

EVALUACIÓN DE ASFALTOS CON ADICIÓN DE ÓXIDO DE ZINC



AUTORES

**ANGÉLICA CAMACHO QUIÑONES
HAROLD ALONSO BADILLO AMAD**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
INGENIERO CIVIL

Director:

SAIETH BAUDILIO CHAVES PABON

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ, 21 JULIO 2023**

Evaluación de asfaltos con adición de óxido de zinc

Evaluation of asphalt with the addition of zinc oxide

Angélica Camacho Quiñones¹
est.angelica.camacho@unimilitar.edu.co
Harold Alonso Badillo Amad²
est.harold.badillo@unimilitar.edu.co

RESUMEN

El presente proyecto de investigación, radica en el diseño de una mezcla asfáltica, a la cual se le adicionará óxido de zinc, a fines de mejorar sus prestaciones estructurales. El proyecto se llevará a cabo de manera experimental, siguiendo un proceso de prueba y error, evaluando su comportamiento bajo diversas cuantías del mineral nombrado, sin dejar de lado las propiedades estructurales de las mezclas asfálticas, teniendo en cuenta la normativa que rige este tipo de materiales, como lo son las Normas Técnicas Colombianas (NTC), en sus numerales correspondientes, como también, las normas INVIAS 2013. El objetivo principal del proyecto obedece a fomentar el empleo de materiales alternativos como lo es el óxido de zinc, para el diseño de pavimentos asfálticos para la construcción de carreteras, que, para el presente caso, apunta directamente hacia vías de bajos volúmenes de tránsito; en caso de lograr resultados satisfactorios, se recomendará el diseño para carreteras de altos volúmenes de tránsito. La optimización de materias primas como los agregados pétreos, trae consigo una serie de beneficios en materia ambiental y económica, pues actualmente la explotación de canteras está impactando de manera directa la dinámica del medio ambiente, mientras que, por parte del aspecto económico, el uso de Óxido de Zinc resulta más económico que el empleo de agregados para las mezclas asfálticas. Dadas las condiciones anteriores, y realizando el proceso experimental mediante la metodología Marshall, los resultados obtenidos mostraron eficiencia por parte del óxido de Zinc sobre la mezcla asfáltica, sin embargo, es necesario incluir en los diseños la presencia de emulsiones poliméricas y componentes como fibras de tipo natural o sintéticas, pues en materia de adherencia, resistencia a la tracción y flexión, se debe mejorar el comportamiento mecánico de la mezcla con adición de Óxido de Zinc. Sumado a lo anterior, en futuros estudios se debe tener en cuenta que el Óxido de Zinc genera en la mezcla asfáltica un estado frágil y rígido, lo cual conlleva a buscar un mejor comportamiento reológico del diseño.

Palabras clave: mezcla asfáltica, óxido de zinc.

ABSTRACT

This research project lies in the design of an asphalt mix, to which zinc oxide will be added, in order to improve its structural performance. The project will be carried out experimentally, following a trial and

Universidad Militar Nueva Granada, Km 2 Vía Cajicá-Zipacquirá, Edificio Facultad de Estudios a Distancia.
E-mail: est.angelica.camacho@unimilitar.edu.co.

² E-mail: est.harold.badillo@unimilitar.edu.co.

error process, evaluating its behavior under various amounts of the named mineral, without neglecting the structural properties of asphalt mixes, taking into account the regulations governing this type of materials, such as the Colombian Technical Standards (NTC), in their corresponding numerals, as well as the INVIAS 2013 standards. The main objective of the project is to promote the use of alternative materials such as zinc oxide, for the design of asphalt pavements for the construction of roads, which, for the present case, points directly towards roads with low traffic volumes; In case of achieving satisfactory results, the design for highways with high traffic volumes will be recommended. The optimization of raw materials such as stone aggregates, brings with it a series of benefits in environmental and economic matters, since quarrying is currently directly impacting the dynamics of the environment, while, from the economic aspect, the use Zinc Oxide is cheaper than the use of aggregates for asphalt mixes. Given the above conditions, and carrying out the experimental process using the Marshall methodology, the results obtained showed efficiency on the part of Zinc oxide on the asphalt mix, however, it is necessary to include in the designs the presence of polymeric emulsions and components such as fibers of natural or synthetic type, because in terms of adherence, tensile strength and bending, the mechanical behavior of the mixture must be improved with the addition of Zinc Oxide. In addition to the above, in future studies it should be taken into account that Zinc Oxide generates a brittle and rigid state in the asphalt mix, which leads to seeking a better rheological behavior of the design.

Keywords: asphalt mix, zinc oxide.

ANTECEDENTES

El Óxido de Zinc es un polvo de color blanco, proviene de la oxidación de vapor de zinc metálico a altas temperaturas y sus principales aplicaciones son en cauchos y pinturas; por parte de su textura, esta es sedosa y contiene una gran variedad de propiedades, tales como: una densidad de 0.50 gr/cm³, un peso molecular de 81.4 y una superficie específica de aproximadamente 4.6 m²/gr; sumado a lo anterior, el Óxido de Zinc sublima a 1.800°C, es insoluble en agua y soluble en compuestos de bases fuertes y ácidas, lo cual muestra su comportamiento anfótero; su diámetro de partícula oscila entre 0.5 y 0.6 micras, con una porosidad entre 83 y 89 % [1]

INTRODUCCIÓN

Regularmente, las mezclas asfálticas han venido marcando la historia de los pavimentos en el mundo, tanto así, que en la actualidad el asfalto constituye la forma más efectiva para construir y pavimentar carreteras, arrojando en materia de costos, valores inferiores que el pavimento rígido, teniendo en cuenta también, que la puesta en operación de una vía con pavimento flexible o asfáltico, es menor que el del pavimento rígido, siendo este un aspecto determinante para todas las partes interesadas; en el año 625 D.C., en Babilonia, se registra el primer uso de asfalto para la construcción de carreteras, después fueron los griegos y los europeos quienes hicieron uso del asfalto [2]. Hoy día, en busca de mitigar los impactos ambientales que se generan a diario por todos los sectores de la industria, se han ido incluyendo diferentes adiciones en las mezclas

Universidad Militar Nueva Granada, Km 2 Vía Cajicá-Zipacquirá, Edificio Facultad de Estudios a Distancia.
E-mail: est.angelica.camacho@unimilitar.edu.co.

² E-mail: est.harold.badillo@unimilitar.edu.co.

asfálticas, encontrando vínculos con diversos materiales poliméricos, como PET, caucho en diferentes presentaciones, polietileno de alta y baja densidad, poliuretano, entre otros. Todos estos tipos de polímeros tienen por objeto reemplazar los materiales granulares dentro de las mezclas, lo cual representa un alivio para los macizos rocosos y los afluentes hídricos, los cuales son afectados de manera constante por la extracción de material pétreo, aquel que, como se nombró anteriormente, tendría una menor participación en las mezclas asfálticas y demás estructuras que requieren de agregados. En la era actual, no solo se trata de construir carreteras que cumplan con criterios técnicos, sino también, económicos, sociales y ecológicos [3], motivos suficientes para adelantar estudios que aporten al estado del arte de los materiales, y es por ello que en la presente investigación se pretende profundizar más en las prestaciones estructurales que ofrece el Óxido de Zinc como adición a mezclas asfálticas, pues resulta imperativo darle un mejor manejo al medio ambiente y sensibilizar a la industria para la búsqueda de alternativas en términos de materiales, derivando todo esto, en menor explotación de canteras y, por ende, un alivio ambiental. Las sociedades han venido desarrollándose haciendo uso de las energías no renovables, pero la ingeniería está llamada a buscar soluciones que preserven la vida del hombre en el planeta, pues día a día el deterioro ambiental se va manifestando con más fuerza.

