






# Double Recycled Asphalt Treatment as Subbase for Hydraulic Concrete Pavement

Davor Rodniery Melgar Argueta, Engineer<sup>1</sup>; Alberto Andreé Gutiérrez Arévalo, Engineer<sup>1</sup>;  
Julio César López Zerón, M.Sc<sup>1</sup>; Karla Antonia Uclés Brevé, M.Sc<sup>1</sup>; Fernanda de Lourdes Cáceres Lagos, M.Sc<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Tegucigalpa, Honduras; davormelgar@unitec.edu, aagutierrez00@unitec.edu, jclopezeron@unitec.edu, karla\_ucles@unitec.edu, fernanda.caceres@unitec.edu.hn

*Abstract– According to various consulted sources, the guidance from advisors, the on-site engineer of the Siguatepeque - Jesus de Otoro project, and knowledge gained in the field of transportation, double asphalt treatment has gained recognition in the Civil Engineering industry due to its benefits and effectiveness in enhancing the quality and durability of roads. These pavement works are prevalent on secondary roads with limited traffic, but like any structural work, they have a design service life. It is proven that durability is directly influenced by the local climate where they are constructed. Other parameters, such as material properties, traffic loads, increases in vehicular flow, subgrade characteristics, construction processes, moisture, among others, are also considered. Building upon the aforementioned, a problem has been identified in the double asphalt treatment pavement of the Siguatepeque - Jesus de Otoro Road, which, over time since its construction in 1993, has shown wear and tear, the emergence of potholes and cracks. Consequently, upon demolition, it will produce reclaimed asphalt pavement (RAP). This research work has been carried out to document the use of RAP as part of the subbase for replacing the existing pavement with hydraulic concrete. This required monitoring the RAP recycling process in the construction of the subbase using select materials stabilized with cement. The research approach is mixed as it includes the assessment of the current pavement condition, the pavement process, and characteristics such as field and laboratory tests provided by SERMACO, the company responsible for the pavement project.*

*Keywords – Potholes, Traffic loads, Demolition, Wear, Cracks, traffic flow, Waste.*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

# Doble Tratamiento Asfáltico Reciclado como Subbase para Pavimento de Concreto Hidráulico

Davor Rodniery Melgar Argueta, Ingeniero<sup>1</sup>; Alberto Andreé Gutiérrez Arévalo, Ingeniero<sup>1</sup>; Julio César López Zerón, M.Sc<sup>1</sup>; Karla Antonia Uclés Brevé, M.Sc<sup>1</sup>; Fernanda de Lourdes Cáceres Lagos, M.Sc<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Tegucigalpa, Honduras; davormelgar@unitec.edu, aagutierrez00@unitec.edu, jclopezeron@unitec.edu, karla\_ucles@unitec.edu, fernanda.caceres@unitec.edu.hn

**Resumen**– Según diversas fuentes consultadas, con la orientación de los asesores, el Ingeniero de obra del proyecto Siguatepeque - Jesús de Otoro y los conocimientos adquiridos en el campo del transporte, el doble tratamiento asfáltico ha ganado reconocimiento en la industria de la Ingeniería Civil por sus beneficios y eficacia para mejorar la calidad y durabilidad de las carreteras. Estas obras de pavimento prevalecen en vías secundarias con tránsito limitado, pero, como toda obra estructural, tienen una vida útil de diseño. Está comprobado que la durabilidad está directamente influenciada por el clima local donde se construyen. También se consideran otros parámetros, como propiedades de los materiales, cargas de tránsito, incrementos en el flujo vehicular, características de la subrasante, procesos constructivos, humedad, entre otros. A partir de lo anterior, se ha identificado una problemática en el pavimento de doble tratamiento asfáltico de la vía Siguatepeque - Jesús de Otoro, el cual, con el paso del tiempo, desde su construcción en 1993, ha presentado desgaste, aparición de baches y grietas. En consecuencia, tras su demolición, producirá pavimento asfáltico recuperado (RAP). Este trabajo de investigación se ha realizado para documentar el uso de RAP como parte de la subbase para el reemplazo del pavimento existente por concreto hidráulico. Para realizar este trabajo fue necesario monitorear el proceso de reciclaje de RAP en la construcción de la subbase utilizando materiales seleccionados estabilizados con cemento. El enfoque de la investigación es mixto, ya que incluye la evaluación del estado actual del pavimento, el proceso de pavimentación y características como pruebas de campo y laboratorio proporcionadas por SERMACO, empresa responsable del proyecto del pavimento.

