

# *Adición de pavimento de asfalto reciclado para evaluar la resistencia del hormigón en pavimentos rígidos*

# 7

*Recycled Asphalt Pavement Addition for Evaluating  
Concrete Strength in Rigid Pavements*

## **Autores**

---

**Marianela Delgado-Ponce**

Ing. Civil , Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil,

[marldp4@gmail.com](mailto:marldp4@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0007-3865-050X>

---

**Anadelys Alonso Aenlle**

Ing. Civil , Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echevarría

[anadelysaa@gmail.com](mailto:anadelysaa@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-2625-2129>

---

# Adición de pavimento de asfalto reciclado para evaluar la resistencia del hormigón en pavimentos rígidos

# 7

### RESUMEN

El uso desmedido de recursos naturales no renovables en la actividad vial, motiva a investigadores a buscar soluciones para atenuar su agotamiento, utilizando materiales reciclados a fin de mitigar la explotación. El Pavimento Asfáltico Recuperado (RAP), se ha convertido en un material prometedor, sostenible y económicamente viable a fin de ser empleado en pavimentos flexibles, bases y subbases; sin embargo, este no ha sido generalizado en pavimentos rígidos, el cual es utilizado ampliamente en carreteras y aeropuertos debido a su durabilidad. Este estudio tiene como objetivo obtener una mezcla de hormigón para pavimento rígido empleando RAP en sustitución de un porcentaje de la arena natural. Se evalúa un diseño de hormigón hidráulico de resistencia a la flexión de 4,0 MPa, con adición de RAP reemplazando un porcentaje del agregado fino (3%, 5%, 10%, 15% y 20%). Se realizan los ensayos de compresión a los cilindros y el ensayo a flexión a las vigas, con la finalidad de establecer el porcentaje óptimo que puede ser reemplazado sin que afecte la resistencia de diseño. Se concluye que el porcentaje de mejores resultados para que el diseño de hormigón hidráulico cumpla con los requisitos mínimos es de 3% de RAP. Se demuestra que, al reutilizar RAP, reducimos la cantidad de arena en la mezcla, mejorando la sostenibilidad en la producción de hormigón para pavimentos rígidos.

**Palabras claves:** Resistencia a la flexión, resistencia a la compresión, Pavimento Rígido, pavimento asfáltico recuperado.

### ABSTRACT

The excessive use of nonrenewable natural resources in road construction motivates researchers to seek solutions to mitigate their depletion by using recycled materials to mitigate their exploitation. Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) has emerged as a promising, sustainable, and economically viable material for use in flexible pavements, bases, and subbases; however, it has not been widely used in rigid pavements, which are widely used on highways and airports due to its durability. This study focuses on a concrete mix for rigid pavement using RAP to replace a percentage of natural sand. A hydraulic concrete design with a flexural strength of 4.0 MPa is evaluated, with the addition of RAP replacing a percentage of the fine aggregate (3%, 5%, 10%, 15%, and 20%). Compression tests are performed on cylinders and flexural tests are performed on beams to determine the optimal percentage that can be replaced without affecting the design strength. It is concluded that the percentage of best results for hydraulic concrete design to meet minimum requirements is 3% RAP. It is demonstrated that by reusing RAP, we reduce the amount of sand in the mix, improving the sustainability of concrete production for rigid pavements.

**Keywords:** Flexural strength, compressive strength, rigid pavement, reclaimed asphalt pavement.

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), el parque automotor tuvo un crecimiento exponencial promedio anual de 7,49%, siendo la provincia del Guayas la que mayor participación de incremento vehicular tiene en el país, alcanzando un 23,32% [2]; siendo ésta, una de las causas principales por las que el deterioro vial incrementa significativamente.

Santos Montero, D. A., & Solarte Vanegas, N. C., mencionan que el reciclaje de áridos se ha convertido en un tema muy importante en la industria de la construcción [3]. El agotamiento gradual de los recursos naturales, ha hecho que el uso de materiales reciclados en la industria de la construcción sea cada vez más importante, y una de las mejores alternativas es el uso de agregados reciclados [4].

La mayoría de los países utiliza el RAP como agregado en las mezclas asfálticas. Esto reduce la cantidad enviada al sitio de disposición final y minimiza el consumo de agregado natural, generando beneficios ambientales de corto plazo, así como otros beneficios que se derivan de su calidad y condiciones estructurales residuales. Todo esto ha dado como resultado una nueva alternativa de investigación para la producción de mezclas hidráulicas para la construcción de pavimentos rígidos [3].

De acuerdo a varios autores, quienes investigaron el uso de combinaciones de agregado RAP en hormigones, determinaron que las resistencias a la compresión y a la tracción del hormigón disminuyen a medida que aumenta el porcentaje de RAP [1]-[5], y en otras investigaciones como las de Okafor y Hossiney, Tia & Bergin, confirman dicha conclusión, esto se debe a la debilidad existente entre el hormigón hidráulico y el ligante asfáltico adherido al agregado [6]-[7]. Por lo que Murshed, concluyó que los hormigones que contienen RAP pueden calificar en aplicaciones tales como aceras, entradas de vehículos, bordillos y cunetas [1].