Dado lo anterior, para la presente investigación se proyecta emplear óxido de zinc, el cual es un mineral en polvo que ha venido siendo empleado en una amplia gama de cosméticos [4], no

obstante, la industria también hace uso de este mineral, cuya cualidad principal en plásticos, es evitar la decoloración, mantener la estabilidad del calor y conservar la transparencia de los productos [5] Por parte de la construcción de vías asfálticas, el óxido de zinc contrarresta los ácidos corrosivos y, a su vez, proporciona una adherencia prolongada a las superficies galvanizadas; sobre el cemento portland, el óxido de zinc retarda el fraguado del mismo, sin afectar las resistencias a diferentes edades [6]. A la fecha, el óxido de zinc cuenta con una participación discreta en la rama de la construcción, pues por su naturaleza, hace parte de productos industriales como cosméticos y pinturas, motivo por el cual, esta investigación pretende realizar un aporte significativo a la rama de la construcción, a fines de que se continúe con el estudio de nuevas dosificaciones, vinculando el Óxido de Zinc con cemento gris, cemento blanco, entre otros materiales para la construcción, pues de manera casera se ha visto que el Óxido de Zinc se mezcla con cemento blanco para fraguar cerámicas, a fines de alcanzar un blanco puro, teniendo en cuenta que su vínculo con el cemento blanco, es de poca cuantía, pero no afecta la duración de la pasta; no obstante, sería interesante evaluar la resistencia del cemento blanco al entrar en contacto con el Óxido de Zinc. Finalmente, a través de este tipo de estudios se sigue abriendo el campo de investigación sobre las mezclas asfálticas con adición de diversos materiales compuestos y polímeros, aspecto puntual para realizar un gran aporte frente a la innovación de materiales para la construcción de carreteras a nivel mundial, mostrando así, una visión holística por parte de la Ingeniería, pues el empleo de nuevas técnicas y materiales alternativos para la

Universidad Militar Nueva Granada, Km 2 Vía Cajicá-Zipacquirá, Edificio Facultad de Estudios a Distancia.

E-mail: est.angelica.camacho@unimilitar.edu.co.

² E-mail: est.harold.badillo@unimilitar.edu.co.

construcción, no solo busca reducir costos de diseño y ejecución, sino también, realizar un gran aporte al medio ambiente.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar una mezcla asfáltica densa en caliente (MDC), modificada con óxido de zinc.

Objetivos específicos

- Reemplazar bajas cuantías del agregado pétreo por óxido de zinc, cumpliendo con el máximo tamaño según norma, el cual corresponde a 19 mm
- Realizar el diseño de una mezcla asfáltica con óxido de zinc, evaluando las curvas de estabilidad y flujo en la mezcla
- Evaluar que economía se lograría con el reemplazo de agregados pétreos por óxido de zinc, ensayando bajas cuantías, todo ello, a fines de reducir la explotación de canteras y la extracción de agregados de afluentes hídricos, lo cual deriva en una construcción de vías más sostenible y amigable con el medio ambiente.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1.METODOLOGÍA

El diseño metodológico de la presente investigación corresponde al experimental, puesto que, mediante diversas dosificaciones que incluyan óxido de zinc en la mezcla, se busca alcanzar un diseño de mezcla asfáltica óptimo, llevando a cabo un proceso de ensayo y error, a fines de ajustar el diseño final.

El desarrollo experimental que se llevará a cabo para el presente proyecto, comprende los siguientes puntos:

- Zona de estudio o muestreo: en virtud del enunciado, la muestra será de tipo NO PROBABILÍSTICO e intencional [7], ya que, premeditadamente, se seleccionarán porcentajes de óxido de zinc que reemplacen el agregado en la mezcla.
- Materiales: los materiales que entrarán en estudio, son: óxido de zinc y mezcla asfáltica. Esta última, compuesta por sus insumos convencionales, como agregados pétreos, agua, resinas, aromatizantes, azufre y asfaltenos, propios del cemento asfáltico. Por parte de los equipos, estos serán: horno con placa calentadora eléctrica, termómetro blindado de vidrio, balanzas con capacidad de 2 Kg. y 5 Kg., pedestal, molde y martillo para compactación, extractor de muestra y accesorios como cucharas, espátula y mezcladores mecánicos.
- Ensayos: los ensayos corresponden a la medición de la resistencia desde el punto mecánico y la evaluación de las curvas de estabilidad, fluencia, densidad y porcentaje de vacíos, enmarcados dentro del método Marshall, el cual, mediante sus criterios y aplicación de ensayos, determina las características físicas de las mezclas y, a su vez, analiza los parámetros que definen el contenido de asfalto, para lo cual se deben controlar factores como la granulometría, contenido y características del cemento asfáltico [8].
- Análisis de resultados: etapa donde se resaltan los datos más relevantes de los

ensayos y se determina si se cumplen o no los objetivos.

- Análisis estadístico: correspondiente a la recopilación e interpretación de los datos para detectar patrones [9], a través de este se pretende realizar un aporte al conocimiento, en busca de nuevas alternativas de diseños de mezclas a base de óxido de zinc.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como primer aspecto relevante, se esperaba que la influencia del Óxido de Zinc sobre la mezcla, tuviese un comportamiento similar y positivo sobre toda la composición mecánica, pero las prestaciones estructurales de adherencia, tracción y flexión, si deben mejorarse para futuras investigaciones. Frente a los ensayos de laboratorio, se expone lo siguiente:

De manera inicial, se realizó el diseño de la mezcla asfáltica convencional, para la cual se sacaron 15 briquetas, con cuantías de 4.5%, 5.0%, 5.5% y 6.0% de asfalto. Todas las mezclas fueron compactadas con 75 golpes y por ambas caras. La determinación del contenido óptimo de asfalto del diseño convencional, se realizó en función de los criterios de la norma Invias 2013, la cual ofrece información detallada para medir su composición volumétrica y la resistencia de la mezcla asfáltica bajo carga monotónica a través de parámetros como la estabilidad (E) y el flujo (F), los cuales permiten determinar el porcentaje óptimo de asfalto que debe poseer un espécimen en su mejor comportamiento mecánico, de tal forma en que la capa de rodadura no se vea expuesta a posibles agrietamientos por fatiga.

A continuación, se exponen los criterios para la elaboración de una briqueta Marshall en concreto asfáltico convencional, establecido en la norma Invias 2013.

Tabla N°1

CA %	Densidad Bulk (g/cm ³)	Vacíos (%)	VAM (%)	VFA (%)
4.5	2.255	6.20	16.22	61.81
5	2.272	4.79	16.01	70.14
5.5	2.284	3.60	16.02	77.50
6	2.285	2.86	16.41	82.58

Fuente: Invias 2013

Vistos los criterios para la elaboración de briquetas Marshall en concreto asfáltico convencional, se exponen a continuación, las expresiones numéricas y/o ecuaciones para el cálculo de resistencias y volumetría.

A continuación, se expone la expresión numérica para hallar el porcentaje de vacíos en una mezcla compactada, el cual corresponde a las bolsas de aires que se forman entre las partículas de agregado con asfalto, y este corresponde a uno de los parámetros a tener en cuenta en los métodos de diseño y para evaluar la compactación de los materiales [10].

