/c de 0,41	268,64	306,14	355,38
	270,18	308,12	356,54
	271,37	309,22	358,65
Con aditivo Relación a/c de 0,35	328,19	356,51	415,26
	333,52	358,21	419,95
	335,25	361,21	422,21

En las figuras 2 y 3 se han graficado los resultados de las resistencias para los dos tipos de mezclas, obtenidas para diferentes días de curado (7, 14 y 28 días) y en las dos condiciones, sin y con aditivos incorporado a la mezcla.

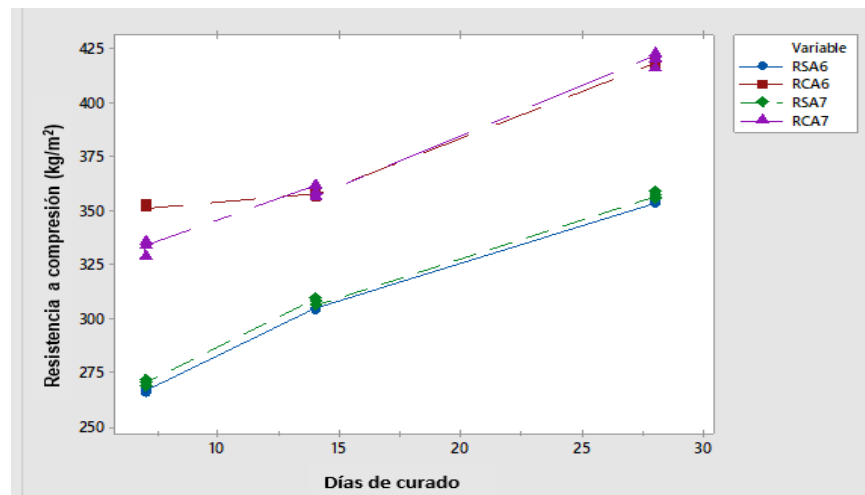


Figura 2. Gráfico de dispersión. Variación de la resistencia a compresión del hormigón con los días de curado, en muestras ensayadas con ambos tipos áridos (No. 6 y No. 7).

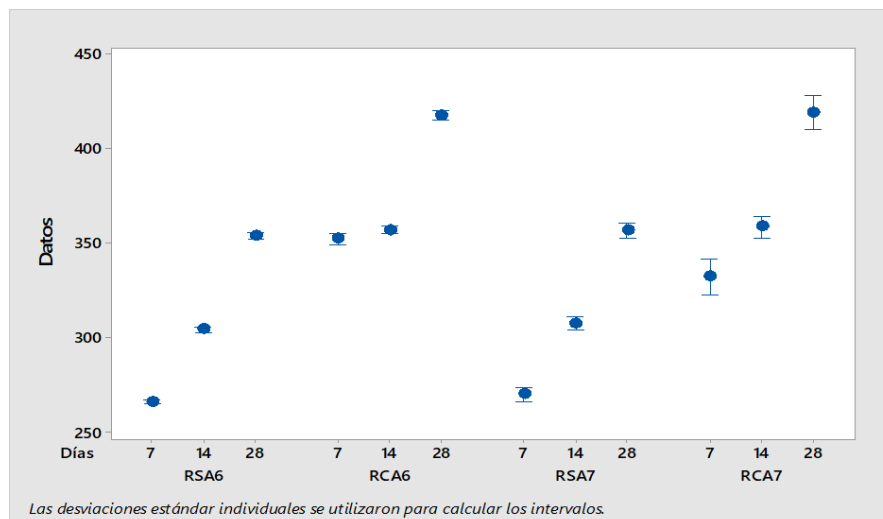


Figura 3. Gráfico de intervalos. Variación de la resistencia a compresión del hormigón con los días de curado, en muestras ensayadas con ambos tipos áridos (No. 6 y No. 7).