**Palabras Clave** – Baches, Cargas de tráfico, Demolición, Desgaste, Grietas, flujo de tráfico, Residuos.

## I. INTRODUCCIÓN

Está demostrado que la durabilidad de los pavimentos asfálticos está influenciada directamente por el clima del lugar donde están ubicados. Además, se deben considerar otros parámetros como la magnitud y frecuencia de las cargas de tránsito, las propiedades de los materiales que lo conforman, las características de la subrasante, la humedad, el proceso constructivo, entre otros. Estos parámetros, en su conjunto, afectan sensiblemente el desempeño del pavimento y su potencial para desarrollar fallas por deformación permanente [1].

Desde el punto de vista mecanicista, existen dos tipos de falla principales en mezclas de concreto asfáltico, las cuales

son la deformación permanente y el agrietamiento por fatiga. En el caso de la deformación permanente esta se genera por la deformación plástica del concreto asfáltico o por deformación de la subrasante. Cuando a un material granular se le inducen ciclos de carga y descarga, parte de la deformación total ( $\xi_t$ ) que se genera es recuperada y se le conoce como la deformación resiliente ( $\xi_r$ ). Aquella deformación que no se recupera se acumula con cada repetición del ciclo y se le denomina deformación permanente ( $\xi_p$ ).

El reciclaje del doble tratamiento asfáltico es una técnica innovadora dentro del ámbito de la Ingeniería Civil, que busca aumentar la eficiencia en la reutilización de materiales asfálticos e implementar la sostenibilidad en la construcción y rehabilitación de carreteras. La metodología permite realizar en un solo proceso de reciclaje con la combinación de dos capas asfálticas, para aprovechar los materiales existentes y reducir la necesidad de utilizar nuevos recursos, debido a que la mezcla reciclada se coloca nuevamente sobre la carretera formando una nueva capa de pavimento que no solo ofrece durabilidad, sino que ofrece una resistencia comparable con las construcciones tradicionales, con la diferencia que provoca un menor impacto ambiental y minimiza los costos [2].

La utilización del Doble Tratamiento Asfáltico Reciclado como subbase en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico representa una estrategia de ingeniería de alto rendimiento y sostenibilidad. Este enfoque se caracteriza por su capacidad para optimizar la gestión de los recursos asfálticos, reduciendo la necesidad de nuevos materiales en la rehabilitación de carreteras y la construcción de nuevas infraestructuras viales [3].

Esta metodología implica la combinación y reciclaje de dos capas de asfalto en un único proceso, permitiendo el máximo aprovechamiento de los recursos disponibles. La mezcla reciclada se reutiliza como base para el pavimento de concreto hidráulico, proporcionando una durabilidad equiparable a las técnicas convencionales, pero con un impacto ambiental significativamente reducido y costos más eficientes [3].

En base a una entrevista realizada a un experto en el tema, en el caso de Honduras, se afirma que el tramo carretero “Siguatepeque – La Esperanza” fue construido de 1992 a 1993, pavimentado con doble tratamiento asfáltico porque no formaba parte de la red principal, además que se consideraba que tendría poco tránsito vehicular, mayormente liviano, pero, debido a la integración a la Ruta Lenca y al tipo de topografía,

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).  
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).  
DO NOT REMOVE

mayormente montañosa, la solución implementada de doble tratamiento ha sufrido un desgaste significativo con el tiempo, lo cual se ve reflejado a través del apareamiento de baches y grietas perceptibles.



Ilustración 1. Carretera Siguatepeque – La Esperanza

## II. SUSTENTO TEÓRICO

### A. Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP)

[4] menciona que buscando el objetivo de innovar y aumentar la sustentabilidad en el rubro de la construcción, desde hace varios años se han estado realizando estudios científicos relacionados con el concreto, y para este caso específico, la innovación consiste en recuperar el material resultante del fresado de capas asfálticas de un pavimento existente, lo cual técnicamente es denominado “*Pavimento Asfáltico Reciclado*” (RAP por sus siglas en inglés “*Reclaimed Asphalt Pavement*”), y de esa forma poder incorporarlo a una mezcla de concreto para ser utilizado principalmente en elementos no estructurales o pavimentos. Cabe mencionar que esta incorporación se realiza reemplazando un porcentaje de los agregados vírgenes de la mezcla por el agregado del RAP.