(1)

$$VA = \left(\frac{gmb}{gmm} \right) * 100$$

Donde:

VA: Porcentaje (%) de vacíos con aire en la mezcla compactada.

Gmm: Gravedad Específica Máxima.

Gmb: Gravedad Específica Bulk.

Por parte del contenido de asfalto, este es un parámetro indispensable dentro del diseño de una mezcla, pues reducir el contenido de este, deriva en pérdidas de resistencia y densidad, factores determinantes en la vida útil de una vía [11].

(2)

$$\begin{aligned} \text{Contenido de asfalto (\%)} \\ = \left(\frac{(W1 - W2) - (W3 - W4)}{W1 - W2} \right) \\ * 100 \end{aligned}$$

Donde:

W1: Masa del espécimen, en promedio 1200g
W2: Masa del agua en la porción del ensayo
W3: Masa del agregado mineral extraído
W4: Masa del material en el extracto

Pasando a la densidad Bulk, la cual se halla mediante la ecuación 3, esta corresponde a la masa del material por metro cúbico o pie cúbico del material a 25°C (77°F) para mezclas asfálticas [12].

(3)

$$\text{Densidad Bulk} \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \left(\frac{\text{masa en el aire}}{PSS - \text{masa en agua}} \right)$$

Donde:

PSS: Masa del espécimen superficialmente saturado.

(4)

$$\begin{aligned} \text{Gmm o gravedad específica máxima} \\ = \left(\frac{100}{\left(\frac{100 - \%CA}{pAP} + \frac{\%CA}{pCA} \right)} \right) \end{aligned}$$

Donde:

CA: Porcentaje de inclusión de cemento asfáltico
pAP: Peso específico del agregado pétreo, en laboratorio 2.57
pCA: Peso específico del cemento asfáltico, en laboratorio 1.012

(5)

$$\begin{aligned} \text{VAM o Vacío en agregado mineral (\%)} \\ = 100 - \text{Vol. agregado} \end{aligned}$$

$$\text{Vol. Agregado (\%)} = \left(\frac{100 - \%CA}{\left(\frac{100}{pAP} \right)} \right) * 100$$

En la tabla N°2 se muestran los criterios para el diseño de concreto asfáltico mediante ensayo Marshall, según la norma Invías 2013.

Tabla N°2

Características	Nor ma de ensa yo INV	MD C	MS C	MG C
Compactación (golpes/cara)	E- 748	50	75	75
Estabilidad mínima (N)	E- 748	500 0	750 0	900 0
Flujo (mm)*	E- 748	2-4	2-4	2- 3.5
Estabilidad/flujo (KN/mm)	E- 748	2-4	3-5	3-6

Universidad Militar Nueva Granada, Km 2 Vía Cajicá-Zipacquirá, Edificio Facultad de Estudios a Distancia.

E-mail: est.angelica.camacho@unimilitar.edu.co.

² E-mail: est.harold.badillo@unimilitar.edu.co.

Vacíos con aire (Va) (%)	Rodadura	E-736, 799	3-5	3-5	4-6
	Intermedia		4-8	4-8	4-7
	Base		-	5-8	5-8
Vacíos en los agregados (VAM) (%)	Mezcla de 38mm	E-799	≥13	≥13	≥13
	Mezcla de 25mm		≥14	≥14	≥14
	Mezcla de 19mm		≥15	≥15	≥15
	Mezcla de 10mm		≥16	≥16	≥16
Vacíos llenos de asfalto (VFA) (%) para rodadura e intermedia	E-799	65-80	65-78	65-75	

Fuente: Invías 2013

Vista la metodología teórica para el hallazgo de resistencias y volumetría de las mezclas, a continuación, se expone la granulometría para mezcla tipo MDC-19, lo cual se presenta a través de la tabla N°3

Tabla N°3. Granulometría

MEZCLA TIPO MDC-19							
TA MI Z	Tamiz [m]	% PASA	% RETENIDO	4,5	5.0	5.5	6.0
				% CA=54g	% CA=60g	% CA=66g	% CA=72g
3/4"	19,00	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1/2"	12,50	87,5	12,5	143,3	142,5	141,8	141,0

3/8"	9,50	79,0	8,5	97,4	96,9	96,4	95,9
4	4,75	57,0	22,0	252,1	250,8	249,5	248,2
10	2,00	37,0	20,0	229,2	228,0	226,8	225,6
40	0,43	19,5	17,5	200,6	199,5	198,5	197,4
80	0,18	12,5	7,0	80,2	79,8	79,4	79,0
200	0,075	6,0	6,5	74,5	74,1	73,7	73,3
FO ND O		0,0	6,0	68,8	68,4	68,0	67,7
			100,0	114,6	114,0	113,4	112,8

Fuente: elaboración propia

Tabla N°4. Resultados

Gs Ag-Grueso	2,653
Gs Ag-Fino	2,636
Gs Agregado	2,643

Fuente: elaboración propia

La tabla N°3 muestra que el mejor comportamiento se logró con la adición del 6% de Óxido de Zinc y 72 g de cemento asfáltico. Por su parte, la tabla N°4 muestra los resultados finales, donde la gravedad específica aparente (Gs) del agregado, arrojó un valor de 2,643, siendo consecuente con las características de los agregados normales, los cuales oscilan entre 2.5 y 2.75, y cuyo origen puede ser de arenas y gravas, roca triturada y escoria siderúrgica [13]

Posterior a la granulometría, a continuación, se exponen las resistencias promedio de las muestras convencionales y con Óxido de Zinc, con sus respectivas desviaciones en estado seco y saturado, para, finalmente, observar el volumen y los resultados de tensión directa (TSR) de las

muestras. En materia de porcentajes, se manejan ambas con el 5%.

Tabla N°5. Resultados en estado seco

Muestra	Seco					
	Convencional -5.0%			Oxido Zinc - 5.0%		
	1	2	3	1	2	3
Altura Prom. [cm]	6,30	6,29	6,31	6,39	6,36	6,37
Diámetro [cm]	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16
Carga máx. [kN]	10,95	10,67	10,78	11,83	12,24	11,96
Resistencia [kPa]	1089,1	1062,9	1070,5	1160,0	1205,9	1176,5
Resistencia prom. [kPa]	1074,2			1180,8		
Desviación [kPa]	13,5			23,2		
Desviación [%]	1,25			1,97		

Fuente: elaboración propia

La tabla N°5 permitió observar como la mayor desviación y resistencia promedio en estado seco, la arrojó la mezcla con óxido de zinc a una tasa de 5%, mientras que, en estado saturado, la mayor resistencia promedio también se logró con óxido de zinc, pero en materia de desviación, el mayor valor lo alcanzó la mezcla de tipo convencional, como se muestra en la tabla N°6, donde se evalúan aspectos como la altura promedio y el diámetro en centímetros, la carga máxima y la resistencia, en unidades de kN y Kpa, concluyendo por último en un promedio de resistencia y de ese modo obtener la desviación, tanto en kPa como en porcentaje, lo cual, a continuación se expone.

