

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



**Análisis de mezclas asfálticas utilizando residuos de construcción y  
demolición como filler**

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

**AUTOR**

**Ruth Noemi Salvador Reyes**

**ASESOR**

**Angel Antonio Ruiz Pico**

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

**Chiclayo, 2023**

## ARTICULO CIENTIFICO TURNITIN - RUTH

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>15%</b>	<b>12%</b>	<b>8%</b>	<b>2%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>divk.inovacionicentar.rs</b> Fuente de Internet	<b>4%</b>
<b>2</b>	<b>revistas.sena.edu.co</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>3</b>	<b>Mengyun Zhang, Changjiang Kou, Aihong Kang, Peng Xiao, Haotian Hu. "Microscopic characteristics of interface transition zones of hot mix asphalt containing recycled concrete aggregates", Journal of Cleaner Production, 2023</b> Publicación	<b>2%</b>
<b>4</b>	<b>www.scielo.cl</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>J G Bastidas-Martínez, J C Ruge, R A G Zuluaga, L Medina. "Effect of aging on the physical-mechanical characteristics of an</b>	<b>1%</b>

## Índice

Resumen.....	4
Abstract.....	5
Introducción .....	6
Materiales y Métodos.....	8
Resultados y Análisis.....	13
Conclusiones .....	25
Referencias.....	26

## Resumen

Esta investigación tuvo como finalidad evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas utilizando RCD como filler para proyectos de pavimentos flexibles de tránsito liviano. Se elaboraron briquetas contenidas de mezclas asfálticas para un tránsito ligero, considerando la caracterización del RCD, identificando las características de los RDC para poder ser utilizado como filler en las mezclas asfálticas teniendo en cuenta el porcentaje óptimo de RDC para el concreto y filler, se realizó una comparación de los resultados con las normas establecidas para su uso adecuado, se realizó el diseño de mezcla para la muestra patrón y para las muestras con adición de 1%, 3%, 5% y 7% de filler de RCD, en donde se puede concluir que el 1%RCD es el que más se asemeja a la mezcla asfáltica patrón y se encuentra dentro de los parámetros establecidos en la norma “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” - 2013, no todos los porcentajes de filler logran cumplir con las propiedades de las mezclas asfálticas, donde la estabilidad es uno de los resultados más favorables que se ha obtenido dando una gran resistencia al desplazamiento en las mezclas asfálticas, sin embargo, el porcentaje óptimo es del 5%RCD pues muestra resultados con mayor resistencia.

**Palabras clave:** mezclas asfálticas, RDC, filler.

### **Abstract**

The aim of this research was to evaluate the physical and mechanical properties of asphalt mixtures using RCD as filler for flexible lightweight road pavements. Briquettes containing asphalt mixtures were produced for light transit, considering the characterization of RCD, identifying the characteristics of the DRC in order to be used as filler in asphalt mixtures taking into account the optimal percentage of DRC for concrete and filler, a comparison of the results with the standards established for their appropriate use was made, the mixing design was performed for the standard sample and for the samples with the addition of 1%, 3%, 5% and 7% of filler of RCD, where it can be concluded that the 1% RCD is the one that best resembles the standard asphalt mixture and is within the parameters set in the standard "General Technical Specifications for Construction" - 2013, not all filler percentages meet the properties of asphalt mixtures, where the stability is one of the most favorable results that has been obtained giving a great resistance to displacement in asphalt mixtures, however, the optimal percentage is 5%RCD because it shows results with greater resistance.

**Keywords:** asphalt mixtures, RDC, filler

## Introducción

Actualmente, el sector construcción genera gran cantidad de residuos debido a los diferentes proyectos y obras civiles que se realizan a lo largo de los años, así mismo la terminación de la vida útil de construcciones antiguas producen gran cantidad de Residuos de Construcción y Demolición [1].

El aumento de residuos de construcción y demolición permite mecanismos para reutilizar estos materiales en la generación de nuevos productos con aplicaciones en ingeniería civil [2].

La reutilización de los RCD es uno de los principales temas de la industria de la construcción [3] y son generados en la ciudad para la producción de materiales reciclados, siendo una alternativa clave para la sostenibilidad de la industria de la construcción, el uso adecuado de estos puede contribuir positivamente a la reducción del impacto ambiental, evitando agotar las materias primas, disminuyendo la extracción de estos materiales procedentes de canteras y reduciendo el volumen de residuos que llegan a parar a vertederos, logrando el cuidado del medio ambiente [4].

Mundialmente se estima que se producen más de 25 mil millones de toneladas al año de concreto en el mundo, lo que equivale en promedio a 1 m<sup>3</sup> por persona y se producen 10 mil millones de toneladas anuales de RCD en todo el planeta, de las cuales Estados Unidos aporta aproximadamente 700 millones de toneladas, China aporta alrededor de 2.300 millones de toneladas y la Unión Europea más de 800 millones de toneladas [5]. Según un estudio publicado en 2015, el peso anual mundial de los RCD vertidos asciende actualmente a 1.200 millones de toneladas [6], en cuanto al término de un proyecto se estima que la producción de residuos de construcción se encuentra entre un 35% y 40% de desechos totales que al concluir el proyecto terminan en vertederos ilegales o lugares de disposición final sin ser aprovechados adecuadamente [7].

Los materiales de construcción son difíciles de eliminar porque pueden contener materiales peligrosos, como amianto, metales pesados, sustancias orgánicas persistentes, entre otros [14]. Sin embargo, su implementación puede llegar a ser favorables para el mejoramiento de los procesos de gestión [2], porque los materiales de los RCD puede ser implementados en las materias primas para la construcción de proyectos viales y civiles.

Los proyectos de carreteras han tomado mayor importancia en el sector, debido a la necesidad de las personas de transportarse a diferentes ciudades y/o países, es por eso que los pavimentos constantemente son expuestos a cargas de tránsito y a los factores

ambientales, ocasionando deterioro y por ende una disminución en su calidad, teniendo un aumento en los costos de mantenimiento. Por ello, es fundamental la conservación de la calidad de las vías terrestres y los pavimentos. En el caso de Colombia se reportan 204.855 km de carreteras, de los cuales 17.434 se encuentran distribuidos en la red primaria y 187.421 en la red secundaria y terciaria. Para el caso de la red vial pavimentada, el 47.2% se encuentra en un estado muy bueno a bueno, 34.3% en estado regular y 18.5% en estado malo a muy malo [8].

La estimación correcta de los residuos de construcción y demolición permite establecer un sistema de gestión eficaz tanto a nivel de proyecto como a nivel regional [9]. En general, se carece de un conocimiento del proceso de generación y estimación de RCD, para conseguir una gestión de reciclado eficaz.

En Perú, en general, no existen estudios sistematizados sobre la reutilización de los RCD como filler, el apoyo del estado es importante para promover el reciclaje en obra, si bien es cierto que es difícil contar con equipos que faciliten la gestión de los RCD. Esta investigación tiene como objetivo dar a conocer a través de un ejemplo práctico realizado en laboratorio con sus respectivos ensayos la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas utilizando RCD como filler para proyectos de pavimentos flexibles de tránsito liviano, través de bloques de concreto provenientes de los botaderos que pertenecen a concreto para falso piso de demolición.

## **Materiales y Métodos**

### ***Selección de materiales***

**Mezclas asfálticas:** Las mezclas asfálticas se elaboran con un alto porcentaje de áridos y asfalto, a esos materiales se le puede añadir polvo de caucho procedente de neumáticos usados sin modificar sus capacidades y resistencia estructural [10], el árido participa con más del 90% en su masa total del asfalto, con una producción de 435 106 toneladas/año en la Unión Europea [11], mayormente proceden de la explotación de canteras provocando graves efectos medioambientales, así como importantes gastos económicos y energéticos [12].

Cerca de un 70% de peso del asfalto se utiliza en carreteras por sus propiedades impermeabilizantes y propiedades ligantes, sin embargo, es un material susceptible a altas temperaturas, es por ello que puede ser modificado antes de ser usado en proyectos de construcción e infraestructura [13], un ejemplo está en la incorporación de caucho miga proveniente de las llantas recicladas teniendo una opción de mejorar el rendimiento y propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en una infraestructura vial como es el pavimento [14], logrando un tipo de tratamiento superficial con un método eficaz, económico y respetuoso con el medio ambiente [3].

**RDC:** Los residuos de construcción y demolición generados por la construcción son definidos por la Agencia Escocesa de Protección del Medio Ambiente (2014) como materiales resultantes de la construcción, remodelación, reparación o demolición de edificios, puentes, pavimentos y otras estructuras y el uso de energía, materiales y mano de obra que no añade valor al proceso de construcción [8].