Por otro lado, Al-Oraimi, H.F. Hassan y A. Hago, en la investigación que realizaron sobre la adición de RAP en el hormigón, evaluaron mezclas de diferentes proporciones (25, 50, 75 y 100%), comparándolas con una mezcla de control, a fin de determinar y evaluar las variaciones en resistencia, llegando a la misma conclusión, menos RAP, mayor resistencia [8].

Es importante indicar que algunos estudios, muestran la correlación entre la resistencia a la compresión ( $f'c$ ), la cual se determina mediante una prueba uniaxial, ensayada mediante el método ASTM C 39 [9], teniendo como factor principal de influencia, la relación agua-cemento ( $a/c$ ), a diferencia de la resistencia a la flexión (MR), la cual es ensayada mediante el método ASTM C 78 [10], que permite determinar la carga máxima que puede soportar sin romperse, sin embargo estos autores han concluido que el ensayo a la compresión es uno de los métodos más indicados para calificar la calidad del concreto por ser un método más confiable y de menor incertidumbre, lo cual no es totalmente prescindible en la determinación del ensayo de módulo de rotura [3].

En la actualidad solo se han alcanzado resistencias fallidas, que no podrían ser utilizadas en pavimento rígido con alto tráfico o tráfico pesado, puesto que los porcentajes ensayados han sido superiores al 25% de proporciones utilizadas de RAP como agregado, por lo que no existe evidencia de que el RAP, sea utilizado para alcanzar resistencias más altas en porcentajes de menor proporción, es por esto que, se propone evaluar las resistencias a compresión y tracción de mezclas de hormigón hidráulico para pavimento rígido, con adición de RAP como agregado fino, en proporciones de 3%, 5%, 10%, 15% y 20%.

## 2. MATERIALES Y PROCEDIMIENTO

### 2.1. Materiales

Las características de la mezcla de hormigón para la ejecución de pavimentos rígidos, deben cumplir la norma NTE INEN 1 855-2:2002 [14], a modo de obtener con estos materiales, una mezcla fresca, que cumpla todas las condiciones del diseño del pavimento [11]. De manera general, las mezclas de hormigón hidráulico están compuestas por cemento, agregado fino, agregado grueso, agua, y en muchos casos aditivos, en proporciones que varían de acuerdo al diseño de mezcla de hormigón hidráulico que se quiera implementar.

#### 2.1.1. Cemento

Se utiliza el cemento Holcim Premium Tipo HE, que es un cemento de alta resistencia a la compresión (44,1 MPa a los 28 días), fabricado bajo la norma NTE INEN 2380 [14].

#### 2.1.2. Arena

Para este estudio la arena es proveniente del Río Bulubulu ubicado en la provincia del Guayas y Cañar. Esta debe cumplir los requisitos de la norma ASTM C33 [11]-[16].

### 2.1.3. Agregado Grueso

Para este estudio estos agregados serán provenientes de una cantera privada, que se dedica a la trituración de piedra en el Cerro Sabanilla de la Provincia del Guayas. Estos agregados son derivados de rocas ígneas, las cuales indican que existió actividad volcánica en la región en el pasado. Los agregados contienen piedra ¾" y piedra 3/8", así mismo debe cumplir los requisitos de la norma ASTM C33 [16]-[11].

### 2.1.4. Agua

El agua debe cumplir los límites determinados de acuerdo a las normas ASTM C1692 [17] y ASTM C1603 [18], indispensables para que la mezcla cumpla sus tiempos de fraguado y resistencia [11].

### 2.1.5. Aditivo

El aditivo superplastificante retardante de alto rendimiento utilizado es el POLYDEX-15R, que cumple la norma ASTM C-494 [11]- [19].

### 2.1.6. RAP

El RAP fue obtenido de las calles de la Ciudad de Guayaquil, a partir de la actividad de fresado que se desarrollaba en un proyecto municipal de la zona.

## 2.2. Ensayos Para Los Materiales A Utilizar En El Diseño

Con la finalidad de verificar que estos agregados cumplan con los requerimientos mínimos para que puedan ser parte del diseño, se les realiza el ensayo granulométrico por tamizado, de acuerdo a la norma ASTM C136 [20].

### 2.2.1. Agregado Grueso

Según el diseño, para esta mezcla de hormigón se va a utilizar piedra de ¾" y 3/8"; que de acuerdo a la Norma ASTM C136 [20], los datos para representar la curva granulométrica de estos agregados gruesos están dados en la tabla 1.