Cuando este material se recupera de forma paralela al afirmado existente en una estructura de pavimento flexible, de manera inmediata son incorporados ligantes hidráulicos, cementicos o asfálticos; y este procedimiento constructivo es conocido como “Reciclado”.

### B. Concreto Hidráulico Utilizando RAP

Se han realizado estudios que han coincidido que la adición del ligante asfáltico al RAP reduce la resistencia de concreto y también los análisis de dos proporciones diferentes de cemento, arena y resistencia a la compresión, con dosificación 1:2:4 y 1:3:6, y relaciones de agua/cemento de 0.50, 0.60 y 0.70, estas mezclas se analizan a compresión y flexión, las cuales entregan resultados que identifican que medida que aumentan el contenido de agua/cemento la resistencia a la compresión disminuye en un 4.2 MPa y 1.5 MPa para la relación agua/cemento de 0.50 y 0.70 [5].

Los estudios indican que la disminución de la resistencia en comparación con el concreto hidráulico convencional se atribuye a la debilidad en la unión entre el concreto hidráulico y el ligante asfáltico adherido al agregado. Asimismo, se observó que el agregado RAP presenta una menor gravedad específica y una menor absorción de agua en comparación con el agregado natural, debido a la presencia del ligante asfáltico.

Además, se comprobó que la resistencia a la compresión obtenida con el agregado RAP fue de 25 MPa, lo que demuestra que el RAP puede ser utilizado de manera efectiva en el concreto y podría ser una opción viable para generar agregados de resistencia media y baja [5].

Estudios más recientes se enfocaron en evaluar el módulo de elasticidad de una mezcla tratada con cemento, reciclado de pavimento asfáltico y agregados triturados. Para ello, llevaron a cabo ensayos de tracción indirecta, triaxial y de flexión.

En la primera etapa del estudio, realizaron una evaluación de muestras que contenían diferentes proporciones de RAP y agregado triturado. Estas muestras fueron sometidas a ensayos de resistencia a la compresión no confinada, resistencia a la tensión indirecta y módulo de elasticidad a la tensión indirecta. Se consideran varias variables, como el contenido de RAP (20% y 50%), el contenido de cemento (2%, 4% y 6%), y diferentes tiempos de curado (3, 7 y 14 días), esto de acuerdo con las recomendaciones del código ACI318 para disminuir la posibilidad de agrietamiento en el concreto.

La segunda etapa consiste en la evaluación de muestras mediante ensayos triaxiales y de flexión. Luego, se compararán los módulos obtenidos en estos ensayos bajo esfuerzos confinados.

Las investigaciones llegan a la conclusión de que la disminución de las resistencias está influenciada por la cantidad de cemento utilizada en la mezcla. Además, que tanto la resistencia como la rigidez aumentan cuando contenían cemento, especialmente con contenidos bajos de cemento (2% y 4%).

En cuanto al contenido de RAP, se ha demostrado que es posible utilizar este material para producir una base rígida, incluso cuando el contenido de RAP es alto. Esto se logra al tener el esfuerzo de compactación necesario para aumentar la resistencia y capacidad de carga, lo que permite compensar el menor uso de cemento y aprovechar los beneficios de ahorro y ventajas en la construcción [6].

### C. Efectos del Residuo de Concreto Asfáltico (RAP) en el Medio Ambiente

En los últimos años, el ámbito de la construcción ha experimentado un notable aumento en la actividad, lo que ha llevado consigo un incremento significativo en la producción de desechos provenientes, tanto de la construcción de infraestructuras, nuevas edificaciones y rehabilitaciones, como de la demolición de estructuras. En este contexto, no se establece una distinción entre las diversas clases de residuos, siendo todos ellos comúnmente, llamados "escombros o cascajo". Esta situación ha ocasionado que este tipo de residuos se convierta en una preocupación ambiental debido a la disposición inadecuada que suele resultar de la gran cantidad o volúmenes generados. Así mismo, se ha observado un aumento en la demanda de materiales de construcción, lo que ha conducido a la sobre explotación de los recursos naturales y la degradación del entorno [7].

