

# Análisis de una base granular estabilizada con cemento y adición de fibras de PET reciclado

## Analysis of a cement-treated base with the addition of recycled PET fibers

**Mauricio Carballo Rojas**   
Universidad Latina de Costa Rica  
San José, Costa Rica  
mauriciocarballo Rojas@gmail.com

**Minor Murillo Chacón**   
Universidad Latina de Costa Rica  
San José, Costa Rica  
minor.murillo@ulatina.cr

**María Del Carmen Gallardo Mejía**   
Universidad Latina de Costa Rica  
San José, Costa Rica  
mariagallardo44@hotmail.com

**Fecha de recepción:** 23-04-2023 / **Fecha de aprobación:** 18-08-2023

## RESUMEN

La estabilización con cemento hidráulico de materiales granulares para bases y subbases, es un proceso muy utilizado en la construcción de pavimentos debido a sus grandes ventajas y aportes estructurales. En la actualidad, ha surgido la necesidad de desarrollar métodos constructivos novedosos que contribuyan a la sostenibilidad del medio ambiente y reduzcan los costos constructivos de la red vial. En este trabajo se analizaron dos materiales granulares diferentes, uno que cumple con las características solicitadas por la normativa costarricense (CR-2020) para ser considerado en la construcción de capas de base estabilizada y otro que no. En estos se agregaron distintos porcentajes de fibras sintéticas de tereftalato de polietileno (PET) reciclado para determinar si mediante esta adición se puede disminuir la cantidad del material cementante requerido, con el fin de reducir costos en el proceso constructivo de bases estabilizadas y, por otro lado, para analizar si es posible obtener las resistencias a la compresión mínimas requeridas por la normativa utilizando otro material granular que no está destinado para tal fin.

Utilizando diferentes porcentajes de cemento tipo MM/C (C-P)-28 con los dos materiales granulares, se fabricaron cilindros para una muestra patrón (sin PET) y también para muestras con varios porcentajes de adición de fibras recicladas de PET. A partir de una evaluación mecánica, se obtuvieron resultados positivos en los que se pudo observar que, mediante esta adición de fibras, se puede reducir la cantidad de material cementante inclusive por debajo del mínimo permitido por la normativa costarricense vigente (3 %) sin comprometer la resistencia a la compresión. Por ejemplo, durante la investigación se observó que al utilizar un 2,5 % de cemento en los materiales granulares con adición de fibras sintéticas de PET, se obtuvo una resistencia a la compresión promedio de 3,33 MPa, la cual se encuentra sobre el mínimo permitido de 3,0 MPa.

**Palabras clave:** base estabilizada, cemento hidráulico, fibras sintéticas, PET reciclado, resistencia a la compresión, próctor modificado.

## ABSTRACT

Stabilization of granular materials for bases and subbases with hydraulic cement is a process widely used in pavement construction due to its great advantages and structural contributions. Currently, the need has arisen to develop novel construction methods that contribute to environmental sustainability and reduce the construction costs of the road network. In this research, two different granular materials were analyzed, one that complies with the characteristics required by Costa Rican standard (CR-2020) to be considered in the construction of stabilized base layers, and other that doesn't. Different percentages of recycled polyethylene terephthalate (PET) synthetic fibers were added to these materials to determine whether the addition of PET can reduce the amount of cementitious material required in order to reduce costs in the construction process of stabilized bases, and, on the other hand, to analyze whether it is possible to obtain the minimum compressive strengths required by the standards by using another granular material that is not intended for that purpose.

Using different percentages of cement type MM/C (C-P)-28 with the two granular materials, cylinders were manufactured for a standard sample (without PET), and for samples with various percentages of recycled PET fibers. From a mechanical evaluation, positive results were obtained in which it was possible to observe that, through this addition of fibers, the amount of cementitious material can be reduced even below the minimum allowed by current Costa Rican standard (3 %) without compromising the compressive strength. For example, during the investigation it was observed that by using 2,5% cement in the granular materials with the addition of synthetic PET fibers, an average compressive strength of 3,33 MPa was obtained, which is above the minimum allowed of 3,0 MPa.