**Tabla 1-** Porcentajes para la piedra 3/8" y ¾" de acuerdo a la ASTM C136 [20].

Tamiz ASTM	Tamaño del tamiz (mm)	Tamaño Nominal Máximo del Agregado (19mm)		Tamaño Nominal Máximo del Agregado (19mm)	
		Piedra 3/8"		Piedra ¾"	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
1"	25	100	100	100	100
3/4"	19	100	90	100	90
1/2"	12,5	77,5	55	55	20
3/8"	9,5	55	20	15	0
No. 4	4,75	20	0	5	0
No. 8	2,36	10	0		
No. 16	1,18	5	0		

Siendo así, de acuerdo al ensayo realizado a la piedra 3/8" (Fig. 1), así como a la piedra ¾" (Fig. 2), se puede establecer que, este material cumple con los porcentajes, para poder ser parte del diseño.

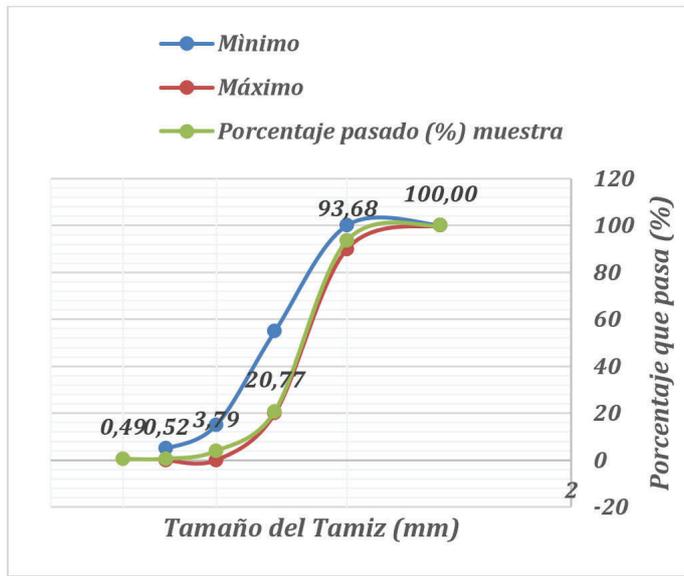
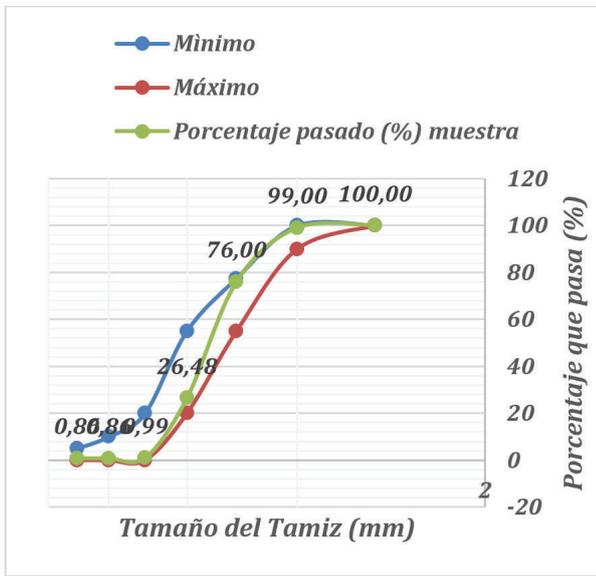


Fig. 1- Curva granulométrica de piedra 3/8".

Fig. 2- Curva granulométrica de piedra 3/4".

### 2.2.2. Agregado Fino

De acuerdo a la Norma ASTM C136 [20], los datos para representar la curva granulométrica de estos agregados gruesos están dados en la tabla 2.

Tabla 2- Porcentajes para el agregado fino de acuerdo a la ASTM C136 [20].

Tamiz ASTM	Tamaño del tamiz (mm)	Tamaño Nominal Máximo del Agregado (mm)	
		19mm	
		Mínimo	Máximo
1/2"	12,5		
3/8"	9,5	100	100
No. 4	4,75	95	100
No. 8	2,36	80	100
No. 16	1,18	50	85
No. 30	0,6	25	60
No. 50	0,3	10	30
No. 100	0,15	2	10
No. 200	0,075	-	-

Siendo así, de acuerdo al ensayo realizado a la arena, se puede establecer que, este material cumple con los porcentajes que debe tener un agregado fino, para poder ser parte del diseño.