La naturaleza y composición de los residuos de construcción y demolición experimentan variaciones en

función de la actividad específica llevada a cabo, abarcando desde la demolición de estructuras residenciales hasta remodelaciones, excavaciones de terrenos, construcción de edificios o la creación y mantenimiento de vías urbanas y carreteras. Dentro de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) se pueden identificar elementos como metales, vidrio, cartón, madera, asfaltos, concreto, ladrillos, cerámicos, residuos de fresado de asfalto, restos de tuberías, fibras de vidrio, entre otros [7].

Los RCD pueden ser altamente aprovechables mediante el adecuado tratamiento, encontrando aplicaciones en la construcción de pistas para peatones y en la sustitución parcial o total de los agregados pétreos utilizados en la producción de concreto no estructural. La reutilización y el reciclaje de los RCD a lo largo del ciclo de vida de edificaciones e infraestructuras se convierte en una estrategia esencial para lograr la sustentabilidad en este sector. En este contexto, estos residuos son considerados como materias primas que posibilitan la obtención de nuevos materiales con aplicabilidad en la industria de la construcción [7].

El objetivo de esta investigación es documentar el uso del residuo de concreto asfáltico, como subbase para la pavimentación de concreto hidráulico en la carretera Siguatepeque – La Esperanza con el propósito de establecer el procedimiento constructivo y determinar la eficiencia por medio de pruebas de campo y de laboratorio, basados en normativas y estándares para pavimentos.

En el marco de esta investigación, se detallará el proceso experimental para la eliminación de la capa de doble tratamiento asfáltico existente, que será sustituida por una superficie de concreto hidráulico. La subbase resultante estará compuesta por materiales selectos estabilizados con cemento y RAP, respaldados por un riego asfáltico para evitar la pérdida de finos. Además, la incorporación de RAP en la subbase servirá para reutilizar los recursos existentes y conferirle mayor rigidez al sistema, cumpliendo con estándares de calidad y sostenibilidad en la construcción de infraestructuras viales modernas. En la investigación se explicará el procedimiento a seguir para la demolición de la carpeta de doble tratamiento asfáltico, que será sustituida por concreto hidráulico, cuya subbase estará conformada con materiales selectos estabilizados con cemento y RAP, con un riego asfáltico para evitar la pérdida del fino, así como la utilización del RAP con el objetivo de reutilizar el material existente y generarle mayor rigidez a la subbase.

#### D. *Efectos del Residuo de Concreto Asfáltico (RAP) en la Economía de los Proyectos*

De acuerdo con [9], la utilización del RAP en mezclas puede generar ahorros económicos debido a la menor utilización de materias primas y ahorro en costos de disposición final. Varios estudios realizados han demostrado que esta técnica provoca una reducción significativa de costos.

Por ejemplo, [10] evaluaron el método de reciclado en frío para la rehabilitación de pavimentos de la ciudad de Cochabamba (Bolivia), mediante tres alternativas/soluciones

(Escarificado/remoción del pavimento existente, Saneamiento de la carpeta existente mediante el bacheo y curado de fisuras, y, por último, Fresado y reciclado en frío de pavimento asfáltico);

La metodología implementada por [10] para el análisis, consistió en la conformación de una matriz donde se interrelacionaron tres variables, entre las cuales estaba plazo, costo y trabajabilidad, obteniendo una mayor puntaje la tercera alternativa (fresado y reciclado en frío de pavimento asfáltico), que posee menor plazo de ejecución, debido al menor tiempo de rehabilitación y por tanto, se reduce la interrupción en las vías; desde el punto de vista ecológico, minimiza la extracción de materiales vírgenes debido a la utilización del 100% de residuos de la vía existente; así que en función de lo anterior esta alternativa de fresado y reciclado en frío presenta un menor costo. Siendo 36% más económica que la alternativa 1 (Escarificado del pavimento existente) y 9% menor que la alternativa 2 (Saneamiento de la carpeta existente mediante el bacheo y curado de fisuras).