Están formado por distintos materiales de construcción, constituido por concreto (alrededor del 40 %) y cerámicos (alrededor del 30 %) [5], destacan aquellos de origen pétreo (concretos, morteros, ladrillos, azulejos, losetas, etc.), en una composición y porcentaje de generación (65 al 75%) [15], compuesto que los hace valorizables, por lo tanto, adecuados para su reciclaje, en determinados casos [16]. Una de las formas de clasificación internacional es catalogar los RCD de acuerdo a su procedencia [17]:

- Materiales de excavación: tierra, arena, grava, rocas, etc.
- Construcción y mantenimiento de obras civiles: asfalto, arena, grava y metales, etc.

- Materiales de demolición: bloques de hormigón, ladrillos, yeso, porcelana y cal-yeso.

Se comprobó que la presencia de un 20% de RCD en mezclas asfálticas tiene el rendimiento técnico cualificado para la pavimentación de calles urbanas, donde estas mezclas depende de las propiedades, composición y proporciones de los áridos de RCD [18], además, la mayoría de los estudios se han concentrado en la reutilización de residuos de la construcción para producir productos de hormigón con menor contenido o utilizados como materias primas de cemento [3].

**Filler:** Es un producto comercial de naturaleza pulverulenta (cemento o cenizas volantes de central térmica) o un polvo en general calizo, para ser utilizado mayormente en las mezclas asfálticas, siendo muy importante para la determinación de sus propiedades y su comportamiento, debido que forma parte de los minerales que soporta tensiones por rozamiento interno en contacto entre sus partículas, además que facilita la compactación y actúa a modo de rodamiento entre los agregados más gruesos.

Muchos investigadores han estudiado diferentes fillers de RCD y residuos sólidos que pueden reemplazar el relleno mineral en la mezcla de concreto, descubriendo que dichos filler pueden no tener una influencia negativa en las mezclas de concreto, así como mejoras en algunas propiedades como la impermeabilización y densificación [1].

### **Muestras del RCD**

Para la realización de la investigación se analizó una muestra compuesta por 75 briquetas de mezcla asfáltica, elaborada según el Manuel de Carreteras (EG-2013) muy semejante con la información que brinda la norma europea (Ley de carreteras - Ley 37/2015). La cantidad de golpes aplicando a las muestras se estableció a partir del tráfico medio definido previamente.

### ***Proceso de obtención del RCD***

Para poder obtener el material de RCD, primero se identificó puntos críticos de donde se obtendría el material adecuado, se mapeo las áreas a visitar, se realizó trabajo de campo visitando distintos botaderos de Lambayeque, en donde se selección material de los siguientes puntos:

- Salida Ferreñafe
- URB. Ciudad del Chofer
- Carretera a San José



Figure 1. Residuos de la construcción y demolición

Luego de identificar los puntos críticos de obtención de material, mediante bloques de concreto se decidió la utilización de concreto para falso piso de demolición, porque según antecedentes comentan que son residuos de calidad alta y con bajos niveles de impurezas, luego se procedió a la reducción de tamaño del material con una comba para poder pasarlo por la máquina de ángeles y así lograr el tamaño requerido, para lograr estar por debajo de la malla N° 50 debido que este material reemplazará al filler.



Figure 2. Residuos de concreto triturado.

Para la elaboración del diseño de mezcla asfáltica se empleó la metodología Marshall, que consiste en la dosificación en porcentajes del material pétreo y filler que será embebido con el cemento asfáltico o PEN, el cual deberá llegar a una temperatura de 150 a 180 °C. A continuación, se presenta el diseño de mezcla asfáltica para las muestras en 1%RCD, 3%RCD, 5%RCD y 7%RCD.

En la elaboración de la mezcla asfáltica patrón, se mantuvo constante el porcentaje de agregado grueso (60%), agregado fino (39%) y filler (1%), incorporando diferentes porcentajes de cemento asfáltico (4.0%, 4.50%, 5.0%, 5.50% y 6.0%)

En las Tablas 1 a 4 se muestra la mezcla asfáltica patrón con la incorporación del 1%, 5% y 7% de RCD. Asimismo, se realiza la caracterización de las muestras para diferentes porcentajes de cemento asfáltico.

Tabla 1. Diseño de mezcla asfáltica para 1% RCD

<b>MEZCLA ASFALTICA PARA 1% RCD</b>			
<b>Cemento Asfáltico</b>	<b>Agregado Grueso</b>	<b>Agregado Fino</b>	<b>Filler (RCD)</b>
4%	60%	39%	1%
4.50%	60%	39%	1%
5%	60%	39%	1%
5.50%	60%	39%	1%
6%	60%	39%	1%

Tabla 2. Diseño de mezcla asfáltica para 3% RCD

<b>MEZCLA ASFALTICA PARA 3% RCD</b>			
<b>Cemento Asfáltico</b>	<b>Agregado Grueso</b>	<b>Agregado Fino</b>	<b>Filler (RCD)</b>
4%	58%	39%	3%
4.50%	58%	39%	3%
5%	58%	39%	3%
5.50%	58%	39%	3%
6%	58%	39%	3%

Tabla 3. Diseño de mezcla asfáltica para 5% RCD

<b>MEZCLA ASFALTICA PARA 5% RCD</b>			
<b>Cemento Asfáltico</b>	<b>Agregado Grueso</b>	<b>Agregado Fino</b>	<b>Filler (RCD)</b>
4%	57%	38%	5%
4.50%	57%	38%	5%
5%	57%	38%	5%
5.50%	57%	38%	5%
6%	57%	38%	5%

Tabla 4. Diseño de mezcla asfáltica para 7% RCD

<b>MEZCLA ASFALTICA PARA 7% RCD</b>			
<b>Cemento Asfáltico</b>	<b>Agregado Grueso</b>	<b>Agregado Fino</b>	<b>Filler (RCD)</b>
4%	56%	37%	7%
4.50%	56%	37%	7%
5%	56%	37%	7%
5.50%	56%	37%	7%
6%	56%	37%	7%

### **Ensayos realizados**

Los ensayos a continuación se realizaron de acuerdo a las especificaciones de norma.

- Ensayo para agregados:
- Granulometría (MTC E 107)
- Gravedad específica y absorción Agregado Grueso (MTC E 206)
- Ensayo de abrasión (MTC E 20)
- Partículas chatas y alargadas (MTC E 221)
- Sales solubles (MTC E 219)
- Ensayo de durabilidad (ASTM C 88)
- Caras fracturadas (MTC E 210)
- Equivalente de arena (ASTM D 2419)
- Índice de plasticidad (MTC E 111)

Ensayos a las mezclas asfálticas:

- Peso Específico (ASTM D 854)
- Ensayo Marshall. (MTC E 504)
- Ensayo Rice (ASTM D 2071 y AASHTO T 209)
- Peso Específico (ASTM D 854)
- Ensayo Marshall. (MTC E 504)
- Ensayo Rice (ASTM D 2071 y AASHTO T 209)

### **Justificación de la investigación**

Debido al rápido desarrollo de la ingeniería de la construcción, la enorme cantidad de RCD se ha convertido en un problema medioambiental mundial, por eso que en esta investigación se pretende aprovechar los residuos de construcción y demolición obtenidos dentro de un proyecto constructivo, y así darle un uso ecológico y lograr reutilizar RCD como filler en los asfaltos, para aumentar su resistencia, su impermeabilización y su densificación, teniendo los RCD como una alternativa de solución sostenible en el sector construcción para así evitar el agotamiento sus materias primas.

## Resultados y Análisis

Para lograr obtener el diseño de mezcla para la muestra patrón y para las muestras con adición de 1%, 3%, 5% y 7% de filler de RCD, previamente se ha realizado el ensayo de peso específico relativo para sólidos del RDC, donde el valor del ensayo del peso específico relativo de sólidos fue 2.479 g/cm<sup>3</sup>, luego se desarrolló el ensayo de materia orgánica en suelos donde en laboratorio se determinó que el valor para la materia orgánica para la muestra de RCD por pérdida de ignición fue del 2.1%.

Luego se realizó los ensayos correspondientes para agregado grueso realizando un análisis con la norma E.G. 2013, teniendo los siguientes ensayos: la gravedad específica y absorción de agregados gruesos, cumpliendo con los parámetros indicados según la norma, donde establece un valor máximo de 1%, para el ensayo de abrasión por medio de la máquina de los ángeles su porcentaje de desgaste fue 16.4% cumpliendo con lo requerido, pues la norma pide un máximo de 40% de desgaste, en el ensayo de la determinación de partículas chatas y alargadas, el resultado 2.75% es del índice de alargamiento del agregado y 5.77% es del índice de aplanamiento del agregado, estando dentro de los parámetros normativos en donde establece un porcentaje máximo del 10%, para el análisis del contenido de sales solubles según norma debe tener un máximo de 0.5% obteniendo un 0.03% en nuestro análisis para el agregado grueso, en el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio se obtiene un 6.8% cumpliendo con los requerimientos de norma que establece un máximo de 18% y por último se realizó el ensayo de porcentaje de caras fracturadas en los agregados donde luego de procesar los datos se tiene 81.2% de partículas con una cara fracturada y se tiene un 83.7% de partículas con dos o más caras fracturadas cumpliendo con la norma.