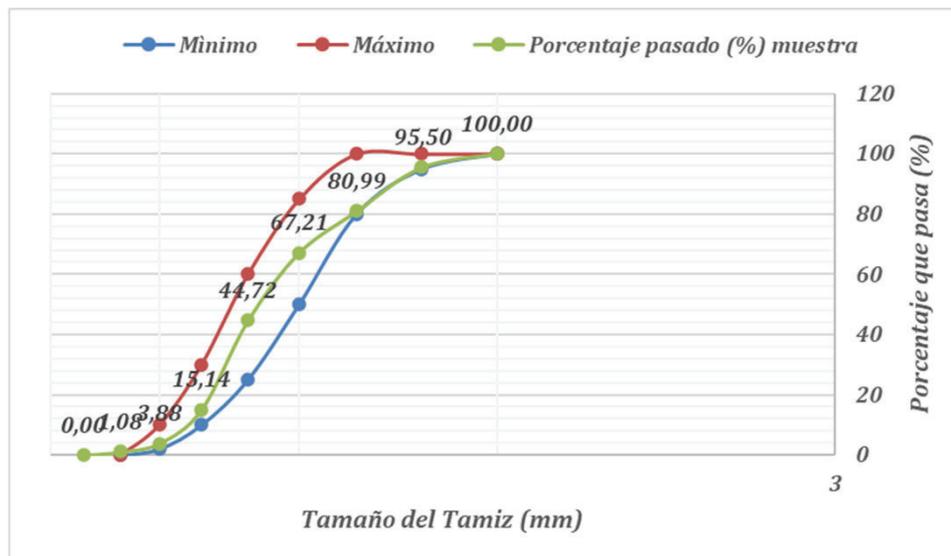


Fig. 3: Curva granulométrica de la arena.

Por otro lado, el ensayo también fue realizado al RAP, se tamiza en primera instancia para separar agregado fino y grueso; luego se procedió al ensayo para la determinación de la curva granulométrica para los finos del RAP, que al ser evaluado se determina que, este material cumple con los porcentajes que debe tener un agregado fino, para poder ser parte del diseño.

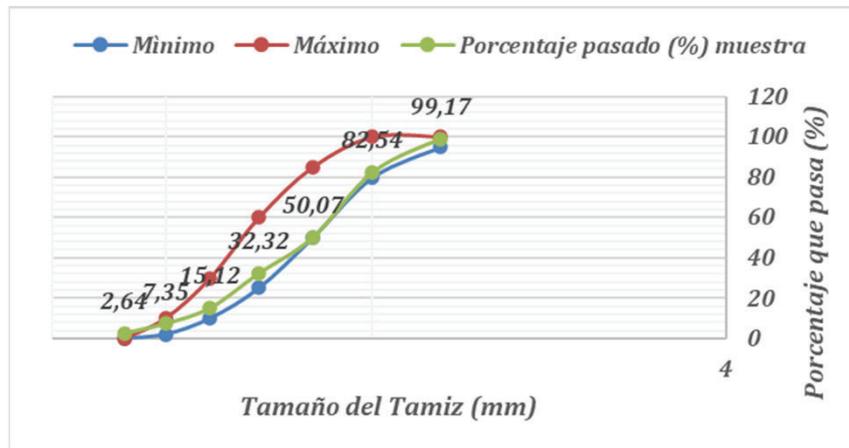


Fig. 4- Curva granulométrica del RAP.

### 2.3. Diseño De Las Mezclas De Hormigón

El hormigón es un material endeble que se obtiene al combinar cemento, agua, agregados finos, gruesos y, ocasionalmente, aditivos [13]. Para la dosificación, es importante conocer el efecto de la relación agua-cemento en la resistencia final del hormigón hidráulico, que es representada de acuerdo a la Fig. 5.

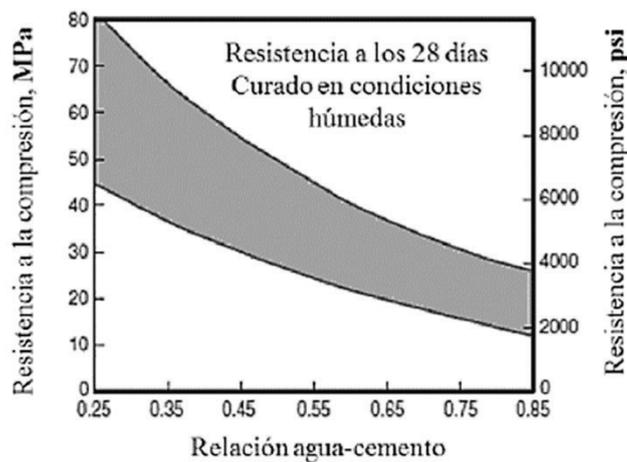


Fig. 5- Efecto de la relación agua-cemento con la resistencia a la compresión [13].

A fin de realizar una comparación, se trabaja con un diseño patrón otorgado por el laboratorio de la empresa ECUMIX S.A., quien brinda información para fines académicos.

Tabla 3- Diseños de la mezcla de hormigón – 18 kg

Materiales	Unidad	Diseño patrón (4,0 MPa)	3% RAP fino	5% RAP fino	10% RAP fino	15% RAP fino	20% RAP fino
Cemento	kg	6,48	6,48	6,48	6,48	6,48	6,48
Agua	kg	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
AG 3/4	kg	15,64	15,64	15,64	15,64	15,64	15,64
AG 3/8	kg	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92
Arena	kg	16,13	15,65	15,32	14,52	13,71	12,90
RAP	kg	0,00	0,48	0,81	1,61	2,42	3,23
Aditivo	g	64,80	64,80	64,80	64,80	64,80	64,80

A partir del diseño patrón, se realizan las modificaciones con diversas dosificaciones, adicionando RAP en sustitución del agregado fino (arena), en proporciones al 3%, 5%, 10%, 15% y 20%, con respecto al peso de la arena, como se muestra en la tabla 3.