**Keywords:** stabilized base, hydraulic cement, synthetic fibers, recycled PET, compressive strength, modified proctor.

## Introducción

La ingeniería de pavimentos, como cualquier otra rama de la ingeniería civil, incluye un área de análisis y de exploración sumamente amplia que permite, a través de la investigación, el desarrollo de tecnologías constructivas que sean económicas, amigables con el medio ambiente y que brinden un óptimo desempeño bajo condiciones ambientales críticas. Contribuir al aumento de la seguridad, el confort y la economía en los costos de operación vehicular, han prevalecido como prioridades entre los diseñadores de pavimentos. Así mismo, en el área de conservación de carreteras, se trabaja constantemente en los pavimentos actuales, con el fin de prolongar su vida útil mediante el uso de metodologías modernas.

En Costa Rica, específicamente en el área de la ingeniería de pavimentos, se ha generalizado el uso de las bases estabilizadas con cemento hidráulico con el objetivo de incrementar la resistencia de materiales granulares con características granulométricas inferiores a las requeridas. El uso del cemento hidráulico en la estabilización de bases granulares ha mostrado varias ventajas, como la mejora de los índices de plasticidad y capacidad de soporte del suelo y los agregados, o inclusive la construcción de bases de altas resistencias con

altos módulos de resiliencia, colaborando en la mejora estructural del pavimento (Arce-Jiménez, 2011). Debido a que el país cuenta con un clima conflictivamente tropical y una gran cantidad de suelos limo-arcillosos, las constantes precipitaciones y los sistemas de drenaje deficientes provocan altos niveles freáticos (Herra, 2019). El uso de la estabilización con cemento ha tratado de disminuir la degradación de los materiales al convertir la base en un estrato impermeable de alta rigidez, ya que la presencia de humedad tiende a incrementar su plasticidad provocando deformaciones en la estructura del pavimento. Estas fallas inclusive podrían llegar a afectar de manera negativa la carpeta de rodamiento del pavimento (Vega-Quirós, 2014).

La industria de la construcción es una de las más contaminantes, razón por la cual es necesario trabajar en el desarrollo de técnicas y alternativas que contribuyan al impulso de la sostenibilidad como plan país. A nivel internacional, en el artículo titulado "Utilization of waste plastic bottles in asphalt mixture", publicado en *Journal of Engineering Science and Technology* de la Universidad Taylor de Malasia (Moghaddam *et al.*, 2013), se estudió acerca del uso del PET reciclado en mezclas asfálticas. Los resultados mostraron que los valores de estabilidad y flujo Marshall de la mezcla asfáltica

aumentaron al agregar una pequeña cantidad de PET, sin embargo, una mayor cantidad de plástico redujo los valores de rigidez y de gravedad específica de la muestra. En general, se concluyó que las mezclas con PET reciclado tenían menores valores de contenido óptimo de asfalto en comparación con las mezclas convencionales, lo cual reduciría la cantidad de material asfáltico a utilizar en los proyectos de construcción de carreteras.

De igual modo, en Colombia, se ha estudiado el uso del PET como aditivo y se ha establecido que este es un material muy resistente. Sus propiedades inertes permiten altas estabilidades y, gracias a su resistencia contra el ataque de microorganismos, este no reacciona químicamente con sustancias y no se degrada biológicamente. Dado a que este material es muy liviano y altamente reciclable, se convierte en una alternativa sustentable generando impactos positivos en los procesos de construcción (Arteaga, 2018). Asimismo, se han examinado las ventajas económicas que pueden generarse en la construcción de pavimentos con agregados plásticos en comparación con los pavimentos comunes para de esta manera poder aceptar la viabilidad de su uso (Monrroy y Pardo, 2020).

En este trabajo se planteó evaluar las resistencias a la compresión de bases granulares estabilizadas con cemento tipo MM/C (C-P)-28 y con adición de fibras de tereftalato de polietileno (PET) reciclado mediante la realización de ensayos de laboratorio tomando como referencias normativas vigentes nacionales e internacionales. Lo anterior, con el fin de estudiar si la implementación de un material plástico inerte puede aportar a la mejora de las características mecánicas de una base granular y al mismo tiempo impulsar una práctica constructiva que contribuya a la sostenibilidad.