Tabla N°6. Resultados en estado saturado

Muestra	Saturado					
	Convencional -5.0%			Oxido Zinc - 5.0%		
	1	2	3	1	2	3
Altura Prom. [cm]	6,23	6,27	6,25	6,37	6,39	6,35
Diámetro [cm]	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16
Carga máx. [kN]	9,86	9,51	9,60	10,09	10,30	9,84
Resistencia [kPa]	991,7	950,4	962,4	992,5	1010,0	971,0
Resistencia prom. [kPa]	968,2			991,2		
Desviación [kPa]	21,2			19,5		
Desviación [%]	2,19			1,97		

Fuente: elaboración propia

Vistas las resistencias promedio de las muestras, se procede a evaluar el volumen del diseño convencional y el diseño con adición de óxido de zinc al 5%, ambos ensayados en estado seco y sumergido.

Tabla N°7. Volumen diseño convencional seco – 5%

Convencional - 5.0% (Seco)											
h (cm)	CA (%)	M. aire (g)	M. sum. (g)	PSS (g)	Bulk (g/cm ³)	Vag (%)	Gmm	Va (%)	Vb (%)	VMA (%)	VFA (%)
6,30	5,0	1199,6	690,0	1200,3	2,351	84,50	2,45	3,96	11,55	15,50	74,47
6,29	5,0	1194,5	686,6	1195,8	2,346	84,32	2,45	4,16	11,52	15,68	73,47
6,31	5,0	1192,3	685,6	1193,7	2,347	84,35	2,45	4,13	11,53	15,65	73,62
6,30	5,0	1195,5	687,4	1196,6	2,348	84,39	2,45	4,08	11,53	15,61	73,86

Fuente: elaboración propia

Tabla N°8. Volumen diseño convencional sumergido – 5%

Convencional - 5.0% (Sumergido)											
h (cm)	CA (%)	M. aire (g)	M. sum. (g)	PSS (g)	Bulk (g/cm ³)	Vag (%)	Gmm	Va (%)	Vb (%)	VMA (%)	VFA (%)
6,23	5,0	1187,3	684,0	1188,3	2,354	84,62	2,45	3,81	11,56	15,38	75,21
6,27	5,0	1196,9	690,6	1198,1	2,358	84,77	2,45	3,65	11,58	15,23	76,06
6,25	5,0	1190,2	684,4	1192,0	2,345	84,28	2,45	4,20	11,52	15,72	73,26
6,25	5,0	1191,5	686,3	1192,8	2,353	84,56	2,45	3,89	11,55	15,44	74,84

Fuente: elaboración propia

Tabla N°9. Volumen diseño Óxido de Zinc seco – 5%

Oxido Zinc - 5.0% (Seco)											
h (cm)	CA (%)	M. aire (g)	M. sum. (g)	PSS (g)	Bulk (g/cm ³)	Vag (%)	Gm m	Va (%)	Vb (%)	VMA (%)	VFA (%)
6,39	5,0	1196,0	691,1	1197,3	2,363	84,92	2,47	4,23	10,84	15,08	71,91
6,36	5,0	1198,7	692,4	1199,8	2,362	84,92	2,47	4,25	10,84	15,08	71,86
6,37	5,0	1196,3	689,7	1198,3	2,352	84,55	2,47	4,66	10,79	15,45	69,83
6,37	5,0	1197,0	691,1	1198,5	2,359	84,80	2,47	4,38	10,82	15,20	71,20

Fuente: elaboración propia

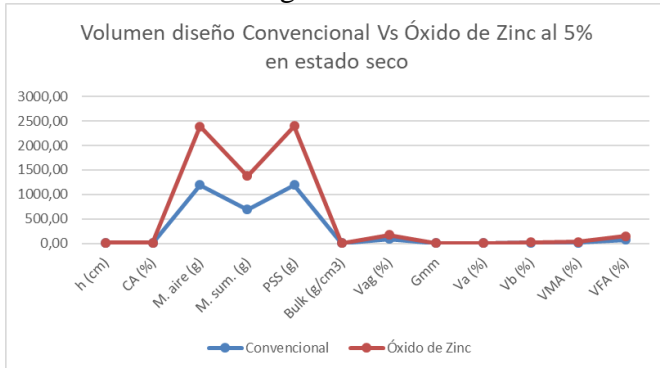
Tabla N°10. Volumen diseño Óxido de Zinc sumergido – 5%

Oxido Zinc - 5.0% (Sumergido)											
h (cm)	CA (%)	M. aire (g)	M. sum. (g)	PSS (g)	Bulk (g/cm ³)	Vag (%)	Gm m	Va (%)	Vb (%)	VMA (%)	VFA (%)
6,37	5,0	1209,9	696,5	1210,6	2,353	84,59	2,47	4,61	10,80	15,41	70,08
6,39	5,0	1182,9	682,2	1185,4	2,351	84,50	2,47	4,72	10,79	15,50	69,57
6,35	5,0	1189,5	684,7	1191,3	2,348	84,40	2,47	4,83	10,77	15,60	69,04
6,37	5,0	1194,1	687,8	1195,8	2,351	84,49	2,47	4,72	10,79	15,51	69,56

Fuente: elaboración propia

A continuación, en la figura N°1 se muestra el comportamiento del volumen de las muestras de tipo convencional y con adición de óxido de zinc al 5%, tanto en estado seco, como en estado sumergido.

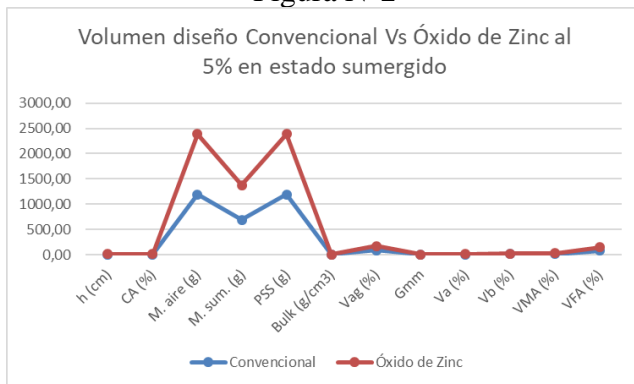
Figura N°1



Fuente: elaboración propia

A través de la figura N°1 se puede observar que la mezcla de tipo convencional arrojó valores más bajos que la mezcla con adición de Óxido de Zinc en estado seco, por lo cual, se procede a evaluar nuevamente el volumen, pero en estado sumergido.

Figura N°2



Fuente: elaboración propia

De acuerdo a las figuras 1 y 2, se observa como los especímenes con adición de óxido de zinc muestran valores más altos en ambos estados.

En virtud de lo anterior, en la tabla N11 se relacionan los resultados de la gravedad específica (Gs).

Tabla N°11. Valores de la gravedad específica

Gs CA	1,018
Gs CAmod.	1,09
Gs Convenc.	2,643

Fuente: elaboración propia

Los valores de gravedad específica observados en la tabla N°11, muestran que, sobre el C.A. modificado, es necesario mejorar las condiciones del diseño, pues a partir de la gravedad específica es determinante para medir el porcentaje de vacíos en la mezcla y la cantidad de asfalto absorbido por los agregados, lo cual deriva en un diseño óptimo y duradero de una carpeta asfáltica, razones por las cuales, para futuras investigaciones sobre asfaltos con Óxido de Zinc, es necesario aumentar la gravedad específica; si se va a aumentar el porcentaje de O.Z., se debe hacer controlando la rigidez de la mezcla asfáltica, ya que, en ensayos preliminares realizados en esta misma investigación, se ha observado que el O.Z. aumenta la rigidez, aspecto negativo para la vida útil de la carpeta asfáltica.