### 2.3. Procedimiento De Diseño De Las Mezclas De Hormigón

El procedimiento para el diseño de las mezclas de hormigón de las diferentes proporciones de 3%, 5%, 10%, 15% y 20%, viene dado de acuerdo a lo mostrado en la tabla 3. De manera general el procedimiento para la mezcla de hormigón hidráulico con resistencia a la flexión de 4,0 MPa es la siguiente:

- Realizar la caracterización de los agregados.
- Pesar todos los materiales a ser utilizados para esta mezcla, de acuerdo al diseño de la tabla 3.
- Agregar los agregados gruesos y finos a la hormigonera.
- Adicionar un 40% del agua requerida para humedecer de manera uniforme los agregados.
- Una vez humedecido el material, se procede a colocar el cemento a la hormigonera y empezar a mezclar.
- Se debe agregar el agua y el aditivo proporcionalmente, para que la mezcla alcance el revenimiento necesario y poder muestrearla.
- Una vez lista, se procede con el vaciado de la mezcla en una carreta para poder realizar los ensayos respectivos.

La nomenclatura utilizada para el análisis de los objetos a ser ensayados es la siguiente:

**Tabla 4-** Nomenclatura para los diseños realizados

Nomenclatura	Detalle del Diseño
A	Diseño patrón
B	3% RAP Fino
C	5% RAP Fino
D	10% RAP Fino
E	15% RAP Fino
F	20% RAP Fino

La variación de los porcentajes a ser adiciones en la mezcla de hormigón hidráulico, permite ver el comportamiento de la resistencia a compresión y a flexión con el nuevo material a ser reemplazado, es importante ensayar todas las muestras de acuerdo a la nomenclatura dada mostrada en la tabla 4, para verificar que cumpla con la resistencia a flexión y compresión del diseño patrón, a fin de determinar que porcentaje máximo puede ser reemplazado.

Para iniciar el análisis, se realiza una prueba con la mezcla Patrón y así poder realizar una comparativa de las resistencias a flexión y compresión, de todas las muestras con las diferentes proporciones de RAP, en reemplazo de la arena.

## 3. ENSAYOS

### 3.1. Ensayo A Compresión

La resistencia a la compresión ( $f'c$ ) se determina mediante el ensayo de especímenes cilíndricos de hormigón, bajo la Norma ASTM C39 [9], los especímenes de un ensayo estándar están dados por cilindros de 150x300 mm o de 100x200 mm. Los cilindros elaborados luego de su vaciado y correcto curado, son sometidos a una fuerza de compresión en una máquina de ensayos [13]. Esta máquina aplica una fuerza constante hasta que alcanza su resistencia última. En la Fig. 2 se presenta la máquina ensayando uno de los especímenes.

Para la elaboración de los especímenes, se utiliza la norma ASTM C31 [12], que explica la correcta toma de especímenes para su previo curado.

Los resultados a obtener, comúnmente se ensayan a los 28 días. Sin embargo, se establecieron muestras para ensayar a los 7, 14 y 21 días de curado, para verificar la curva [13].



**Fig. 6-** Ensayo a compresión del hormigón

### 3.2. Ensayo Para Determinar La Resistencia A Flexión

La resistencia a flexión medida a través del módulo de rotura (MR), se determina mediante el ensayo de especímenes de hormigón, bajo la Norma ASTM C78 [10], los especímenes de un ensayo estándar están dados por vigas de 15x15x53 cm. Las vigas elaboradas luego de su vaciado y correcto curado, son sometidas a una fuerza de compresión en una máquina de ensayos, a la que se le aplica una fuerza perpendicular constante, hasta que la viga falle a tracción [13]. En la Fig. 3 se presenta la máquina ensayando uno de los especímenes.

Para la elaboración de los especímenes, se utiliza la norma ASTM C31 [12], que explica la correcta toma de especímenes para su previo curado.

Los resultados a obtener, deben tener un tiempo de endurecimiento de por lo menos 28 días [13] [10].



**Fig. 7-** Ensayo a través del módulo de rotura

## 4. RESULTADOS

Luego de haber sometido las muestras a la carga axial aplicada, a fin de obtener la resistencia última de los diseños realizados, se obtuvieron los valores representados en la Fig. 8.