Después se realizaron los ensayos correspondientes para el agregado fino comparando los resultados con la norma E.G. 2013, teniendo los siguientes ensayos: de equivalencia de arena siendo 61% su porcentaje equivalente, cumpliendo con la normativa a un 60% como mínimo, también se realizó el ensayo de gravedad específica en agregado fino, teniendo una absorción de 0.19% estando dentro del parámetro de la norma que indica un máximo de 0.5%, en el ensayo de contenido de sales solubles en agregado fino se obtuvo un porcentaje de 0.02% siendo un porcentaje aceptado por la norma, en el ensayo de durabilidad se determinó la durabilidad al sulfato de magnesio de la arena natural con un 7% el cual cumple con la norma, y por último el ensayo de plasticidad se logró determinar el límite líquido de la arena amarilla, no presenta límite

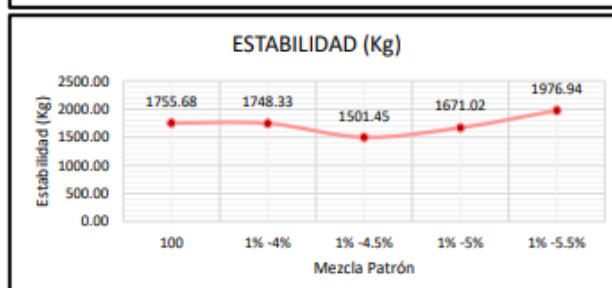
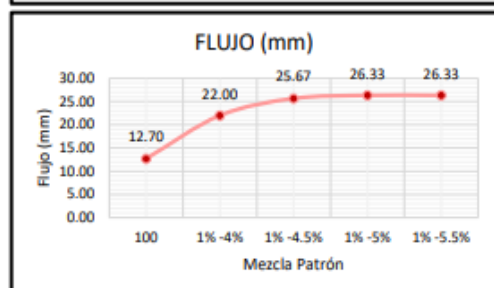
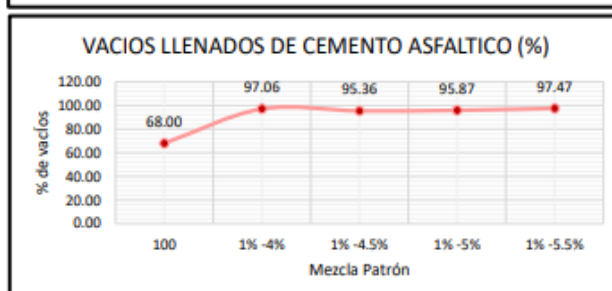
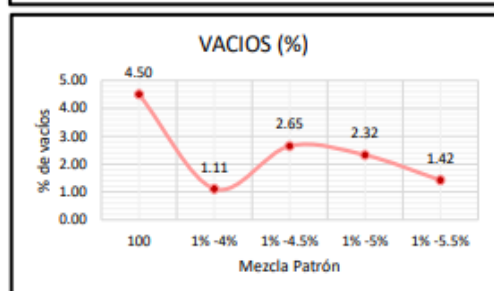
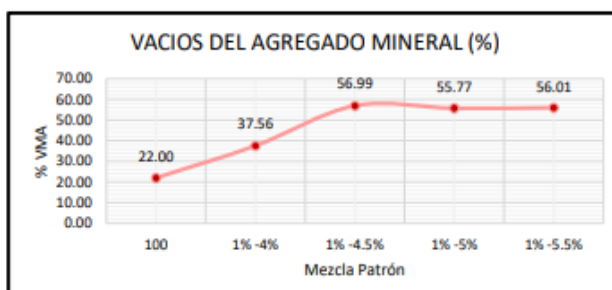
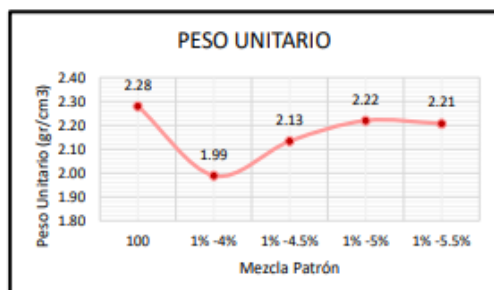
líquido ni límite plástico y por ende tampoco presentan índice de plasticidad debido a que la arena es no plástica.

Así mismo se elaboró el diseño de mezcla asfáltica patrón en donde se consideró ciertos elementos para su análisis: Grava Chancada 3/4" a un 60%, arena Chancada 1/4" a un 39% y cemento (Filler): 1%.

Luego de realizar los ensayos correspondientes mencionando anteriormente, se obtendrá los resultados del diseño de mezcla patrón con 1%RCD, con 3%RCD, 5%RCD y con 7%RCD con su respectiva representación gráfica del diseño asfáltico.

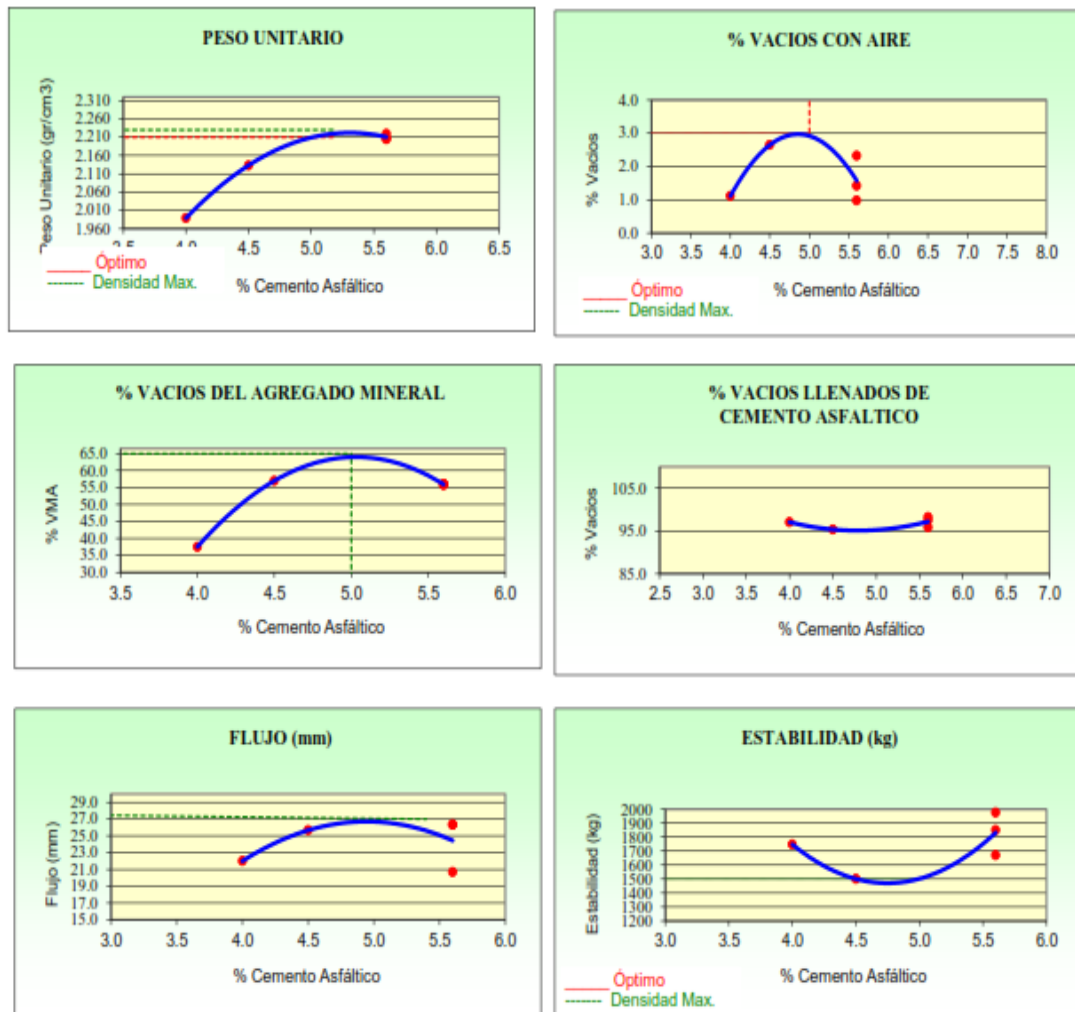
Tabla 5. Análisis de los resultados del diseño de mezcla patrón