## Metodología

Para la realización de los ensayos de laboratorio se realizó un total de 72 cilindros de mezcla para

base estabilizada con cemento tipo MM/C (C-P)-28 (cemento hidráulico modificado mixto con adición de caliza y puzolana de 36 % a 55 % y una resistencia de 28 MPa a los 28 días) basándose en tres factores principales: cumplimiento del material granular según lo dispuesto en el Manual de Especificaciones Generales (CR-2020), cantidad de cemento y cantidad de fibras de PET reciclado. Este arreglo de muestras se ejecutó como se describe a continuación.

Se utilizaron dos tipos de materiales granulares: uno que cumple con los requisitos establecidos para su uso en la construcción de bases estabilizadas con cemento según el CR-2020 (ver Cuadro 1) y otro que no cumple la normativa debido a sus características granulométricas. Esto último, con el fin de corroborar si mediante la adición de fibras de PET reciclado es posible obtener las resistencias establecidas en el manual utilizando un material que no cumple con la especificación.

Para cada uno de estos materiales se realizaron doce cilindros para tres diferentes porcentajes de cemento tipo MM/C (C-P)-28 (1,5 %, 2,5 % y 6 %), de los cuales solo uno de ellos (6 %) se encuentra dentro del rango

**Cuadro 1. Parámetros de diseño de las mezclas de agregado y cemento (MOPT, 2020)**

Material o propiedad	Requerimiento
Agregado	91 – 97 % <sup>(1)</sup>
Cemento hidráulico	3 – 9 % <sup>(1)</sup>
Resistencia promedio a la compresión inconfiada (falla 7 días), ASTM D1633, método A <sup>(2)</sup>	3,0 MPa

Notas:

<sup>(1)</sup> Por masa de la mezcla total seca

<sup>(2)</sup> Se deberán compactar los especímenes de acuerdo con la norma AASHTO T180 Método C (molde de 4 pulgadas, 5 capas, 25 golpes, mazo de 4,54 kg)

permitido según la tabla 302-01 del Manual de Especificaciones Generales CR-2020 (MOPT, 2020).

**Cuadro 2. Cantidad de cilindros moldeados para cada material utilizado**

Material	Cemento (%)	PET (%)	Probetas
Base 38 mm	1,5 / 2,5 / 6,0	0 / 0,2 / 0,4 / 0,6	36
Base 25 mm	1,5 / 2,5 / 6,0	0 / 0,2 / 0,4 / 0,6	36
Probetas totales			72

Los porcentajes de adición de las fibras de PET reciclado que se utilizaron fueron: 0 %, 0,2 %, 0,4 % y 0,6 %, los cuales se calcularon con base en el peso del material a compactar. Lo anterior con el fin de analizar la influencia de la implementación de las fibras sobre las características físico-mecánicas de la mezcla.

En resumen, para cada uno de los materiales granulares utilizados, se realizaron un total de 36 cilindros de mezcla de base granular estabilizada con cemento (ver Cuadro 2), los cuales se encuentran divididos en tres grupos de doce cilindros para cada porcentaje de cemento (1,5 %, 2,5 % y 6 %) y, a la vez, estos doce cilindros se encuentran divididos en subgrupos de tres cilindros para cada porcentaje de fibras sintéticas de PET reciclado (0 %, 0,2 %, 0,4 % y 0,6 %). De estos 36 cilindros, 24 se están realizando con porcentajes de cemento menores al mínimo requerido por el CR-2020. Esto con el fin de corroborar si la adición de fibras de PET permite obtener las resistencias mínimas de la normativa y así poder reducir costos constructivos mediante la reducción del contenido de cemento. En el Cuadro 3 se muestran los ensayos efectuados a las mezclas.

**Cuadro 3. Ensayos realizados a las mezclas**

Ensayo	Norma de referencia
Determinación del contenido de agua (humedad) del suelo y la roca en masa	ASTM D2216
Características de compactación de suelo utilizando esfuerzo modificado – Proctor modificado	ASTM D1557
Resistencia a compresión de cilindros moldeados de suelo cemento	ASTM D1633

## Características de los materiales

En primer lugar, se obtuvo el material Base 38 mm que cumple con los requisitos establecidos para su uso en la construcción de bases estabilizadas con cemento hidráulico según el CR-2020 y, en segundo lugar, se obtuvo el material Agremix, cuyo tamaño máximo del agregado es aproximadamente 25 mm (entiéndase de ahora en adelante Base 25 mm como Agremix) y es un material compuesto de agregados más finos que la Base 38 mm. Este no cumple con los requisitos granulométricos que estipula el CR-2020. En el Cuadro 4 se puede observar el análisis granulométrico de la Base 25 mm.