Tabla N°12. Resultados TSR

TSR (%)	
Convencional	90,1
Oxido Zinc	83,9

Fuente: elaboración propia

Después de observar las resistencias promedio de las muestras convencionales y con Óxido de Zinc, con sus respectivas desviaciones en estado seco y saturado, el volumen y los resultados de tensión indirecta (TSR), se procede a relacionar el diseño

convencional en las tablas N° 13, 14, 15 y 16, y el diseño con Óxido de Zinc en las tablas N° 17, 18, 19 y 20, ambos con porcentajes del 4,5%, 5%, 5,5% y 6%.

Tabla N°13. Diseño convencional con 4.5%

E (kN)	h (cm)	Factor Corr.	E (kN) - Corr.	F (1/1000")	F (mm)	E/F (kN/mm)
11,32	6,36	0,998	11,30	160	4,06	2,78
11,08	6,38	0,993	11,00	160	4,06	2,71
10,97	6,39	0,99	10,86	165	4,19	2,59
11,12	6,38	0,99	11,05	161,67	4,11	2,69

Fuente: elaboración propia

Tabla N°14. Diseño convencional con 5%

E (kN)	h (cm)	Factor Corr.	E (kN) - Corr.	F (1/1000")	F (mm)	E/F (kN/mm)
13,56	6,35	1	13,56	145	3,68	3,68
13,87	6,33	1,005	13,94	150	3,81	3,66
13,78	6,34	1,003	13,82	150	3,81	3,63
13,74	6,34	1,00	13,77	148,33	3,77	3,66

Fuente: elaboración propia

Tabla N°15. Diseño convencional con 5.5%

E (kN)	h (cm)	Factor Corr.	E (kN) - Corr.	F (1/1000")	F (mm)	E/F (kN/mm)
13,98	6,32	1,008	14,09	150	3,81	3,70
13,87	6,30	1,013	14,05	155	3,94	3,57
13,29	6,31	1,011	13,44	150	3,81	3,53
13,71	6,31	1,01	13,86	151,67	3,85	3,60

Fuente: elaboración propia

Tabla N°16. Diseño convencional con 6%

E (kN)	h (cm)	Factor Corr.	E (kN) - Corr.	F (1/1000")	F (mm)	E/F (kN/mm)
11,87	6,28	1,019	12,10	160	4,06	2,98
12,98	6,27	1,021	13,25	165	4,19	3,16
11,54	6,30	1,013	11,69	160	4,06	2,88
12,13	6,28	1,02	12,35	161,67	4,11	3,00

Fuente: elaboración propia

Tabla N°17. Diseño con Óxido de Zinc 4.5%

E (kN)	h (cm)	Factor Corr.	E (kN) - Corr.	F (1/1000")	F (mm)	E/F (kN/mm)
12,5	6,40	0,988	12,35	145	3,68	3,35
12,99	6,39	0,99	12,86	150	3,81	3,38
12,05	6,40	0,988	11,91	150	3,81	3,12
12,51	6,40	0,99	12,37	148,33	3,77	3,28

Fuente: elaboración propia

Tabla N°18. Diseño con Óxido de Zinc 5%

E (kN)	h (cm)	Factor Corr.	E (kN) - Corr.	F (1/1000")	F (mm)	E/F (kN/mm)
13,65	6,33	1,005	13,11	135	3,43	3,82
13,70	6,33	1,005	13,77	140	3,56	3,87
13,51	6,30	1,013	13,69	140	3,56	3,85
13,62	6,32	1,01	13,52	138,33	3,51	3,85

Fuente: elaboración propia

Tabla N 19. Diseño con Óxido de Zinc 5.5%

E (kN)	h (cm)	Factor Corr.	E (kN) - Corr.	F (1/1000")	F (mm)	E/F (kN/mm)
13,79	6,29	1,016	14,01	135	3,43	4,09
14,32	6,27	1,021	14,62	135	3,43	4,26
14,02	6,25	1,027	14,40	140	3,56	4,05
14,04	6,27	1,02	14,34	136,67	3,47	4,13

Fuente: elaboración propia

Tabla N°20. Diseño Óxido de Zinc 6%

E (kN)	h (cm)	Factor Corr.	E (kN) - Corr.	F (1/1000")	F (mm)	E/F (kN/mm)
14,76	6,21	1,037	15,31	130	3,30	4,64
14,45	6,20	1,04	15,03	135	3,43	4,38
14,83	6,16	1,053	15,62	130	3,30	4,73
14,68	6,19	1,04	15,32	131,67	3,34	4,58

Fuente: elaboración propia

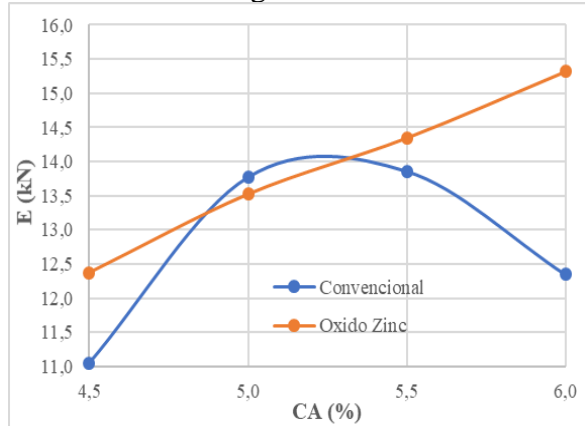
En virtud de lo anterior, en la tabla N°21 se exponen los resultados del diseño convencional y el diseño con Óxido de Zinc., ambos evaluados en porcentajes de 4,5., 5., 5,5. y 6., donde la adición de Óxido de Zinc fue determinante para alcanzar valores más altos que la mezcla convencional, mostrando así, que si vale la pena seguir estudiando la adición de compuestos a las mezclas asfálticas

Tabla N°21. Resultados

CA (%)	E (kN)	F (mm)	E/F (kN/mm)
Convencional			
4,5	11,05	4,11	2,69
5,0	13,77	3,77	3,66
5,5	13,86	3,85	3,60
6,0	12,35	4,11	3,00
Oxido Zinc			
4,5	12,37	3,77	3,28
5,0	13,52	3,51	3,85
5,5	14,34	3,47	4,13
6,0	15,32	3,34	4,58

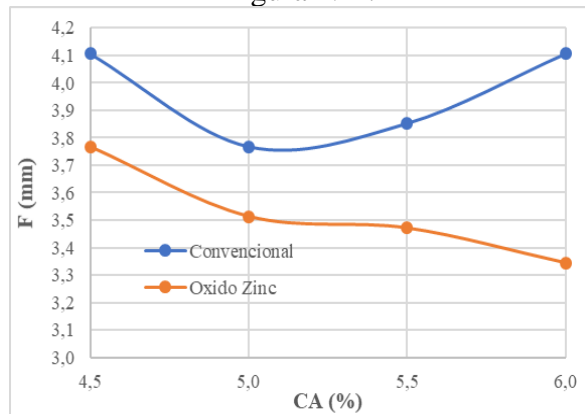
Fuente: elaboración propia

Figura N°3.