Adicionalmente, [11] realizaron un estudio para valorar los costos y beneficios de la aplicación de mezclas asfálticas con diferentes contenidos de RAP, y en función de este propósito, se realizó sobre la información primaria obtenida de obras en ejecución y ejecutadas los últimos 5 años, ubicadas en CABA y Gran Buenos Aires (Argentina), donde emplearon RAP en porcentajes de hasta 20%. Y de acuerdo con dicho estudio, como resultado de los análisis de costos debidamente ejecutados, fue posible apreciar una tasa significativa de ahorro económico por causa del uso/implementación de RAP; por ejemplo, el estudio demostró un porcentaje de ahorro de 3.30% con 10% de RAP en la mezcla y 7.50% con 30% de RAP en la mezcla, esto en referencia a una mezcla base que no contenía ninguna incorporación de RAP.

### III. METODOLOGÍA

#### A. *Enfoque*

Desde el punto de vista que ofrece el enfoque mixto se utiliza la técnica de investigación en caso de estudio para profundizar el conocimiento acerca del doble tratamiento asfáltico reciclado como subbase para pavimentos de concreto hidráulico en la carretera Siguatepeque – La Esperanza.

Desde una perspectiva cualitativa, existe una diferencia al comparar el proceso de estabilización de subbase utilizando el doble tratamiento mezclado con cemento y realizar una estabilización de subbase convencional, en el primer proceso es necesario desarrollar el afinamiento en un máximo de 2 horas y, por otra parte, los tramos que se trabajan son de menor longitud.

Desde el punto de vista cuantitativo se estudian los resultados de ensayos de laboratorio que determinan la resistencia del suelo y otros factores que intervienen en el proceso.

### *B. Levantamiento de Información para los Análisis Previos*

La metodología de estudio para la investigación se inicia con un conjunto integral de análisis previos. Estos análisis engloban la evaluación exhaustiva del estado actual de la carretera, considerando aspectos como su deterioro, condiciones estructurales y funcionalidad. Además, se realiza un análisis detallado del tráfico vehicular para comprender las cargas y patrones de uso. Un estudio geotécnico se lleva a cabo para comprender las características del suelo subyacente y su impacto en la carretera. Paralelamente, se analizan los materiales utilizados, se diseña la mezcla asfáltica y se evalúa el balance costo-beneficio del proyecto. La consideración del impacto ambiental y la elaboración de un plan de ejecución sólido complementan estos análisis previos. Estos procesos iniciales sientan las bases para un enfoque integral y bien fundamentado en la rehabilitación de la carretera.

### *C. Levantamiento del Proceso de Escarificado del Material Existente*

Para este proceso se inician los trabajos de maquinaria, empezando con la recicladora de asfalto, máquina con la cual se tritura y mezcla la carpeta de doble tratamiento asfáltico existente con la base, posteriormente se identifican los puntos marcados por la topografía que indican si se realizarán cortes o rellenos con el mismo residuo del doble tratamiento asfáltico.

### *D. Levantamiento para el Análisis de Prueba de Carga*

La prueba de carga con volqueta es también conocida como prueba de carga dinámica, es una técnica utilizada para evaluar la capacidad de carga y resistencia de un pavimento.

Es necesario realizar una prueba de carga con una volqueta cargada de material selecto, sobre la capa de material existente nivelado para asegurar que el suelo no presente hundimientos, desplazamientos o exceso de humedad, de manera que permita cumplir con todas las especificaciones. En caso de que se presenten fallas, se procede a mejorar el suelo con materiales de base, es decir material selecto.

### *E. Levantamiento para la Mezcla del RAP con Suelo Estabilizado con Cemento*

Existen 2 métodos para la colocación de cemento, el primer método se lleva a cabo con un camión que lo esparce, únicamente se indica la cantidad de kilos de cemento que se requieren, el segundo método que se emplea es con bolsas de cemento colocadas por medio de personal humano, para este último método, el ingeniero Murillo afirma que en un tramo de 100 metros realizado con un diseño del 3% de cemento se utilizan 150 bolsas, mientras que con un diseño del 2% se utilizan 94 bolsas, en un tramo de 100 metros, las 150 bolsas se distribuyen en forma de cuadrícula que contiene 3 líneas longitudinales y 50 líneas horizontales, con una bolsa de cemento cada 2 metros en el tramo longitudinal, mientras que las bolsas ubicadas horizontalmente se colocan a 1.25 metros.