**Cuadro 4. Análisis granulométrico del Agremix (Agregados Guápiles S.A.)**

Análisis granulométrico		
INTE C46 (ASTM C 136)		
Tamices (mm)	Límites (% pasando)	
	Inferior	Superior
19 mm (3/4")	100	100
12,7 mm (1/2")	-	-
9,5 mm (3/8")	70	90
4,75 mm (# 4)	50	70
0,43 mm (# 40)	5	20
0,15 mm (# 100)	-	-
0,075 mm (# 200)	4,0	11,0

Las características granulométricas de la Base 25 mm no le permiten a este material ser considerado en la construcción de capas de base, ya que los tamaños de los triturados no cumplen con los requisitos establecidos en el CR-2020. A continuación, en el Cuadro 5 se muestran los requisitos granulométricos para bases a estabilizar con cemento que están dados en el CR-2020.

**Cuadro 5. Requisitos granulométricos para bases a estabilizar con cemento (MOPT, 2020)**

<b>Agregado nuevo (para capa nueva)</b>	
<b>Abertura de la malla</b>	<b>% pasando</b>
50 mm	100
19 mm	70 – 100 (± 6)
4,75 mm (Nº 4)	50 – 100 (± 6)
425 µm (Nº 40)	20 – 70 (± 4)
75 µm (Nº 200)	5 – 35 (± 3)

Como parte fundamental de esta investigación fue necesario obtener fibras sintéticas de PET reciclado para poder agregarlas en diferentes dosificaciones a las mezclas de base granular estabilizada con cemento. Sin embargo, después de una búsqueda exhaustiva se encontraron muy pocas empresas a nivel nacional que procesaran botellas plásticas de PET para su exportación y en ninguna de ellas se procesa el PET para producir fibras sintéticas, por lo que se decidió obtener las fibras a partir de un proceso de hilado de botellas de PET recicladas para mantener los objetivos y alcances de la investigación. Este proceso se realizó mediante la confección de una “máquina casera” que simulara la acción de un sacapuntas para así poder obtener hilos planos de plástico reciclado. Estos hilos se cortaron cada cierta distancia para elaborar las fibras de PET.

En el folleto técnico “Concreto reforzado con fibras” de la empresa Sika Perú S. A. se mencionan las dosificaciones frecuentes de macrofibras en mezclas de concreto, las cuales oscilan entre un 0,2 % a un 0,8 % del volumen de este. Así mismo, se describen las dimensiones más comunes de las macrofibras cuyos anchos pueden variar entre 0,05 mm a 2,00 mm y su relación L/a (largo/ancho) varía entre 20 a 100 (Sika, 2011).

Tomando como referencia dicho documento, se optó por utilizar tres porcentajes diferentes de macrofibras sintéticas de PET (0,2 %, 0,4 % y 0,6 %), calculados sobre el peso de la mezcla de cada uno de los cilindros (2700 g aproximadamente). Gracias a un proceso artesanal de hilado de botellas, se recortaron macrofibras sintéticas de PET con unas dimensiones promedio de 50 mm de largo y anchos entre 3 mm y 4 mm.

La compactación de los suelos para la conformación de los cilindros se realizó utilizando como referencia el Manual de Especificaciones Generales CR-2020 (MOPT, 2020). El proceso de compactación que se describe en la metodología de diseño para una base estabilizada está basado en la norma ASTM D1557, ya que se debe utilizar el Método B (que utiliza el molde de 100 mm), pero se debe variar el método de compactación de acuerdo con el Método C (que utiliza el mazo de 4,54 kg) de la misma normativa. Es decir, la compactación se debe realizar utilizando el molde del Proctor estándar, pero utilizando el peso del Proctor modificado.