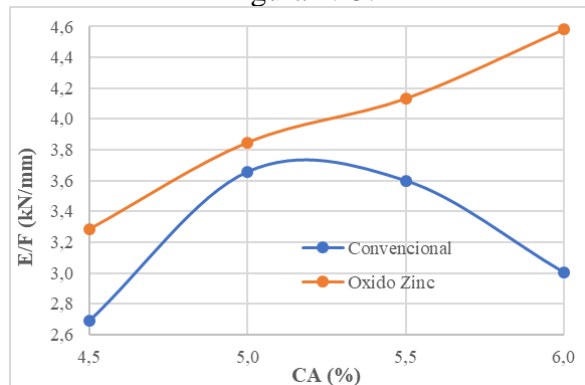
Fuente: elaboración propia

Figura N°4.



Fuente: elaboración propia

Figura N°5.



Fuente: elaboración propia

Continuando con los resultados, se procede a exponer la evaluación del volumen, bajo diseño convencional y con la adición de Óxido de Zinc, conservando las cuantías del 4.5%, 5%, 5.5% y 6%. Inicialmente, se exponen los diseños convencionales:

Tabla N°22. Diseño convencional con 4.5%

h (cm)	CA (%)	M. aire (g)	M. sum. (g)	PSS (g)	Bulk (g/cm3)	Vag (%)	Gmm	Va (%)	Vb (%)	VMA (%)	VFA (%)
6.36	4.5	1184.5	679.3	1186.4	2.336	84.40	2.47	5.27	10.33	15.60	66.19
6.38	4.5	1186.1	679.2	1188.7	2.328	84.12	2.47	5.59	10.29	15.88	64.79
6.39	4.5	1188.3	681.7	1190.3	2.336	84.42	2.47	5.25	10.33	15.58	66.30
6.38	4.5	1186.3	680.1	1188.5	2.333	84.31	2.47	5.37	10.31	15.69	65.76

Fuente: elaboración propia

Tabla N°23. Diseño convencional con 5%

h (cm)	CA (%)	M. aire (g)	M. sum. (g)	PSS (g)	Bulk (g/cm3)	Vag (%)	Gmm	Va (%)	Vb (%)	VMA (%)	VFA (%)
6.35	5.0	1190.7	684.5	1191.8	2.347	84.37	2.45	4.11	11.53	15.63	73.73
6.33	5.0	1193.2	686.3	1194.0	2.350	84.48	2.45	3.98	11.54	15.52	74.36
6.34	5.0	1191.2	687.9	1192.6	2.360	84.84	2.45	3.57	11.59	15.16	76.44
6.34	5.0	1191.7	686.2	1192.8	2.353	84.56	2.45	3.89	11.55	15.44	74.85

Fuente: elaboración propia

Tabla N°24. Diseño convencional con 5.5%

h (cm)	CA (%)	M. aire (g)	M. sum. (g)	PSS (g)	Bulk (g/cm3)	Vag (%)	Gmm	Va (%)	Vb (%)	VMA (%)	VFA (%)
6.32	5.5	1193.4	692.6	1194.5	2.378	85.02	2.43	2.14	12.85	14.98	85.74
6.30	5.5	1193.1	692.6	1194.4	2.378	85.01	2.43	2.14	12.85	14.99	85.71
6.31	5.5	1188.4	687.9	1189.6	2.369	84.69	2.43	2.51	12.80	15.31	83.61
6.31	5.5	1191.6	691.0	1192.8	2.375	84.91	2.43	2.26	12.83	15.09	85.02

Fuente: elaboración propia

Tabla N°25. Diseño convencional con 6%

h (cm)	CA (%)	M. aire (g)	M. sum. (g)	PSS (g)	Bulk (g/cm3)	Vag (%)	Gmm	Va (%)	Vb (%)	VMA (%)	VFA (%)
6.28	6.0	1187.0	688.6	1188.3	2.375	84.48	2.41	1.52	14.00	15.52	90.23
6.27	6.0	1196.0	698.3	1197.4	2.396	85.23	2.41	0.65	14.12	14.77	95.60
6.30	6.0	1197.1	694.3	1198.4	2.375	84.46	2.41	1.54	14.00	15.54	90.06
6.28	6.0	1193.4	693.7	1194.7	2.382	84.72	2.41	1.24	14.04	15.28	91.96

Fuente: elaboración propia

Visto el diseño convencional, a continuación, se expone el diseño donde se vincula Óxido de Zinc en porcentajes del 4,5%, 5%, 5,5% y 6%. Todo lo anterior, desde la tabla N°26 hasta la tabla N°30, en esta última se exponen los resultados.

Tabla N°26. Diseño con Óxido de Zinc 4.5%

h (cm)	CA (%)	M. aire (g)	M. sum. (g)	PSS (g)	Bulk (g/cm ³)	Vag (%)	Gmm	Va (%)	Vb (%)	VMA (%)	VFA (%)
6,40	4,5	1193,5	683,3	1196,5	2,326	84,03	2,48	6,37	9,60	15,97	60,14
6,39	4,5	1184,8	678,8	1186,3	2,335	84,36	2,48	6,00	9,64	15,64	61,62
6,40	4,5	1182,9	678,4	1185,2	2,334	84,34	2,48	6,02	9,64	15,66	61,54
6,40	4,5	1187,1	680,2	1189,3	2,331	84,24	2,48	6,13	9,63	15,76	61,10

Fuente: elaboración propia

Tabla N°27. Diseño con Óxido de Zinc 5%

h (cm)	CA (%)	M. aire (g)	M. sum. (g)	PSS (g)	Bulk (g/cm ³)	Vag (%)	Gmm	Va (%)	Vb (%)	VMA (%)	VFA (%)
6,35	5,0	1189,4	686,2	1190,5	2,359	84,77	2,47	4,40	10,82	15,23	71,07
6,33	5,0	1190,5	685,5	1192,4	2,349	84,42	2,47	4,81	10,78	15,58	69,15
6,30	5,0	1183,4	682,8	1184,1	2,361	84,85	2,47	4,32	10,83	15,15	71,50
6,33	5,0	1187,8	684,8	1189,0	2,356	84,68	2,47	4,51	10,81	15,32	70,58

Fuente: elaboración propia

Tabla N 28. Diseño con Óxido de Zinc 5.5%

h (cm)	CA (%)	M. aire (g)	M. sum. (g)	PSS (g)	Bulk (g/cm ³)	Vag (%)	Gmm	Va (%)	Vb (%)	VMA (%)	VFA (%)
6,29	5,5	1191,6	689,8	1192,1	2,372	84,82	2,45	3,21	11,97	15,18	78,88
6,27	5,5	1189,0	688,7	1190,3	2,370	84,75	2,45	3,28	11,96	15,25	78,47
6,25	5,5	1184,3	684,8	1185,4	2,366	84,59	2,45	3,47	11,94	15,41	77,47
6,27	5,5	1188,3	687,8	1189,3	2,369	84,72	2,45	3,32	11,96	15,28	78,27

Fuente: elaboración propia

Tabla N°29. Diseño con Óxido de Zinc 6%

h (cm)	CA (%)	M. aire (g)	M. sum. (g)	PSS (g)	Bulk (g/cm ³)	Vag (%)	Gmm	Va (%)	Vb (%)	VMA (%)	VFA (%)
6,21	6,0	1186,1	692,1	1187,2	2,396	85,20	2,43	1,61	13,19	14,80	89,15
6,20	6,0	1184,6	691,8	1185,2	2,401	85,39	2,43	1,39	13,22	14,61	90,48
6,16	6,0	1185,0	690,8	1185,9	2,393	85,12	2,43	1,70	13,18	14,88	88,59
6,19	6,0	1185,2	691,6	1186,1	2,397	85,24	2,43	1,56	13,20	14,76	89,40