De los resultados obtenidos se desprenden las siguientes consideraciones:

El uso de aditivos en las mezclas conlleva a reducir la relación agua/cemento. En las mezclas donde no se usó aditivos la relación a/c es de 0,41 y en las mezclas donde se empleó aditivo la relación a/c es de 0,35. A los 28 días de curado se alcanzó la resistencia de 350kg/cm² en las dos mezclas, sin embargo, la resistencia alcanzada es mayor con el uso de aditivos.

Se comprobó la influencia del tiempo de curado, alcanzándose la máxima resistencia desde los 14 días cuando se usa aditivos y sin aditivos a los 28 días. La resistencia a compresión obtenida con la piedra No. 6 como agregado grueso, cuando no se usó aditivos, a los 7 días representa el 76% de la resistencia de 350 kg/cm², a 14 días se obtuvo un 86% y a los 28 días supera dicha resistencia. Por otro lado, con la piedra 7 los resultados obtenidos fueron de: el 77% a los 7 días, 88% a los 14 días y a los 28 días la resistencia supera la de diseño.

La resistencia a compresión se ha incrementado con el tiempo de curado, tanto en las mezclas formadas con el uso de aditivos, como sin el aditivo, así como no se observa influencia del tipo de áridos en este incremento de resistencia con el tiempo.

5. CONCLUSIONES

Luego de realizar la caracterización por medio de ensayos de laboratorio de los agregados que se utilizaron en esta investigación, se concluye que los agregados (fino y gruesos) procedentes del sitio Picoazá cumplen con las normas establecidas en NTE INEN, por lo cual se recomiendan para ser usados en mezclas de hormigón para el uso en Whitetopping. Además, los resultados demostraron que no existe diferencia significativa en la resistencia alcanzada entre los dos tipos de agregados gruesos empleados en las mezclas.

Las mezclas fabricadas en laboratorio cumplen con las especificaciones de la resistencia de diseño de 350 kg/cm², sin embargo, los resultados sugieren que el uso de aditivos permite alcanzar una mayor resistencia final, por tanto, contribuye a la reducción del espesor de losa, además en menor tiempo y con menor relación a/c.

La rehabilitación de pavimentos asfálticos con el empleo de la técnica de Whitetopping, por las ventajas que brinda y las posibilidades comprobadas respecto a la calidad demostrada de los agregados, debe ser de conocimiento de los ingenieros viales del territorio como una alternativa viable en la conservación de las carreteras.