## Resultados

### Determinación del contenido de humedad a utilizar en los ensayos

Teóricamente, en el ensayo de Proctor modificado se deben obtener valores de densidad seca y de humedad óptimos para cada una de las muestras, sin embargo, como el alcance de la investigación es analizar la influencia de la adición de las fibras de PET reciclado, se decidió mantener un solo valor de humedad para todas las dosificaciones utilizadas y únicamente variar el porcentaje de cemento tipo MM/C (C-P)-28 y la cantidad de fibras sintéticas. Lo anterior con la intención de obtener resultados completamente propios a las variaciones mencionadas y no al contenido de agua.

Para obtener el contenido de humedad general, se decidió utilizar el método directo por tacto conocido como “prueba del puño”, que consiste básicamente en comprimir una muestra del suelo con la mano e ir agregando agua hasta que el suelo mantenga su forma después de comprimirlo.

## Compactación de muestras de base estabilizada con cemento (Proctor modificado)

Una vez que se aproximó el contenido de humedad general de los dos materiales, se procedió a la elaboración de los 72 cilindros de mezcla de base estabilizada con cemento en sus 24 dosificaciones distintas en las que se varió el porcentaje de cemento en tres valores (1,5 %, 2,5 % y 6 %) y el porcentaje de fibras sintéticas de PET reciclado en cuatro valores (0 %, 0,2 %, 0,4 % y 0,6 %).

En la Figura 1 y la Figura 2 se puede apreciar una tendencia común de las densidades secas a

disminuir su valor justo después de haber agregado el primer porcentaje de fibras sintéticas de PET (0,2 %). A partir de este porcentaje se da una disminución de la densidad seca llegando hasta su valor más bajo. Conforme el porcentaje de fibras sintéticas de PET aumenta, la densidad seca disminuye. Esta tendencia a la disminución tiene un sentido lógico y razonable, pues las fibras sintéticas de PET tienen sus propias dimensiones y áreas que van a interferir en la densidad del cilindro. A un mayor porcentaje de fibras adicionadas va a surgir un mayor desplazamiento de los agregados de la base, generando así un pobre acomodo de los triturados en la mezcla.