Fuente: elaboración propia

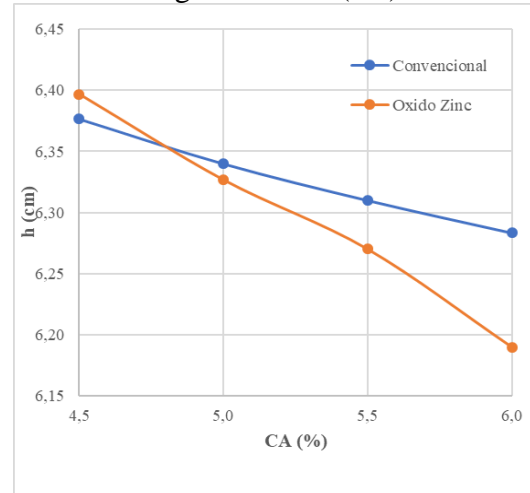
Tabla N°30. Resultados

CA (%)	h (cm)	Va (%)	VMA (%)	VFA (%)	Bulk (g/cm ³)
Convencional					
4,5	6,38	5,37	15,69	65,76	2,333
5,0	6,34	3,89	15,44	74,85	2,353
5,5	6,31	2,26	15,09	85,02	2,375
6,0	6,28	1,24	15,28	91,96	2,382
Oxido Zinc					
4,5	6,40	6,13	15,76	61,10	2,331
5,0	6,33	4,51	15,32	70,58	2,356
5,5	6,27	3,32	15,28	78,27	2,369
6,0	6,19	1,56	14,76	89,40	2,397

Fuente: elaboración propia

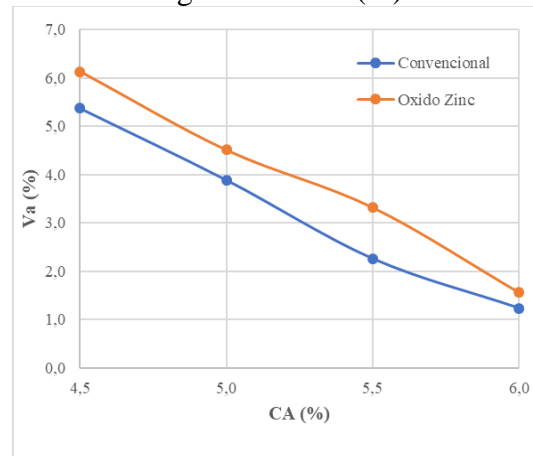
De acuerdo a los resultados de la tabla N°30, se expone a continuación, las gráficas respectivas.

Figura N°6. H (cm)



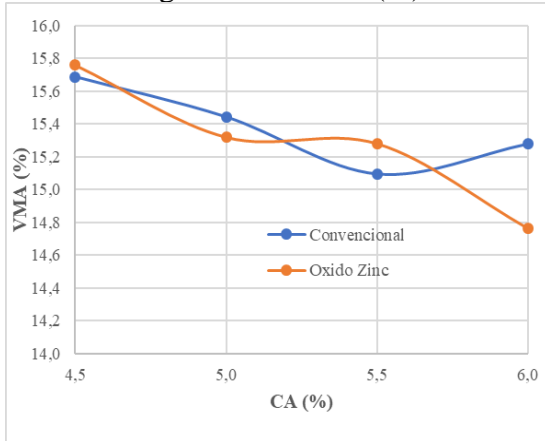
Fuente: elaboración propia

Figura N°7. Va (%)



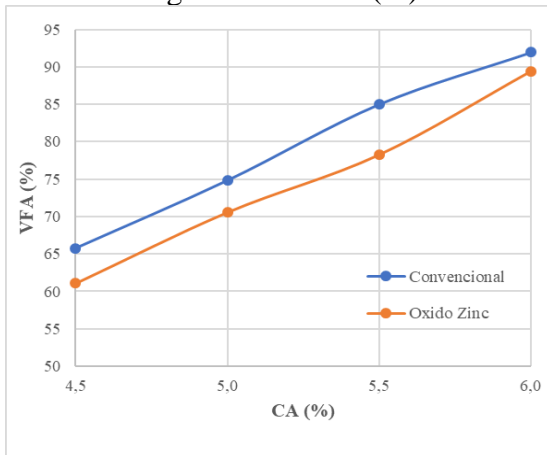
Fuente: elaboración propia

Figura N°8. VMA (%)



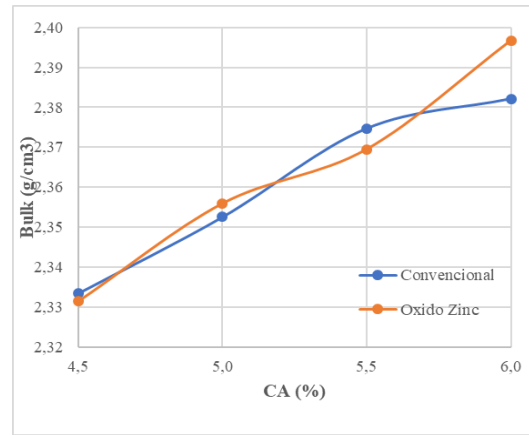
Fuente: elaboración propia

Figura N°9. VFA (%)



Fuente: elaboración propia

Figura N°10. Bulk (g/cm³)



Fuente: elaboración propia

A continuación, se expone archivo fotográfico sobre los ensayos realizados.

Imagen N°1. Preparación de muestras



Fuente: elaboración propia

Imagen N°2. Muestras a ensayar



Fuente: elaboración propia

Imagen N°3. Ensayo de muestras



Fuente: elaboración propia

En virtud de lo anterior, donde se observa toda la etapa de ensayos de laboratorio, se observa que las resistencias promedio son más altas en estado seco de las muestras, tanto en el diseño convencional, como en el diseño con adición de Óxido de Zinc, ambas al 5%; por parte de la desviación, medida en kPa, en estado seco del diseño convencional, se observan valores inferiores al estado saturado del diseño convencional, situación contraria al diseño con Óxido de Zinc, donde los mayores valores fueron alcanzados en estado seco de la muestra.

El Ensayo de Tracción Indirecta (TSR), arrojó valores más altos en el diseño convencional.

El valor más alto de gravedad específica (GS), lo alcanzó el diseño convencional, con 2,64, superando en un 243% la gravedad específica del diseño modificado, el cual solo alcanzó el 1,09.

La curva de estabilidad, la cual se expone en la figura N°3, y que corresponde al diseño con Óxido de Zinc, muestra un comportamiento ascendente constante, alcanzando un valor de 15,32 kN. Dado lo anterior, es importante tener en cuenta que los asfaltos con valores altos de estabilidad y bajos de fluencia, tienden a ser muy frágiles y rígidos, aspecto negativo frente a la vida útil de la capa de rodadura.

Sumado al punto anterior, la curva de estabilidad del diseño convencional, muestra su mayor ascenso sobre el 5,5% de contenido de cemento asfáltico (CA), con una resistencia de 13,85 kN, y posteriormente descendiendo hasta los 12,35 kN, a una cuantía del 6% de CA.

En las figuras N°1 y 2, se observa como el óxido de zinc arroja valores más altos en todos los parámetros analizados, mostrando gran diferencia en la muestra seca, la muestra sumergida y la densidad Bulk.