RESULTADOS								
Relación Pen-Filler	Peso Unitario (gr/cm <sup>2</sup> )	Vacios (%)	Vacios del agregado Mineral (%)	Vacios Lenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo
100	2.28	4.50	22.00	68.00	12.70	1755.68	1.23	1809.22
1% -4%	1.99	1.11	37.56	97.06	22.00	1748.33	1.23	3129.01
1% -4.5%	2.13	2.65	56.99	95.36	25.67	1501.45	1.23	2297.23
1% -5%	2.22	2.32	55.77	95.87	26.33	1671.02	1.23	2505.54
1% -5.5%	2.21	1.42	56.01	97.47	26.33	1976.94	1.23	2995.24
1% -6%	2.20	0.99	56.06	98.25	20.67	1849.86	1.23	3629.41



En la tabla 5 se obtuvo los resultados en el diseño de mezcla patrón con 1% de filler de cemento hidráulico para todas las variaciones en porcentajes de cemento asfáltico, los cuales son: 4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6%, los datos obtenidos cumplen con la normativa, teniendo resultados más favorables en las variaciones de PEN de 5.5% y 6%.

Gráfico 1. Representación gráfica del diseño asfáltico muestra patrón

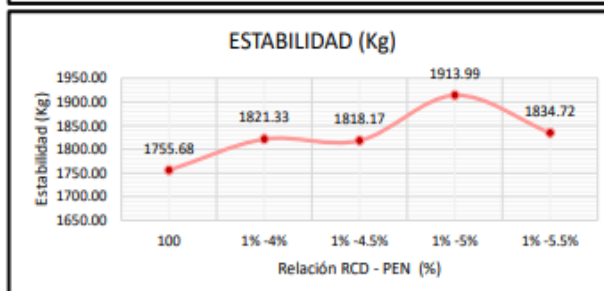
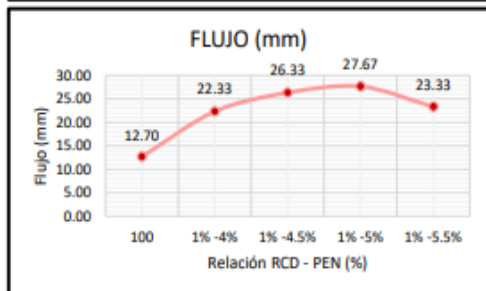
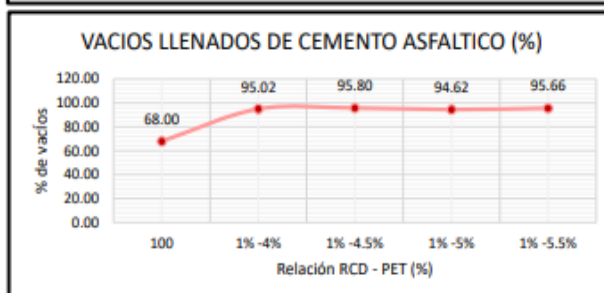
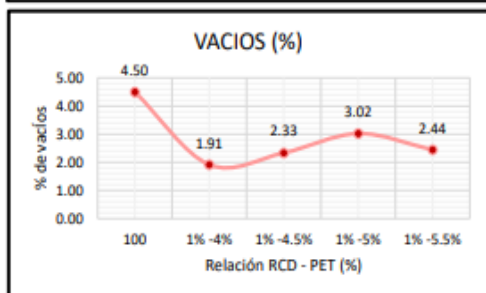
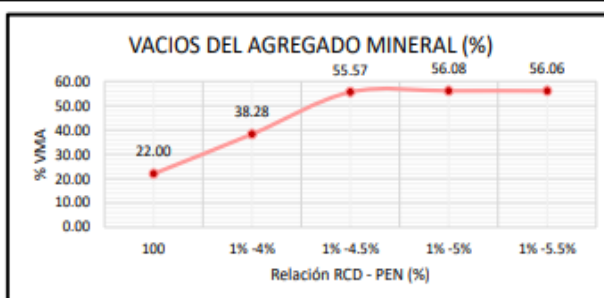


RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.7
Peso Unitario (gr/cm <sup>2</sup> )	2.302
Vacios (%)	3.60
Vacios del Agregado mineral (%)	15.40
Vacios Llenados de C.A (%)	79.00
Flujo (mm)	3.38
Estabilidad (Kg)	1350
Relación Polvo Asfalto	1.14

En la Grafica 1, el porcentaje de vacíos es de 3.6, teniendo una estabilidad de 1350 kg y logrando una relación de polvo asfalto de 1.14.

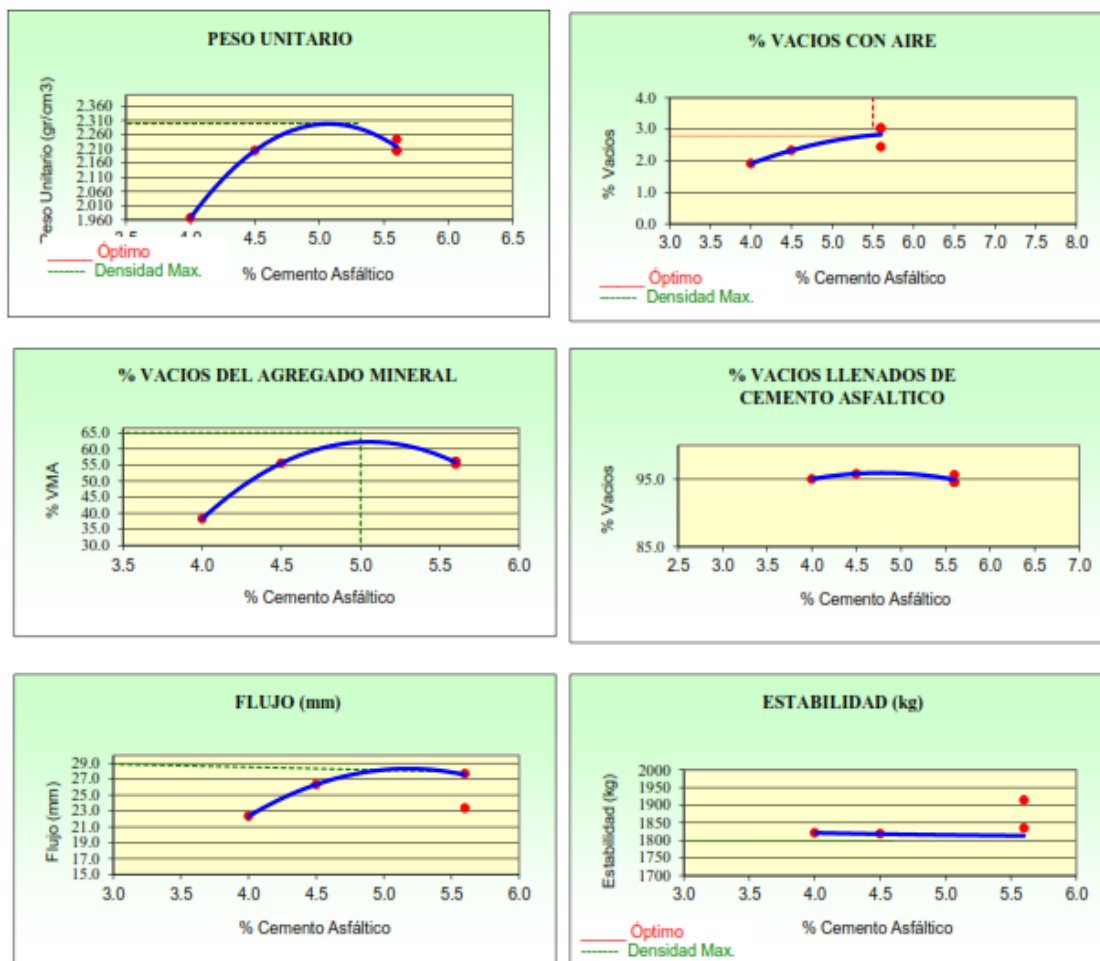
Tabla 6. Análisis de los resultados del diseño de mezcla con 1%RCD - %PEN

Relación Filler - Pen	Peso Unitario (gr/cm <sup>2</sup> )	RESULTADOS				Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo
		Vacios (%)	Vacios del agregado Mineral (%)	Vacios Lenados de C.A (%)					
100	2.28	4.50	22.00	68.00	12.70	1755.68	1.23	1809.22	
1% -4%	1.97	1.91	38.28	95.02	22.33	1821.33	1.23	3353.26	
1% -4.5%	2.20	2.33	55.57	95.80	26.33	1818.17	1.23	2833.13	
1% -5%	2.20	3.02	56.08	94.62	27.67	1913.99	1.23	2789.07	
1% -5.5%	2.20	2.44	56.06	95.66	23.33	1834.72	1.23	3090.70	
1% -6%	2.24	3.04	55.30	94.53	31.67	1691.53	1.23	2302.94	



En la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos en el diseño de mezcla con adición de 1% de filler de RCD de concreto para todas las variaciones en porcentajes de cemento asfáltico, los cuales son: 4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6%, los datos obtenidos cumplen con la normativa, teniendo resultados más favorables en las variaciones de PEN de 1% y 5.5%.