## Curva de evolución de la resistencia a compresión de los diseños

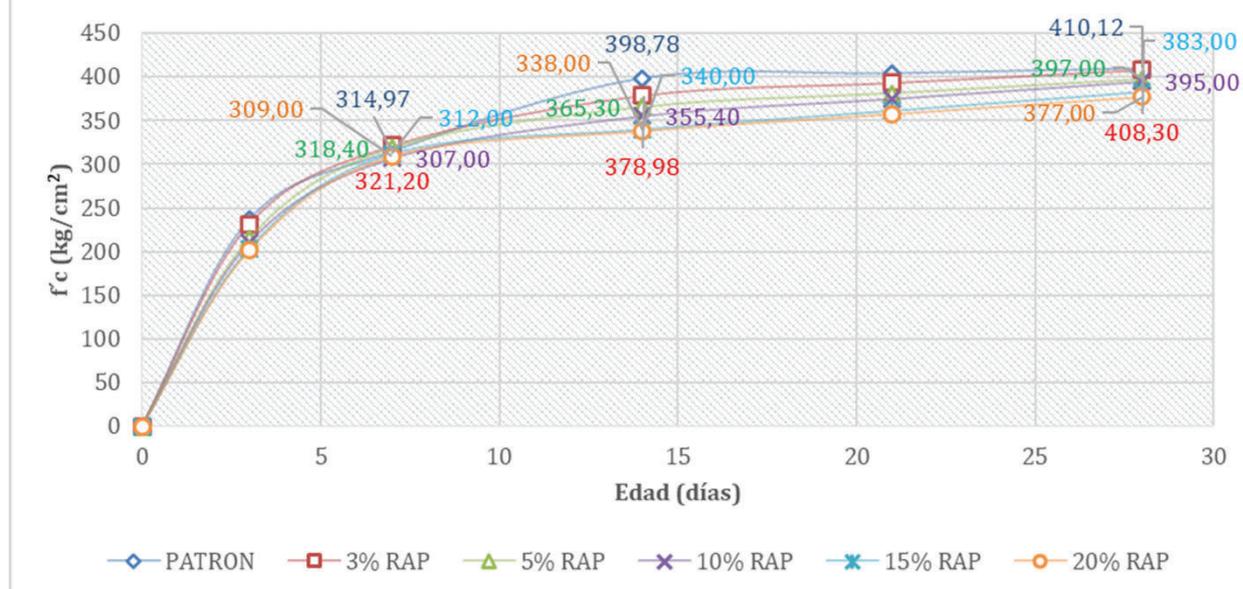


Fig. 8- Resistencia a compresión de los diseños ensayados.

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión ( $f'_c$ ), sirven para establecer el control de calidad, verificación de la mezcla de hormigón, o con la finalidad de especificar que la resistencia promedio sea superior a la resistencia del diseño de hormigón hidráulico al que se quiera llegar, de tal manera que se pueda mitigar el riesgo de que el pavimento falle, en este caso se requiere alcanzar resistencias para un hormigón de  $350\text{kg/cm}^2$ .

La Fig. 8, muestra la relación entre las resistencias a compresión versus las diferentes edades de los especímenes, luego de ser ensayado, por lo que, se puede evidenciar que la línea de tendencia hasta los primeros 7 días las resistencias de los diferentes diseños tienen resultados similares, a partir de este tiempo comienzan a verse diferencias para los 14 y 21 días, aunque para 28 días la diferencia vuelve a reducirse. A los 28 días solo superan los  $377\text{kg/cm}^2$  las mezclas Patrón y con 3% de RAP fino, aunque las mezclas con 5% y 10% tienen valores cercanos al de referencia ( $4\text{MPa}$ ). Las variaciones en la curva de evolución de las resistencias, disminuyen de manera general, conforme se adiciona RAP a la mezcla.

Las fisuras presentadas al realizar el ensayo a compresión denotan signos de aplastamiento de hormigón tal como se muestran en la Fig. 9, con comportamiento correcto de acuerdo a la carga uniaxial que es aplicada, si estas fisuras fuesen en direcciones que no sean verticales a la carga aplicada, denotarían fallos en la mezcla, ya sea por falta de adherencia entre los agregados, relación agua-cemento, entre otras, lo cual demuestra que pueden existir problemas de durabilidad; esto ocurre cuando los agregados implementados en la mezcla de hormigón hidráulico no se unen correctamente con el cemento, lo que puede provocar desprendimiento o fisuras



Fig. 9- Fisuración de especímenes.

Referente al ensayo a flexión realizado, a través del módulo de rotura, se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 5.

**Tabla 5-** Módulo de rotura de los diseños propuestos.

Nomenclatura	Detalle del Diseño	Módulo de Rotura
A	Diseño patrón	4,00 MPa
B	3% RAP Fino	4,12 MPa
C	5% RAP Fino	3,98 MPa
D	10% RAP Fino	3,30 MPa
E	15% RAP Fino	3,11 MPa
F	20% RAP Fino	2,65 MPa

Los resultados de la resistencia a flexión, tienen como objetivo verificar que el diseño cumpla con las propiedades mecánicas de los materiales, los cuales deben soportar la flexión bajo una fuerza externa, acotando que esto tiende a disminuir a medida que aumenta la temperatura del hormigón [10].

Aunque este ensayo no es considerado en la mayoría de los diseños, es importante establecer los valores de los esfuerzos en los que el hormigón se agrietará [13].

Para escoger un diseño, con adición de rap a la mezcla de hormigón hidráulico, es importante priorizar que la resistencia a compresión del hormigón y la capacidad para incrementar la resistencia a los esfuerzos de flexión cumplan con los valores establecidos de acuerdo al diseño de mezcla al que se quiera obtener, para este caso se requiere un hormigón hidráulico con resistencia a la flexión de 4,0 mpa, a fin de poder realizar una mezcla sostenible al utilizar materiales reciclados.