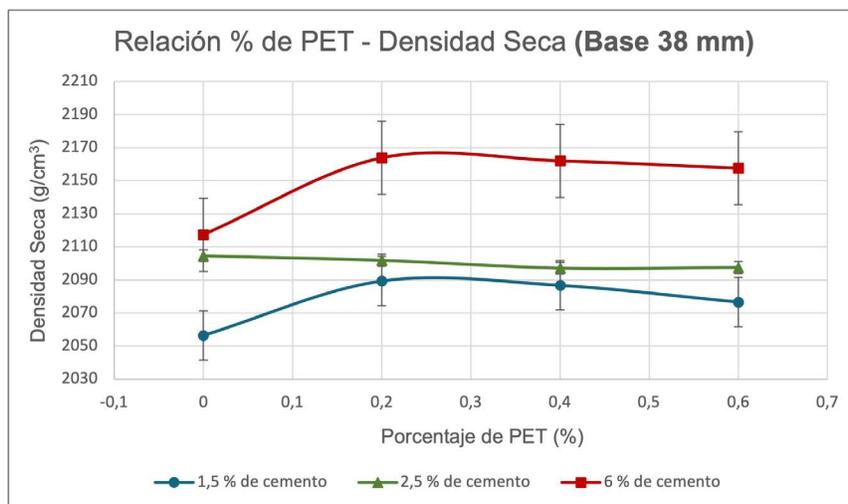


Figura 1. Relación % de PET – Densidad seca de la Base 38 mm

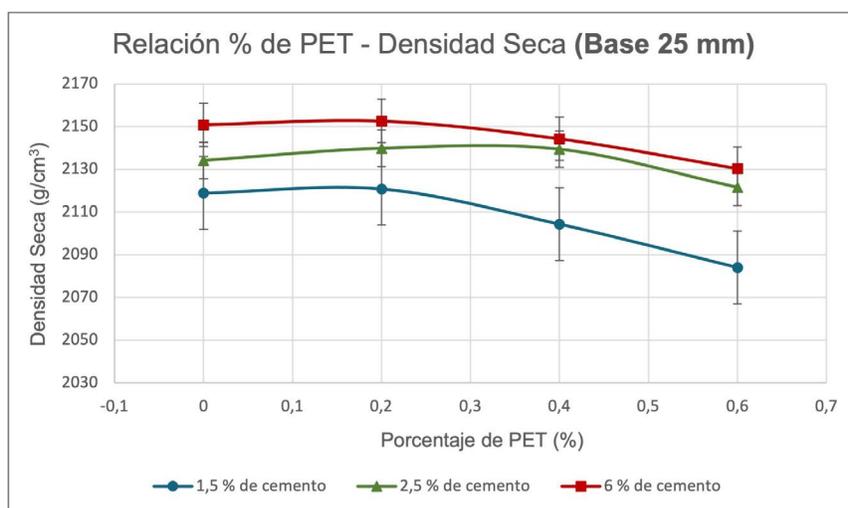


Figura 2. Relación % de PET – Densidad seca de la Base 25 mm

## Resistencia a la compresión de los cilindros

Se utilizó la norma ASTM D1633 para obtener la resistencia a la compresión de los cilindros de base estabilizada con cemento tipo MM/C (C-P)-28 y adición de fibras sintéticas de PET reciclado. Esto con el fin de determinar si a los 7 días de haber conformado los cilindros las muestras presentan resistencias iguales o mayores al promedio de 3 MPa que indica el Manual de Especificaciones Generales CR-2020 (MOPT, 2020). De la misma manera, mediante este ensayo se quiso analizar el comportamiento de las fibras de PET reciclado en conjunto con la mezcla al momento de aplicar fuerzas de compresión.

En la Figura 3 y en la Figura 4 se observa una tendencia común de las resistencias a aumentar su valor justo después de haber agregado el primer porcentaje de fibras sintéticas de PET (0,2 %). A partir de este porcentaje, la resistencia a la compresión aumenta. En la Base 38 mm este aumento fue más significativo en comparación con el del Base 25 mm; esto puede deberse a las características granulométricas de los materiales, así como a su naturaleza. Analizando el comportamiento de las resistencias a la compresión tanto de los cilindros conformados con Base 38 mm como con Base 25 mm, se logró evidenciar que la adición de fibras sintéticas de PET reciclado sí influye de manera positiva en las mezclas de base estabilizada con cemento diseñadas en esta investigación.