1. Abanto, F. (2009). *Tecnología del hormigón*. Segunda edición: 2009. ISBN 978-612-302-060-6
2. Andrade, N. y Franco, F. (2019). *Los pavimentos compuestos como alternativa constructiva para vías de tráfico pesado*. Disponible en: <https://n9.cl/727lf>
3. Alarcón, J. (2021). *Whitetopping. Construcción y mantenimiento vial*. Disponible en: <https://n9.cl/aksxg>
4. American Concrete Pavement Association (2014). *Guía para capas de refuerzo con Hormigón: Soluciones sustentables para capas de refuerzo y rehabilitación de pavimentos existentes*. 3era Edición. Publicación ACPA TB021.03P.
5. Arias, D. Leguia, A. (2021). *Aplicación de la técnica Whitetopping como alternativa de rehabilitación para extender la vida útil del pavimento asfáltico*. Universidad Ricardo Palma. Lima-Perú. Disponible en: <https://n9.cl/eesce>
6. ASTM - American Society for Testing and Materials. (2004). ASTM C-494. *Especificación estándar para Los aditivos químicos para hormigón*. Disponible en: <https://n9.cl/ers9v>
7. ASTM - American Society for Testing and Materials. (1997). ASTM C29. *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*. <https://n9.cl/nb8r1>
8. Bojorque, J. (2021). *Análisis de esfuerzos en pavimentos de hormigón tipo Whitetopping: caso de estudio vía Biblián-Zhud*. Disponible en: <https://n9.cl/dyvps>
9. Cristóbal, G. (2022). *Propiedades mecánicas del hormigón con fibras sintéticas para reparar pavimento flexible mediante la técnica Whitetopping, en avenida central San Juan De Lurigancho, Lima*. Universidad Peruana Los Andes. Disponible en: <https://n9.cl/73wyc>
10. GCC. (2020). *Ficha Técnica Whitetopping*. Disponible en: <https://n9.cl/u8wt2>
11. Gutiérrez, J. (2021). *Evaluación del Pavimento Flexible y Rehabilitación Mediante el Método Whitetopping, Avenida General Hoyos Rubio – Villa María del Triunfo, 2021*. Universidad Cesar Vallejo. Disponible en: <https://n9.cl/n0sea>
12. HOLCIM. (2023). *Cemento Premium tipo HE*. Disponible en: <https://n9.cl/rd3xd>
13. Instituto Ecuatoriano de Normalización- INEN. (2010). NTE INEN 151:2010. *Cemento hidráulico. Definición de términos*. Quito. Ecuador. Disponible en: <https://n9.cl/ryzqh>
14. Instituto Ecuatoriano de Normalización- INEN. (2012). NTE INEN 2617:2012. *Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezclas. Requisitos*. Quito. Ecuador. Disponible en: <https://n9.cl/29yux>
15. Instituto Ecuatoriano de Normalización- INEN. (2011). NTE INEN 2380:2011. *Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos*. Disponible en: <https://n9.cl/ogg9h>
16. Instituto Ecuatoriano de Normalización- INEN. (2010). NTE INEN 1 573. *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico*. Disponible en: <https://ia802908.us.archive.org/7/items/ec.nt.e.1573.2010/ec.nt.e.1573.2010.pdf>
17. Instituto Ecuatoriano de Normalización- INEN. (2011). NTE INEN 696. *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*. Quito. Ecuador. Disponible en: <https://n9.cl/eplow>
18. Instituto Ecuatoriano de Normalización- INEN. (2010). NTE INEN 856. *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino*. Quito. Ecuador. Disponible en: <https://n9.cl/d7bc2>
19. Instituto Ecuatoriano de Normalización- INEN. (2010). NTE INEN 857. *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*. Quito. Ecuador. Disponible en: <https://n9.cl/yiljb>
20. Instituto Ecuatoriano de Normalización- INEN. (2010). NTE INEN 858. *Áridos. Determinación de la masa unitaria (Peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*. Disponible en: <https://n9.cl/ajgsu>
21. Instituto Ecuatoriano de Normalización- INEN. (2010). NTE INEN 1 573. *Hormigón de cemento Hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico*. <https://ia802908.us.archive.org/7/items/ec.nt.e.1573.2010/ec.nt.e.1573.2010.pdf>
22. Lázaro, P., Ortiz, M. y Rojas, J. (2019). *Whitotopping en el pavimento flexible de la av. Central progresiva 00+00 al 04+300 en San Juan de Lurigancho, 2019*. Disponible en: <https://n9.cl/y714d>

23. Luna, M.; García, R.; Orta, P. (2019). Aplicación de la tecnología Whitetopping en un tramo de la carretera: circuito sur - Topes de Collantes. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 13(3). Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193961007003>
24. Megarok S.A. (2015). *Catálogo de agregados*. Disponible en: <https://n9.cl/lj07vs>
25. Oliveira, F. (2019). *Whitetopping*. Disponible en: <https://n9.cl/ynts1>
26. Sika Ecuador. (2017). *Sikament® N-100*. Disponible en: <https://n9.cl/65b8x>
27. Sika Ecuador. (2017). *Sikament®-115*. Disponible en: <https://n9.cl/wq62k>
28. Sika. (2017). *Sikament-115*. Edición N°1 03-2017. Documento N° 021302011000000937. Disponible en: <https://ecu.sika.com>
29. Tomalá, J. y Cucalón, R. (2020). *Optimización de hormigón $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ aplicando diferentes aditivos superplastificantes*. Disponible en: <https://n9.cl/cki84>