Gráfico 2. Representación gráfica del diseño asfáltico con 1%RCD

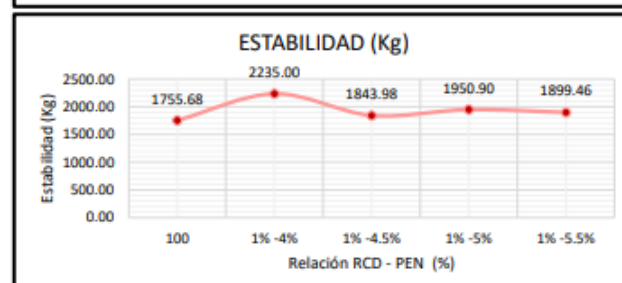
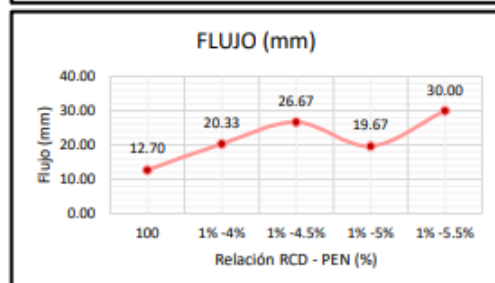
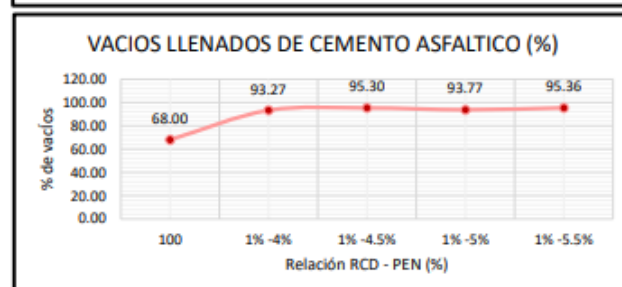
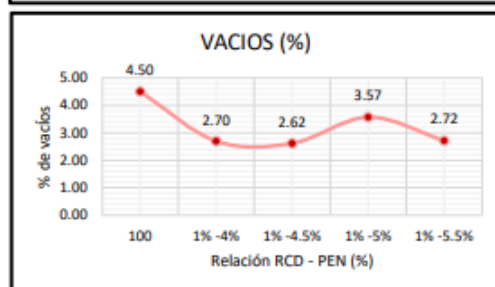


RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.4
Peso Unitario (gr/cm <sup>2</sup> )	2.300
Vacios (%)	2.80
Vacios del Agregado mineral (%)	65.00
Vacios Llenados de C.A (%)	95.00
Flujo (mm)	7.62
Estabilidad (Kg)	1800
Relación Polvo Asfalto	0.98

En el gráfico 2, el porcentaje de vacíos es de 2.8, teniendo una estabilidad de 1800 kg y logrando una relación de polvo asfalto de 0.98, siendo menor el porcentaje que el gráfico 1.

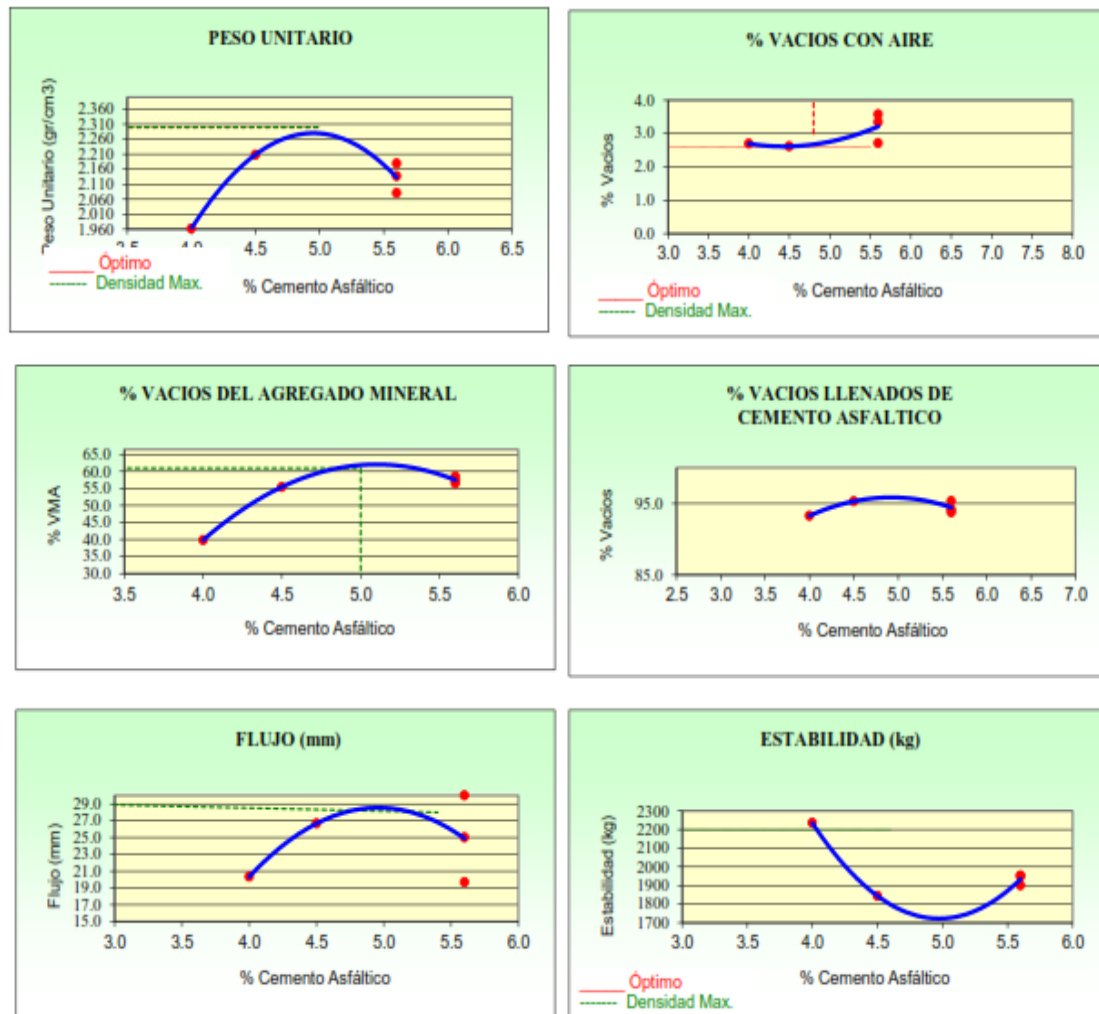
Tabla 7. Análisis de los resultados del diseño de mezcla con 3%RCD - %PEN

RESULTADOS								
Relación Pen-Filler	Peso Unitario (gr/cm <sup>2</sup> )	Vacios (%)	Vacios del agregado Mineral (%)	Vacios Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo
100	2.28	4.50	22.00	68.00	12.70	1755.68	1.23	1809.22
1% -4%	1.96	2.70	39.86	93.27	20.33	2235.00	1.23	4468.24
1% -4.5%	2.21	2.62	55.47	95.30	26.67	1843.98	1.23	2741.73
1% -5%	2.18	3.57	56.57	93.77	19.67	1950.90	1.23	4188.18
1% -5.5%	2.08	2.72	58.53	95.36	30.00	1899.46	1.23	2598.59
1% -6%	2.14	3.35	57.41	94.19	25.00	1951.12	1.23	3134.26



En la tabla 7, se obtuvo los resultados en el diseño de mezcla con adición de 3% de filler de RCD de concreto para todas las variaciones en porcentajes de cemento asfáltico, los cuales son: 4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6%, los datos obtenidos cumplen con la normativa, teniendo resultados más favorables en las variaciones de PEN de 6% para la relación estabilidad/flujo y 4.5% para los demás parámetros.