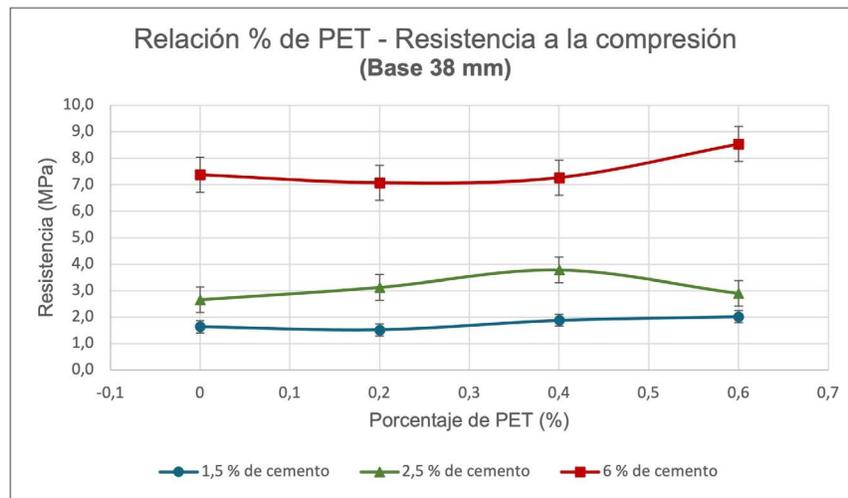


Figura 3. Relación % de PET – Resistencia a la compresión de la Base 38 mm

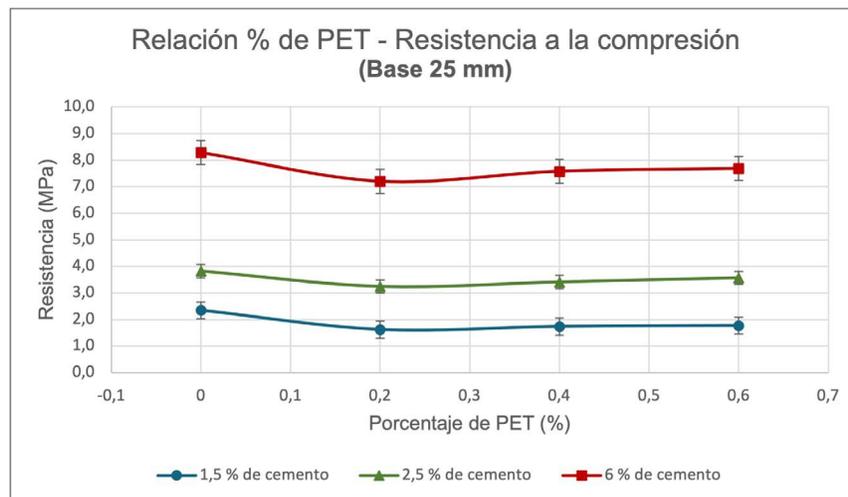


Figura 4. Relación % de PET – Resistencia a la compresión de la Base 25 mm

A pesar del incremento de las resistencias a la compresión observado en las dos mezclas estabilizadas con 1,5 % de cemento (Base 38 mm y 25 mm) y diferentes porcentajes de PET, no se logró obtener el valor mínimo de resistencia a la compresión (2,1 MPa) especificado en el Manual de Especificaciones Generales CR-2020 para una BE 25 (Base Estabilizada con cemento hidráulico con una resistencia promedio a la compresión de 30 kg/cm<sup>2</sup>). En las mezclas estabilizadas con 6 % de cemento, las resistencias obtenidas excedieron el máximo establecido por la normativa (3,9 MPa); situación que se esperaba que sucediera, pero que conscientemente se decidió utilizar con el fin de comparar líneas de tendencia.

Por otro lado, las resistencias a la compresión obtenidas para los dos materiales con 2,5 % de cemento sí cumplieron con los valores mínimos establecidos en el Manual de Especificaciones Generales CR-2020. Con estos resultados se pueden destacar dos puntos importantes del trabajo: en primer lugar, con los cilindros compactados de Base 38 mm, se demostró que, mediante la adición de fibras sintéticas de PET reciclado, sí es posible reducir el porcentaje de cemento tipo MM/C (C-P)-28 inclusive por debajo del mínimo permitido por la normativa sin que la capacidad de la base resulte afectada. En segundo lugar, con los cilindros compactados de Base 25 mm, se demostró que el uso de fibras sintéticas de PET reciclado mejora las características granulométricas de una base estabilizada con cemento tipo MM/C (C-P)-28 con agregados más finos que no son permitidos por la normativa.

## Conclusiones

Durante el desarrollo de este trabajo no se encontraron otras investigaciones en las que se utilicen fibras sintéticas de PET reciclado en bases estabilizadas con cemento. Al ser la presente una investigación novedosa, no fue posible comparar los resultados con datos de estudios similares. No obstante, se establecieron las siguientes conclusiones:

- Los cilindros moldeados con las dos bases (25 mm y 38 mm) y con una adición de 0,2 % de fibras mostraron los resultados más significativos, en los que se determinó un aumento máximo en el valor de la densidad seca de 47 kg/m<sup>3</sup> para la Base 38 mm y de 6 kg/m<sup>3</sup> para la Base 25 mm con respecto a los cilindros que no tenían fibras.
- Todas las mezclas con un contenido de 2,5 % de cemento tipo MM/C (C-P)-28 cumplen y exceden la resistencia mínima a la compresión (3 MPa) establecida en el CR-2020 y ejecutadas según la norma ASTM D1633.
- Los cilindros moldeados de Base 38 mm con 2,5 % de cemento y con 0,4 % de PET presentan una resistencia a la compresión máxima promedio de 3,8 MPa (equivalente a un aumento del 41 %), en comparación al valor de 2,7 MPa obtenido con los cilindros sin fibras.
- Los cilindros moldeados de Base 25 mm con 2,5 % de cemento y con 0,6 % de PET presentan una resistencia a la compresión máxima promedio de 3,6 MPa (equivalente a un aumento del 12,5 %), en comparación con el valor de 3,2 MPa obtenido con los cilindros con adición de fibras al 0,2 %.
- Los resultados obtenidos con los cilindros de Base 38 mm con 2,5 % de cemento, mostraron que sí es posible reducir el porcentaje de material cementante inclusive por debajo del mínimo especificado en la normativa costarricense (CR-2020, valor mínimo de 3 %), en este caso hasta un 0,5 % menos.
- Los resultados obtenidos con los cilindros de Base 25 mm con 2,5 % de cemento y con los tres porcentajes de adición de fibras (0,2 %, 0,4 % y 0,6 %) demostraron que la implementación de fibras sintéticas de PET permite obtener las resistencias mínimas requeridas (3 MPa) utilizando un material con características granulométricas no consideradas para la construcción de bases.