En la figura N°3 se observa que la curva E-F (Estabilidad/Flujo), mostró en el diseño con Óxido de Zinc, un comportamiento proporcional a los porcentajes de cemento asfáltico, ascendiendo de manera regular.

En materia de costos, aunque el Óxido de Zinc tiene un mayor precio en el mercado, se considera que el uso de este representa más economía, pues la explotación de canteras para la extracción de material pétreo, como lo son los agregados para el concreto, acelera el calentamiento global, lo cual se debe al mal manejo de las riberas de los ríos por excavaciones indiscriminadas para extraer los agregados, como también, a la contaminación del agua por la presencia de equipos pesados para la extracción y transporte de los agregados, que son, finalmente, aspectos fundamentales que se suman a las razones por las cuales se aumenta el calentamiento global año tras año, el cual, según cifras del Ministerio del Medio Ambiente en la COP 27, celebrada en Egipto, asciende a los 4,2 billones al año, impactando así, el presupuesto de la nación [14].

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Aunque los resultados no arrojaron un panorama negativo ante el uso de Óxido de Zinc en las mezclas, para futuras investigaciones vale la pena emplear aditivos a base de emulsión de polímeros, los cuales mejoran las propiedades que actúan directamente en la adherencia. Así mismo, el empleo de fibras naturales o sintéticas, también podrían ser parte del diseño, ya que estas aumentarían la resistencia a la tracción y a la flexión.
- En la figura N°3 se observa el comportamiento ascendente constante del diseño con Óxido de Zinc, el cual alcanza

valores de 15,32 kN, cifra que muestra un estado frágil y rígido en la mezcla asfáltica, por lo cual, es necesario mejorar las condiciones elásticas del diseño, pues en la modernidad, el módulo dinámico es la principal propiedad para desarrollar métodos modernos mecanicistas, teniendo en cuenta también, que un asfalto rígido tiene menor vida útil que un asfalto con buen comportamiento reológico, pues ante condiciones de rigidez, el asfalto tendrá baja resistencia a la fatiga. Dicho fenómeno de rigidez, se podría controlar disminuyendo el porcentaje de vacíos y la viscosidad en la mezcla

- Sumado a lo anterior, es importante tener en cuenta que, así como es determinante la rigidez de la mezcla asfáltica, también se deben tener en cuenta los efectos climáticos, ya que las mezclas asfálticas son más susceptibles a climas fríos, donde el endurecimiento del material es inminente, razón por la cual, se enfatiza el mejoramiento del módulo elástico para futuras investigaciones.
- Se recomienda realizar un buen proceso de compactación, lo cual previene el envejecimiento prematuro del asfalto, como también, el agrietamiento por fatiga
- Para futuras investigaciones se debe mejorar la resistencia a tracción del diseño con Óxido de Zinc, pues el ensayo de tracción indirecta arrojó mejores resultados en la mezcla convencional.
- En materia de volumen, se destaca lo siguiente:

- Masa específica máxima medida (Gmm): se alcanzaron mayores valores en el diseño con Óxido de Zinc
- Vacíos en el agregado mineral (Va %): se alcanzaron valores más altos en el diseño con Óxido de Zinc,
- Porcentaje en volumen de asfalto de la mezcla (Vb): se alcanzaron valores más altos en el diseño convencional
- Vacíos en el agregado mineral (VMA): se observó que no hay predominio en este aspecto por ninguno de los diseños, lo cual muestra el buen desempeño del Óxido de Zinc sobre la mezcla asfáltica, pues los agentes climatológicos pueden acelerar el deterioro de la capa de rodadura, ya que, entre mayor contenido de vacíos hay en la mezcla, más aumentan las posibilidades de presencia de agua y aire al interior de la carpeta, lo cual es totalmente nocivo para la duración y/o vida útil de la estructura a través del tiempo.
- Vacíos llenos de asfalto (VFA %): el diseño convencional arrojó valores más altos.
- Para mejorar valores de fragilidad y rigidez en el diseño con Óxido de Zinc, vale la pena considerar el empleo de polímeros como el caucho, el cual puede mejorar las condiciones reológicas del asfalto, y de ese modo no poner en riesgo la vida útil de la rodadura, pues ante

efectos climáticos bajos, el pavimento tendría un comportamiento más rígido, y a su vez, más frágil.

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente, agradecemos a Dios, por permitirnos tener salud y los recursos necesarios para el desarrollo de nuestros estudios. Así mismo, agradecemos a nuestros padres y parejas, por su incondicional apoyo y paciencia, quienes se mostraron comprensivos en los momentos más difíciles, en esos momentos que no podíamos dedicar tiempo a disfrutar junto a ellos, para así poder sacar adelante los frutos que serán recompensados.

A el Ingeniero Saieth, por su labor como tutor, quien nos ha Guiado con esmero y dedicación, aportando sus grandes conocimientos, y no solo esto, si no también, su comprensión y paciencia para que este trabajo llegara a ser una realidad.

Por la Universidad Nueva Granada, un gran aprecio, ya que esta gran institución permitió el desarrollo de los laboratorios, que fueron la base imprescindible de datos simultáneos para conformar nuestra investigación.

Bibliografía

- [1] L. F. Verdeja, P. G. Coque y M. A. H. Nosti, «El Óxido de Zinc: propiedades y aplicaciones,» *ResearchGate*, pp. 87-96, 2017.
- [2] Misiones al instante, «<http://misionesalinstante.com/>,» 30 04 2020.

- [En línea]. Available: <http://misionesimalnstante.com/?a=44436>. [Último acceso: 29 11 2022].
- [3] B. Hernández, «Civilgeeks.com,» 20 2 2014. [En línea]. Available: <https://civilgeeks.com/2014/02/20/la-conciencia-medioambiental-tambien-rige-el-sector-del-asfalto/>. [Último acceso: 9 3 2023].
- [4] chemicalsafetyfacts, «Óxido de zinc,» 2023.
- [5] Zinsa, «Óxido de Zinc – Aplicaciones y Usos del Óxido de Zinc,» Lima, 2020.
- [6] L. F. Verdeja, P. G. Coque y M. A. H. Nosti, «El Óxido de Zinc: propiedades y aplicaciones,» *ResearchGate*, pp. 87-95, 2017.
- [7] T. Otzen y C. Manterola, «Técnicas de Muestreo sobre una población a estudio,» *Scielo*, pp. 227-232, 2017.
- [8] UMSS - Facultad de Ciencias y Tecnologías, «Diseño de Mezclas Asfálticas Método Marshall,» Ciudad de México, S.f..
- [9] TechTarget, «<https://searchdatacenter.techtarget.com/>,» Abril 2021. [En línea]. Available: <https://searchdatacenter.techtarget.com/es/definicion/Analisis-estadistico>.
- [1] Universidad Técnica Particular de Loja, [0] «Competencias Técnicas de Laboratoristas en Mezclas Asfálticas,» Loja, 2018.
- [1] M. T. Samuel y C. L. V. Stanescu, «MODELOS DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SERVICIO: CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS,» Barquisimeto, 2006.
- [1] INVIAS E-734-07, «GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EMPLEANDO ESPECIMENES PARAFINADOS,» Bogotá, D.C., Sf..
- [1] Ingeniería Civil, [3] «<https://www.ingenierocivilinfo.com/>,» Septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/05/clasificacion-de-los-agregados-para.html>. [Último acceso: 18 04 2023].
- [1] Portafolio, «Colombia perdería \$4,3 billones al año por el cambio climático,» Bogotá, D.C., 2022.