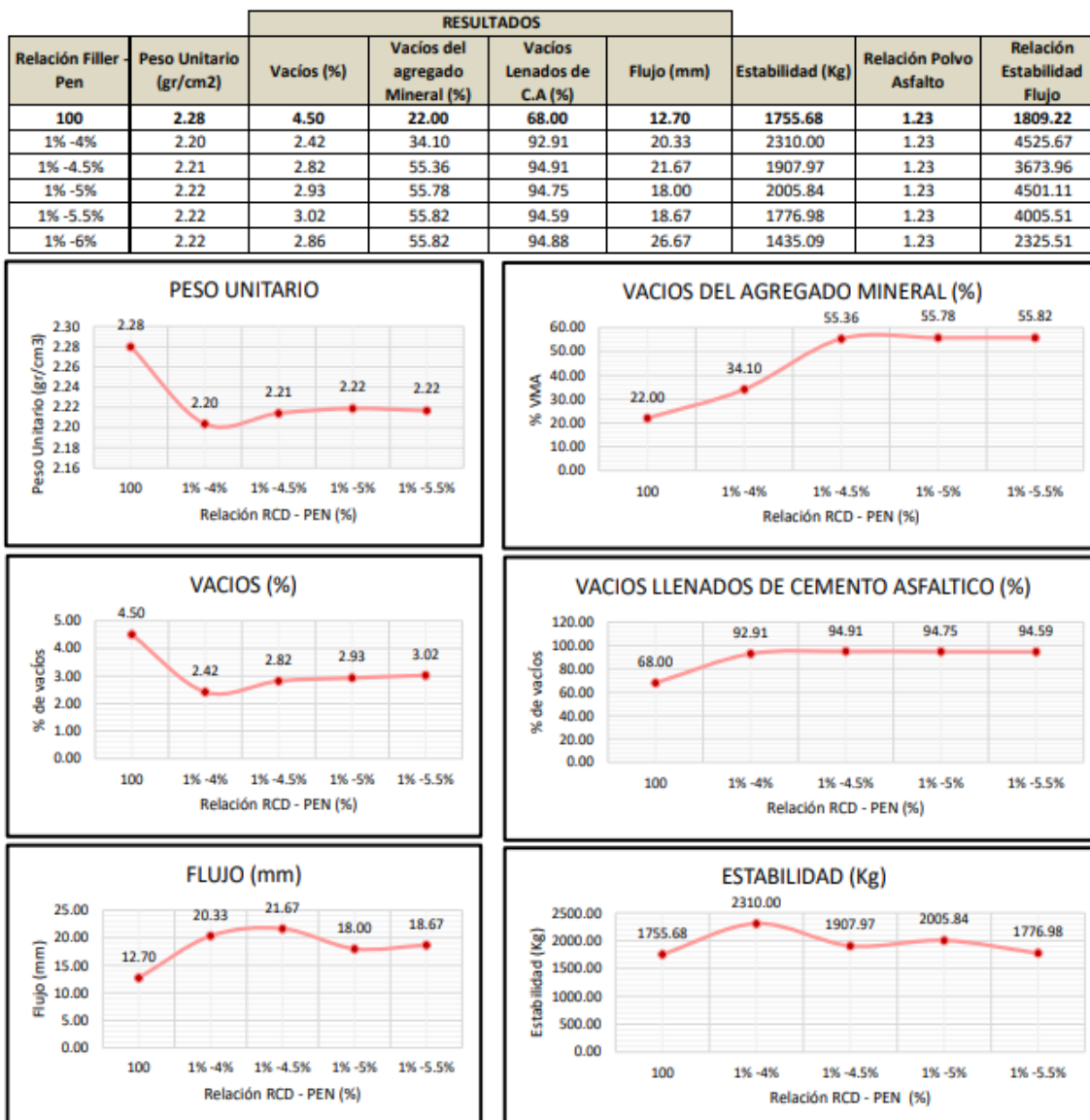
Gráfico 3. Representación gráfica del diseño asfáltico con 3%RCD



RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.1
Peso Unitario (gr/cm <sup>2</sup> )	2.300
Vacios (%)	2.60
Vacios del Agregado mineral (%)	61.00
Vacios Llenados de C.A (%)	95.00
Flujo (mm)	7.62
Estabilidad (Kg)	2200
Relación Polvo Asfalto	0.92

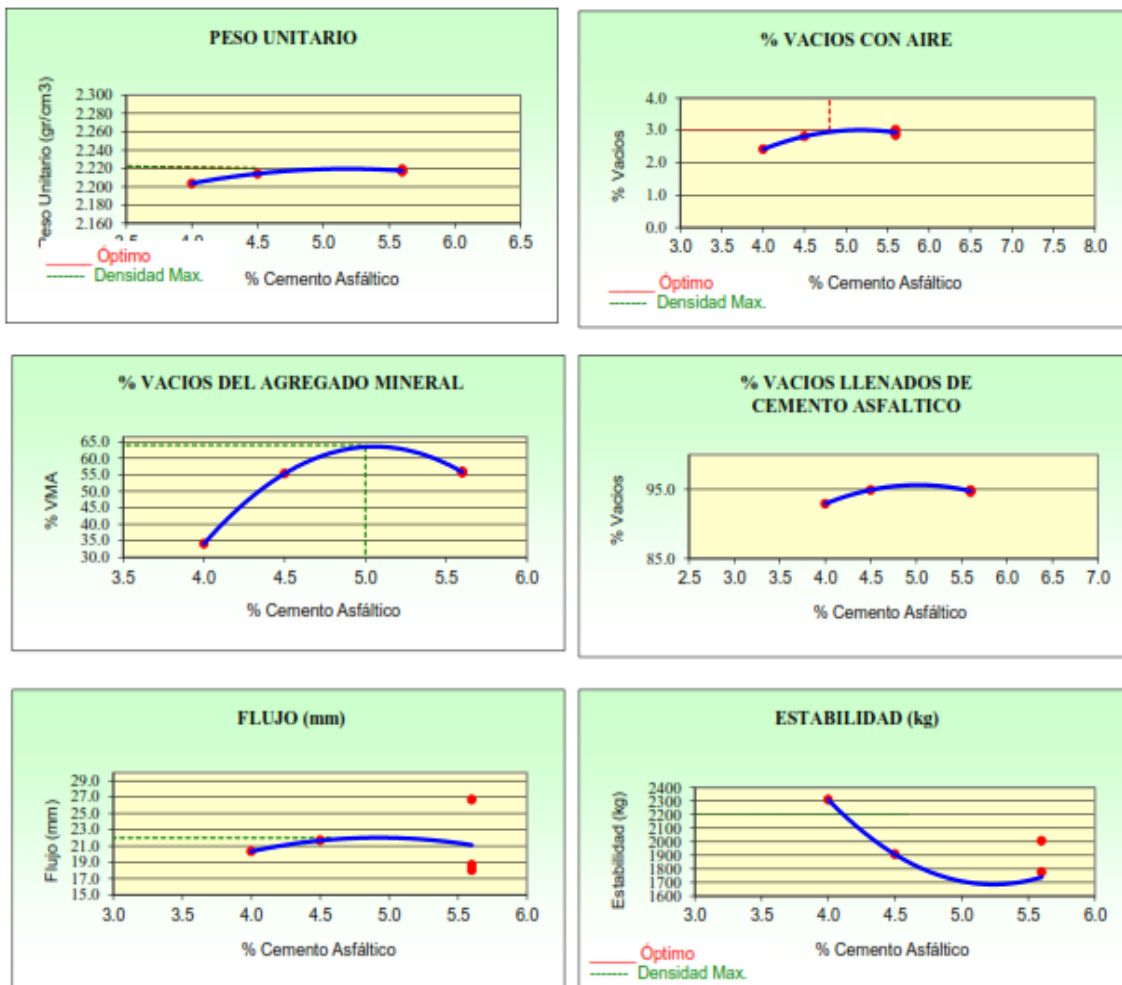
En el gráfico, el porcentaje de vacíos es de 2.6, teniendo una estabilidad de 2220 kg y logrando una relación de polvo asfalto de 0.92.

Tabla 8. Análisis de los resultados del diseño de mezcla con 5%RCD - %PEN



En la tabla 8, se obtuvo los resultados en el diseño de mezcla con adición de 5% de filler de RCD de concreto para todas las variaciones en porcentajes de cemento asfáltico, los cuales son: 4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6%., los datos obtenidos cumplen con la normativa, teniendo resultados más favorables en las variaciones de PEN de 4.5% y 5.5%.