## Recomendaciones

- Investigar de manera exhaustiva del uso de materiales sintéticos como el tereftalato de polietileno en bases estabilizadas.
- Dar continuidad a esta investigación ampliando las variables estudiadas y profundizando en aspectos no considerados, como la determinación de humedad óptima para cada dosificación, ensayos de módulos de resiliencia y trabajabilidad de la mezcla *in situ* (escala natural).
- Realizar los ensayos de compresión en periodos de curado variables (3, 14 y/o 28 días), con el fin de analizar líneas de tendencia y comportamientos.
- Realizar más investigaciones en las que se determinen dosificaciones óptimas para así poder ejecutar un tramo experimental a escala natural en el que se estudie el comportamiento de las adiciones de fibras.

## Referencias

- Arce-Jiménez, M. (2011). Bases estabilizadas con cemento: Algunos comentarios sobre sus ventajas e inconvenientes. *Boletín Técnico: PITRA-LanammeUCR*, 2(19).
- Arteaga, J. F. (2018). *Análisis del comportamiento de la base – cemento para pavimentos con adición de residuos PET reciclados* (Tesis de grado). Bogotá, Universidad Católica de Colombia.
- Herra, D. (2019). *Bases estabilizadas con cemento y su importancia en el desarrollo vial costarricense*. Blog LanammeUCR. Recuperado de <https://bloglanammeucr.wordpress.com/2019/04/09/bases-estabilizadas-con-cemento-y-su-importancia-en-el-desarrollo-vial-costarricense/>
- MOPT (2020). *Manual de Especificaciones Generales para la Construcción De Carreteras, Caminos y Puentes (CR-2020)*. San José, Costa Rica: Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
- Monrroy, G. E., y Pardo, R. S. (2020). *Factibilidad de desarrollar pavimentos con plástico reciclado*. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI. <https://doi.org/10.26507/ponencia.853>
- Moghaddam, T. B., Karim, M. R., y Soltani, M. (2013). Utilization of waste plastic bottles in asphalt mixture. *Journal of Engineering Science and Technology*, 8(3), 264–271. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/436/1/012005>
- Sika (2011). *Sika informaciones técnicas: Concreto reforzado con fibras*. Lima, Perú: Sika Perú S.A. Recuperado de [https://per.sika.com/dms/getdocument.get/743731e6-f615-3cf1-96f6-f2ebfac98803/Concreto%20Reforzado%20con%20Fibras\\_Brochure.pdf](https://per.sika.com/dms/getdocument.get/743731e6-f615-3cf1-96f6-f2ebfac98803/Concreto%20Reforzado%20con%20Fibras_Brochure.pdf)
- Vega-Quirós, M. (2014). Variación de la resistencia de una subbase granular debido a la variación del contenido de finos plásticos en granulometrías controladas. *Infraestructura Vial*, 16(27), 36-43. <https://doi.org/10.15517/iv.v16i27.14558>

---

**Los contenidos de este documento, representan insumos dentro de un proceso de gestión del conocimiento que, por sí mismos, a priori, no constituyen una declaración de una normativa, procedimiento, criterio o herramienta oficial de acatamiento obligatorio en la gestión de proyectos de obra vial pública de Costa Rica, por parte del LanammeUCR. Cualquier posición oficial para Costa Rica sobre aspectos puntuales contemplados en este documento, se realizarán por los medios que corresponden, según los lineamientos de la Universidad de Costa Rica, de la Ley 8114 y su Reglamento al Art 6 (Decreto 37016 – MOPT).**