En la tabla 6, se puede evidenciar que a medida que se adiciona rap a la mezcla, esta baja su resistencia, con tendencia a fallar, por lo que no es recomendable utilizar más de un 3% de adición de rap como agregado fino en reemplazo de la arena. Al agregar este porcentaje máximo, se va a generar un ahorro en la producción de la mezcla de hormigón para pavimento rígido, ya que el agregado sería obtenido a un costo menor que el de la arena.

**Tabla 6-** indicador óptimo de acuerdo a diseños ensayados

Nomenclatura	Detalle del diseño	Resistencia a la flexión		Resistencia a la compresión		Indicadores resultados
		Resultado	Indicador	Resultado	Indicador	
A	Diseño patrón	4,00 MPa	= 4,0 MPa "Óptimo"	410,12 kg/cm <sup>2</sup>	> 400 kg/cm <sup>2</sup> "Muy Bueno"	Óptimo
B	3% RAP Fino	4,12 MPa	> 4,0 MPa "Muy Bueno"	408,30 kg/cm <sup>2</sup>	> 400 kg/cm <sup>2</sup> "Muy Bueno"	Muy Bueno
C	5% RAP Fino	3,98 MPa	< 4,0 MPa "Bueno"	397,00 kg/cm <sup>2</sup>	< 400 kg/cm <sup>2</sup> "Bueno"	Bueno
D	10% RAP Fino	3,30 MPa	< 3,5 MPa "Malo"	395,00 kg/cm <sup>2</sup>	< 400 kg/cm <sup>2</sup> "Bueno"	Bueno
E	15% RAP Fino	3,11 MPa	< 3,5 MPa "Malo"	383,00 kg/cm <sup>2</sup>	< 400 kg/cm <sup>2</sup> "Malo"	Malo
F	20% RAP Fino	2,65 MPa	< 3,5 MPa "Malo"	377,00 kg/cm <sup>2</sup>	< 400 kg/cm <sup>2</sup> "Malo"	Malo

La falla en la resistencia puede deberse a varios factores, algunos de estos, pudieron evidenciarse al momento de realizar las roturas de los especímenes, en el ensayo a compresión, entre estos esta la adherencia de los agregados al momento de elaborar la mezcla de hormigón, debido a que el RAP, posee un recubriendo mínimo de residuos de mezcla asfáltica, que puede mitigarse realizando el ensayo de abrasión de los ángeles como proceso adicional a los ensayos realizados en esta investigación, como fueron los ensayos de granulometría, de compresión y flexión, sin embargo dicho ensayo de abrasión, elevaría el costo de la mezcla y no sería rentable para los consumidores. De la misma manera la relación agua-cemento se vio influenciada ante la adición del RAP a la mezcla, debido a que el RAP, tiene propiedades antiadherentes que afectarían la trabajabilidad.

## 5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos de los especímenes ensayados, con respecto al resumen mostrado en la tabla 6, podemos determinar que el diseño que puede cumplir con los requisitos para que puede emplearse en un pavimento rígido es el "DISEÑO B" con adición de 3% de RAP.

El enfoque principal de incluir materiales reciclados en la mezcla de hormigón hidráulico, dio como resultado la adición de un porcentaje máximo de RAP, que analizando el impacto ambiental que ejerce la extracción minera para la obtención de áridos que son requeridos para la elaboración de la mezcla de hormigón, en comparación con la obtención del RAP, el cual no ejerce un impacto ambiental significativo; por lo que, esto resalta la sostenibilidad de adicionar este tipo de material a los diseños de hormigón.

Sin embargo, ante los resultados obtenidos, se podría indicar que estas mezclas de hormigón con adición de RAP, se pueden utilizar para vías peatonales ya que su resistencia debido al tráfico es menor, todo depende del diseño y de la funcionalidad que se requiera en una vía, por lo general, de acuerdo a las experiencias en el uso de hormigones para pavimentos adquirida en ejecución de obras, para vías de orden menor como las peatonal, utilizan hormigones de 280 kg/cm<sup>2</sup>, con su debida malla electrosoldada, u hormigones de 3,0 MPa, dependiendo de su funcionalidad; al limitar el uso de RAP, de acuerdo a los resultados obtenidos, su uso podría darse en aceras (210 kg/cm<sup>2</sup>) u hormigones que no requieran una mayor resistencia, con la finalidad de crear diseños de hormigones sostenibles.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a la empresas ECUMIX S.A., GEOCIMIENTOS S.A., INDUCTROC S.A. y CONSEES S.A. quienes fueron parte fundamental para la elaboración de este estudio, quienes aportaron con adquisición de los materiales y probetas para la elaboración de todos los especímenes para cada uno de los diseños a ser ensayados, así como también a la Escuela Superior Politécnica del Litoral, la facultad en Ciencias de la Tierra, quien permitió utilizar el laboratorio para realizar los ensayos a flexión, para obtener los resultados que enfatizan esta investigación.