Gráfico 4. Representación gráfica del diseño asfáltico con 5%RCD

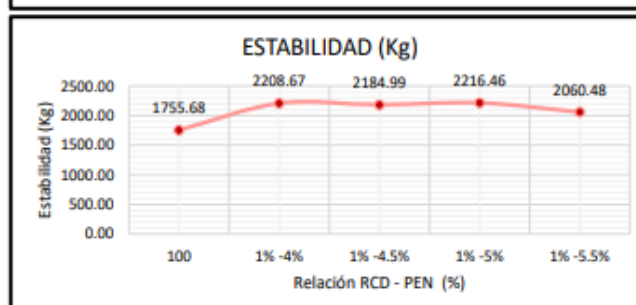
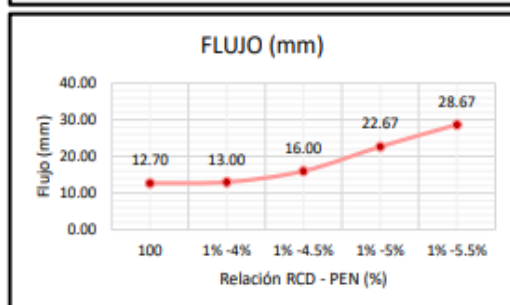
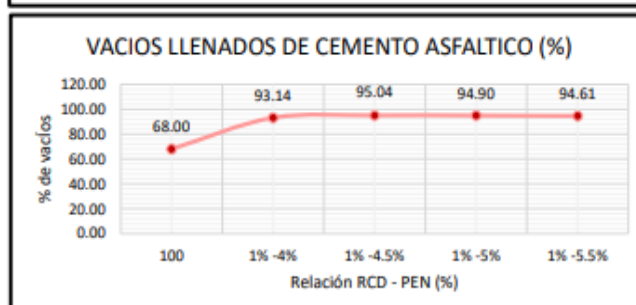
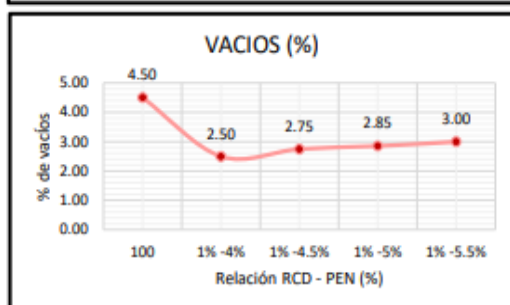
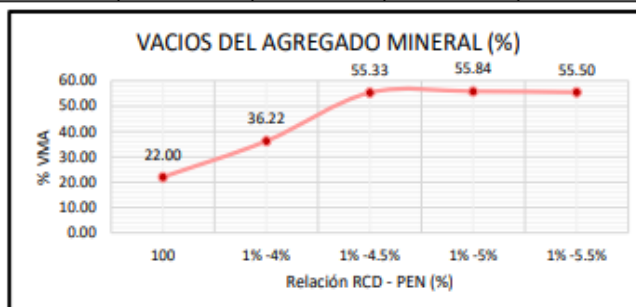


RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.0
Peso Unitario (gr/cm <sup>2</sup> )	2.230
Vacios (%)	3.00
Vacios del Agregado mineral (%)	64.00
Vacios Llenados de C.A (%)	96.00
Flujo (mm)	5.59
Estabilidad (Kg)	2300
Relación Polvo Asfalto	0.89

En el gráfico 4, el porcentaje de vacíos es de 3, teniendo una estabilidad de 2300 kg y logrando una relación de polvo asfalto de 0.89.

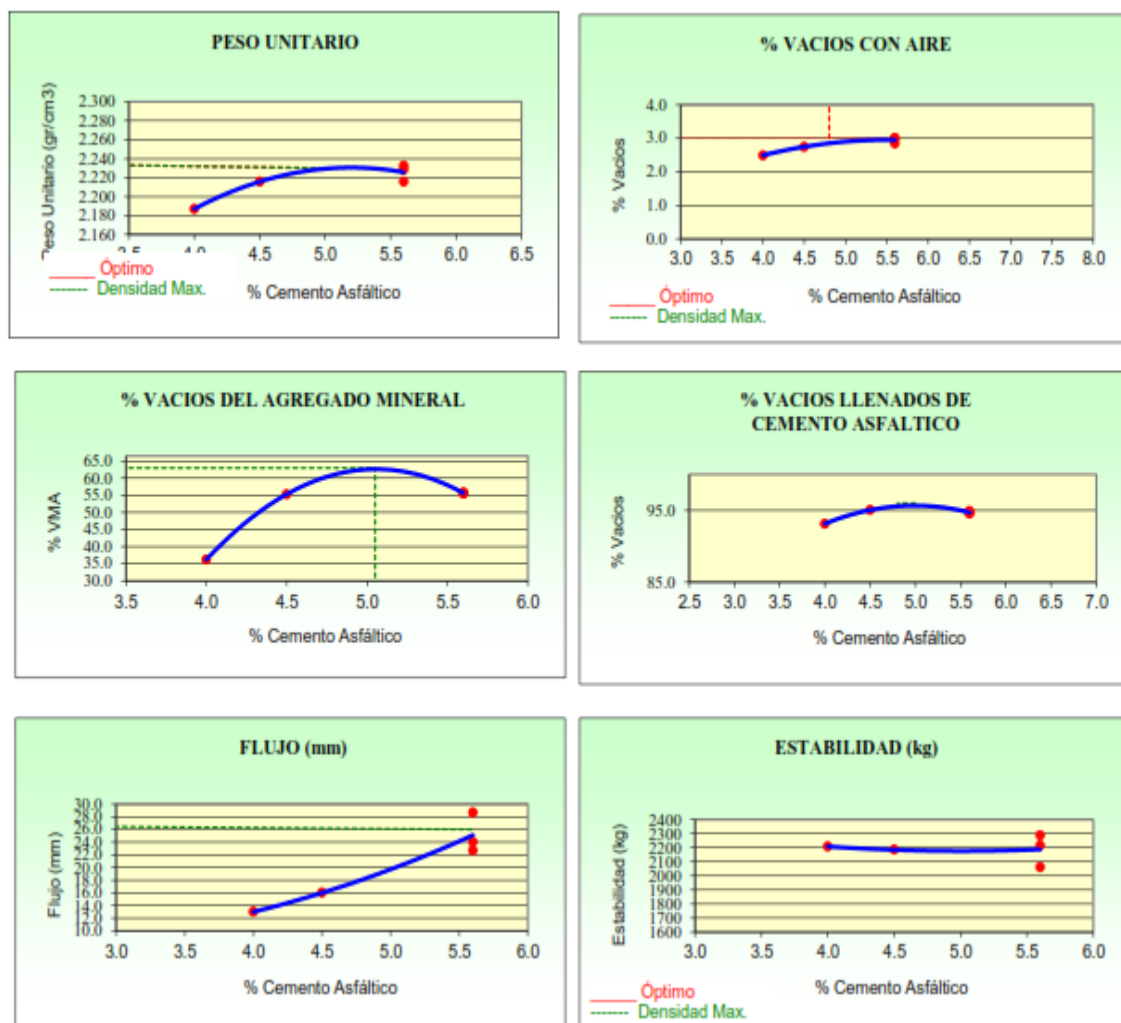
Tabla 9. Análisis de los resultados del diseño de mezcla con 7%RCD - %PEN

Relación Filler - PEN	RESULTADOS							
	Peso Unitario (gr/cm <sup>2</sup> )	Vacios (%)	Vacios del agregado Mineral (%)	Vacios Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo
100	2.28	4.50	22.00	68.00	12.70	1755.68	1.23	1809.22
1% -4%	2.19	2.50	36.22	93.14	13.00	2208.67	1.23	6708.03
1% -4.5%	2.22	2.75	55.33	95.04	16.00	2184.99	1.23	5510.74
1% -5%	2.22	2.85	55.84	94.90	22.67	2216.46	1.23	3855.23
1% -5.5%	2.23	3.00	55.50	94.61	28.67	2060.48	1.23	2836.81
1% -6%	2.23	3.01	55.59	94.60	24.00	2288.04	1.23	3863.21



En la tabla 9, los resultados obtenidos en el diseño de mezcla con adición de 3% de filler de RCD de concreto para todas las variaciones en porcentajes de cemento asfáltico, los cuales son: 4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6%., los datos obtenidos cumplen con la normativa, teniendo resultados más favorables en las variaciones de PEN de 4% y 4.5% para el flujo y 5% al 6% para los demás parámetros.

Gráfico 5. Representación gráfica del diseño asfáltico con 7%RCD



RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	4.8
Peso Unitario (gr/cm <sup>2</sup> )	2.240
Vacios (%)	3.00
Vacios del Agregado mineral (%)	63.00
Vacios Llenados de C.A (%)	96.00
Flujo (mm)	6.86
Estabilidad (Kg)	2300
Relación Polvo Asfalto	0.86

En el gráfico 5, el porcentaje de vacíos es de 3, teniendo una estabilidad de 2300 kg y logrando una relación de polvo asfalto de 0.86 siendo en menor valor de los análisis

Se realizó un cuadro comparativo de los ensayos obteniendo resultados como peso unitario, porcentajes de vacíos, vacíos del agregado mineral, vacíos llenos de C.A, flujo, estabilidad y relación polvo asfalto.

Tabla 10. Resultado de comparación del diseño asfáltico con el óptimo porcentaje

<b>COMPARACIÓN DEL DISEÑO ASFALTICO</b>					
<b>FILLER</b>	<b>1% CEMENTO</b>	<b>1% RCD</b>	<b>3% RCD</b>	<b>5% RCD</b>	<b>7% RCD</b>
<b>Óptimo Contenido C.A</b>	5.3	5.4	5.1	5.0	4.8
<b>Peso Unitario (gr/cm<sup>2</sup>)</b>	2230	2300	2300	2230	2240
<b>Vacios (%)</b>	3.00	2.80	2.60	3.00	3.00
<b>Vacios del Agr. Mineral (%)</b>	65.0	65.0	61.0	64.0	63.0
<b>Vacios llenos de C.A (%)</b>	95.0	95.0	95.0	96.0	96.0
<b>Flujo (mm)</b>	7.11	7.62	7.62	5.59	6.86
<b>Estabilidad (Kg)</b>	1500	1800	2200	2300	2300
<b>Relación Polvo Asfalto</b>	0.95	0.98	0.92	0.89	0.86

Se puede apreciar que el 1%RCD es el que más se asemeja a la mezcla asfáltica patrón y se encuentra dentro de los parámetros establecidos en la norma EG - 2013. Sin embargo, el porcentaje óptimo es del 5%RCD pues muestra resultados con mayor resistencia, al igual con los porcentajes obtenidos en [8] favorecen la estabilidad de las mezclas asfálticas.

## Conclusiones

- El uso de los residuos de construcción y demolición es una alternativa de solución ecológica para la sostenibilidad de la industria de la construcción a largo plazo para la reducción del impacto ambiental.
- De acuerdo a los ensayos realizados a los agregados ha logrado que el cemento asfáltico diseñado para climas cálidos tengo un PEN 60/70 cumpliendo con los requisitos del lugar de estudio.
- El RCD de concreto utilizado dentro de la mezcla asfáltica como filler, ha logrado cumplir con la finura y características que requiere la norma a través del tamizado y la máquina de Ángeles.
- De acuerdo al análisis con la metodología Marshall que se ha realizado de las adiciones de 1%, 3%, 5% y 7% de RCD de concreto y 1% de cemento, la adición que se asemeja a cumplir con los parámetros para lograr el óptimo contenido de asfalto según la Tabla 423-06 del EG-2013, es el 1%RCD de RCD de concreto y con el 5% de RCD de concreto solo se tiene mayor resistencia.
- Para los porcentajes de 1% de cemento, 5% y 7% de RCD de concreto cumplen con el porcentaje de vacíos de aire; para el 1% y 3% de RCD de concreto cuentan con mayor flujo de todas las adiciones, lo contrario pasa con el 5% de RCD de concreto que tiene la mayor estabilidad, en cuanto a la relación polvo-asfalto y vacíos de agregado mineral todos los porcentajes ensayados se encuentran dentro de los requisitos, según normativa del Manual de Carreteras.
- No todos los porcentajes de filler logran cumplir con las propiedades de las mezclas asfálticas, donde la estabilidad es unos de los resultados más favorables que se ha obtenido dando una gran resistencia al desplazamiento en las mezclas asfálticas.

## Referencias

- [1] J. Pastrana-Ayala, Y. Silva-Urrego, J. Adrada-Molano y . S. Delvasto-Arjona, «Propiedades físico-mecánicas de concretos autocompactantes producidos con polvo de residuo de concreto,» *Informador tecnico SENA: Servicio Nacional de Aprendizaje*, 2019.
- [2] Patricia Aparicio , Domingo Martína., Rocío Baya-Arenas y Vicente Flores-Alés, «Behaviour of concrete and cement in carbon dioxide sequestration by mineral carbonation processes,» *Ceramica y Vidrio*, 2022.
- [3] H. Maleki Toulabi, S. Azim Hossein y L. Haj Najaf, «Investigating the effect of using recycled waste concrete powder (RWCP) on the performance of thin layer surface treatment: Microsurfacing,» *Construction and Building Materials*, 2023.
- [4] P. Flores , M. Flores, Flores Victor, R. Torres y K. Mairon , «Mezclas asfálticas con materiales reciclados de construcción y demolición para la reparación de pavimentos,» *Revista de Ingeniería Civil ECORFAN-Perú*, 2020.
- [5] Y. Silva-Urrego y . S. Delvasto-Arjona, «Uso de residuos de construcción y demolición como material cementicio suplementario y agregado grueso reciclado en concretos autocompactantes,» *Informador Técnico* , 2021.
- [6] A. Gedik, «Una revisión sobre la evaluación del aprovechamiento potencial de residuos de construcción y demolición en pavimentos de mezcla asfáltica en caliente,» *Resources, Conservation and Recycling*, 2020.
- [7] Acevedo Agudelo, H. y Figueroa Álvarez, J., «Prácticas de circularidad en la gestión de residuos de construcción y demolición en la industria de la construcción: una revisión de la literatura sobre las estrategias y aspectos clave sobre su implementación,» *Informes de la Construcción*, 2023.
- [8] J. G. Bastidas-Martínez, H. A. Rondón-Quintana,, . L. Contreras-Zartha , S. Forero-Castaño y L. Rojas-Rozo, «Evaluación de una mezcla de concreto asfáltico con incorporación de agregados reciclados de concreto,» *Revista UIS Ingenierías*, 2021.
- [9] Bravo, J., Valderrama, C. y Ossio, F., «Cuantificación Económica de los Residuos de Construcción de una Edificación en Altura: Un Caso de Estudio,» *Información Tecnológica*, 2019.

- [10] Arroyo, P, Herrera, R., Salazar, L, Martínez, J. y Calahorra, M., «Un nuevo enfoque para integrar factores ambientales, sociales y económicos para evaluar mezclas asfálticas con y sin neumáticos de desecho,» *Revista Ingeniería de Construcción*, 2018.
- [11] Aleksandar Radevic, Aleksandar Đurekovic, Dimitrije Zakic y Goran Mladenovic´a, «Effects of recycled concrete aggregate on the stiffness and rolling resistance of asphalt concrete.,» *Construction and Building Materials*, 2017.
- [12] D. Acosta Alvarez, R. Moll Martínez y . G. González Guerra, «Influencia de la utilización del RCD como árido en mezclas asfálticas en caliente.,» *Revista Arquitectura e Ingeniería*, 2016.
- [13] Loaiza, A. y García, E., «Evaluación de asfalto mezclado con polvo de corteza y fibras residuales de coco para aplicaciones estructurales,» *Revista de la Construcción*, 2019.
- [14] Martínez, G., Caicedo, B, González, D., Fuentes, L. y Torres, V., «Trece años de desarrollo continuo en mezclas asfálticas modificadas con caucho granulado en Bogotá: logrando la sostenibilidad de los pavimentos,» *Revista Ingeniería de Construcción*, 2018.
- [15] C. U. ESPINO GONZÁLEZ,, C. LARA GÓMEZ, I. TRUJILLO CALDERÓN, E. TAFOLLA MARTÍNEZ y E. A. NUÑEZ GUZMÁN., «ELABORACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (CONCRETO HIDRÁULICO) EN UN 10% Y 20% COMO SUSTITUCIÓN DE AGREGADO PÉTREO NATURAL,» *XV Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y VII Congreso de Control de Calidad en la Construcción.*, 2019.
- [16] C. U. Espino González, W. Martínez Molina y E. M. Alonso Guzmán, H. L., «Elaboración de mezclas asfálticas en caliente con adición de residuos de construcción y demolición como sustitución de agregado pétreo natural,» *Ciencia Nicolaita*, 2023.
- [17] C. A. Pacheco Bustos, L. G. Fuentes Pumarejo, É. H. Sánchez Cotte y H. A. Rondón Quintana, «Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de

aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión,» *Ingeniería y Desarrollo*, 2017.

- [18] Guilian Zoua, unjie Zhanga, Xinhai Liub, Yi Lina y Huayang Yua, «Design and performance of emulsified asphalt mixtures containing construction and demolition waste,» *Construction and Building Materials*, 2020.
- [19] L. Mardones Parra, A. Calabi Floody, E. Sánchez Alonso y G. Valdés Vidal, «Evaluación de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con la incorporación de fibras sintéticas de aramida y polipropileno.,» *Infraestructura Vial*, vol. 20, 2018.