1. Murshed, D., Fahmy, M. y Taha, R., "Uso de pavimento asfáltico recuperado como agregado en hormigón de cemento Portland", *ACI Materials Journal*, vol. 94(3), págs. 251-256, 1997. DOI: <https://doi.org/10.14359/306>
2. Instituto Nacional de Estadística y Censos, INEC. (Agosto de 2024). Boletín Técnico N° 01-2024-Transporte. Obtenido de Ecuador en Cifras: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/ESTRA/2023/2023\\_BOLETIN\\_ESTRA.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/ESTRA/2023/2023_BOLETIN_ESTRA.pdf)
3. Santos Montero, D. A., & Solarte Vanegas, N. C., "Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla de concreto hidráulico para pavimento rígido con la inclusión de hormigón asfáltico recuperado tipo "rap"", *Investigación E Innovación En Ingenierías*, vol. 5(1), págs. 36-59. 2017. <https://doi.org/10.17081/invinno.5.1.2615>
4. Singh, S., Ransinchung, G. D., & Kumar, P., "An economical processing technique to improve RAP inclusive concrete properties", *Construction and Building Materials*, vol. 148, págs. 734-747. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.030>
5. Abdel-Mohti, A., Shen, H., Khodair, Y., "Characteristics of self-consolidating concrete with RAP and SCM", *Construction and Building Materials*, vol. 102, págs. 564-573. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.11.007>
6. F.O. Okafor "Performance of Recycled Asphalt Pavement as Coarse Aggregate in Concrete," *Leonardo Electronic J. Prac. Techno.*, vol. 17, págs. 47-58, 2010. [http://lejpt.academicdirect.org/A17/047\\_058.pdf](http://lejpt.academicdirect.org/A17/047_058.pdf)
7. N. Hossiney, M. Tia, "Concrete Containing RAP for Use in Concrete Pavement," *Int. J. Pavement Res. Technol.* Vol. 3, págs. 251-258, 2010. <http://www.ijprt.org.tw/reader/pdf.php?id=120>
8. S. Al-Oraimi, H.F. Hassan and A. Hago. "Recycling of reclaimed asphalt pavement in Portland cement concrete". *J. Eng. Res.* Vol. 6, págs. 37-45, 2009. <http://dx.doi.org/10.24200/TJER.VOL6ISS1PP37-45>
9. American Society for Testing and Materials, ASTM C39/C39M-20. "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens", vol. 04.02. 2020. DOI: [https://doi.org/10.1520/C0039\\_C0039M-18](https://doi.org/10.1520/C0039_C0039M-18)
10. American Society for Testing and Materials, ASTM C78/C78M-22. "Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)", vol. 04.02. 2022. DOI: [https://doi.org/10.1520/C0078\\_C0078M-22](https://doi.org/10.1520/C0078_C0078M-22)
11. Instituto Bolivariano del Cemento y el Hormigón, "Manual de Construcción de Pavimentos Rígidos", Ministerio de Transporte y Obras Públicas, tomo 2. 2012. Obtenido de ministerio de transporte y obras públicas: [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/LOTAIP2015\\_tomo\\_2\\_normas.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/LOTAIP2015_tomo_2_normas.pdf)
12. American Society for Testing and Materials, ASTM C31/C31M-23. "Standard Test Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field", vol. 04.02. 2023. DOI: [https://doi.org/10.1520/C0031\\_C0031M-23](https://doi.org/10.1520/C0031_C0031M-23)
13. Montoya Vallecilla, J. O., "Elementos de concreto reforzado I". Colombia: Ediciones Unibagué. 2017. ISBN: 9789587542660, 9587542665.
14. Instituto Ecuatoriano de Normalización NTE INEN 1 855-2:2002, "Hormigones. Hormigón Preparado en Obra. Requisitos". Ecuador-Quito, Primera Edición, <https://apps.normalizacion.gob.ec/>
15. Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 2380:2011, "Cemento Hidráulico. Requisitos de Desempeño para Cementos Hidráulicos". Ecuador-Quito, Primera Edición, <https://apps.normalizacion.gob.ec/>
16. American Society for Testing and Materials, ASTM C33/C33M-16. "Standard Specification for Concrete Aggregates", vol. 04.02. 2020. DOI: 10.1520/C0033\_C0033M-16
17. American Society for Testing and Materials, C1692-11. "Standard Practice for Construction and Testing of Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Masonry", vol. 04.05. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1520/C1692-11>
18. American Society for Testing and Materials, ASTM C1603-23. "Standard Test Method for Measurement of Solids in Water", vol. 04.02. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1520/C1603-23>
19. American Society for Testing and Materials, ASTM C494/C494M-19e1. "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete", vol. 04.02. 2019. DOI: [https://doi.org/10.1520/C0494\\_C0494M-19E01](https://doi.org/10.1520/C0494_C0494M-19E01)
20. American Society for Testing and Materials, ASTM C136-06. "Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates", vol. 04.02. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1520/C0136-06>