Luego del proceso de colocación de las bolsas de cemento, se procede a romperlas para posteriormente iniciar el trabajo de nivelación con la motoniveladora, el cual consiste en extender el cemento en toda la longitud del tramo y el ancho de la calzada, con el objetivo de cumplir con los niveles marcados por la topografía.

Luego de realizar el tendido del cemento, se vuelve a utilizar la recicladora, pero a diferencia del proceso de escarificación, en esta etapa va acoplada por un camión cisterna, con la finalidad de mezclar el material de la subbase y darle el grado de humedad necesario, generalmente la humedad óptima que se necesita es de 9.8, sin embargo, por las altas temperaturas que existen en sitio, se considera una humedad entre 11 y 12 debido a la rápida evaporación.

### *F. Levantamiento para el Afinamiento de la Subbase*

La obtención precisa de datos mediante pruebas de compactación y contenido de humedad es esencial para garantizar la efectividad y durabilidad de una carretera estabilizada con suelo cemento y RAP en la subbase. Estas pruebas proporcionan la base necesaria para asegurar que el pavimento cumpla con los estándares requeridos de calidad y resistencia. A continuación, exploraremos la importancia y los procedimientos clave de este levantamiento de información esencial.

Se llevaron a cabo dos ensayos de Proctor con el propósito de evaluar la compactación del terreno y su factibilidad para la construcción del tramo carretero. El primer ensayo empleó el 100% del material existente del terreno, mientras que el segundo combinó el 75% del material existente con un 25% de base elaborada por una empresa constructora, la cual incorpora agregados de río. A pesar de estas dos variantes, los resultados indicaron una diferencia mínima en términos de densidad máxima seca y humedad óptima, lo que respalda la viabilidad del proyecto de construcción en ambas condiciones.

Así mismo, se realizaron pruebas directamente en campo para identificar el porcentaje de compactación, a través de un densímetro.

### *G. Levantamiento para el Proceso de Imprimación*

La imprimación asfáltica es capaz de mejorar la adherencia entre las capas de asfalto porque impermeabiliza la superficie y proporciona una base sólida para la capa de revestimiento, además este proceso es empleado con el objetivo de sellar y proteger la estabilización por medio de suelo cemento.

En la imprimación se coloca una capa de emulsión asfáltica sobre el suelo cemento y sobre esta es necesario colocar una capa de arena de manera que permita secar la capa de asfalto, y de esta manera la capa alcance su periodo de curado toma de 3 a 4 días.



H. Carpeta de Concreto Hidráulico

Finalmente, se coloca la carpeta de concreto hidráulico siguiendo los pasos mostrados en el gráfico. Comenzando con la colocación de pasadores con varillas lisas de 5/8", en la subbase. Estos pasadores sirven como guías para futuros cortes en el concreto y ayudan a prevenir fisuras y agrietamientos. Se coloca el encofrado alrededor del área donde se verterá el concreto. El encofrado debe estar nivelado y correctamente alineado para garantizar que la carpeta de concreto tenga la forma y el grosor deseados. Se utiliza una pavimentadora para distribuir uniformemente el concreto sobre la subbase.

La pavimentadora ayuda a mantener un espesor constante y una superficie nivelada, donde es importante mencionar que el encofrado tiene que haber sido instalado correctamente, ya que este será el riel de la pavimentadora. Luego continúa el vertido de concreto con el apoyo de camiones mezcladores ("mixers") en la zona del encofrado. Se debe de humedecer el área para garantizar que el concreto se mezcle y adhiera adecuadamente, al mismo tiempo se utiliza un vibrador de concreto para asegurar que se distribuya de manera uniforme y para eliminar las burbujas de aire atrapadas. Se utiliza un aplanador o regla de aluminio para alisar y nivelar la superficie del concreto. Se aplica un agente de curado sobre la superficie del concreto para mantener la humedad durante el proceso de fraguado y mejorar la resistencia del concreto. Por último, se realizan cortes en el concreto para crear juntas. Estas juntas ayudan a controlar las fisuras al permitir que el concreto se expanda y contraiga de manera controlada debido a las variaciones de temperatura y humedad. El plan de trabajo es pavimentar 300 metros diarios lo que requiere utilizar entre 35 y 40 mixers al día, así mismo, en paralelo se están haciendo procedimientos de mejoramiento del drenaje en toda la carretera.

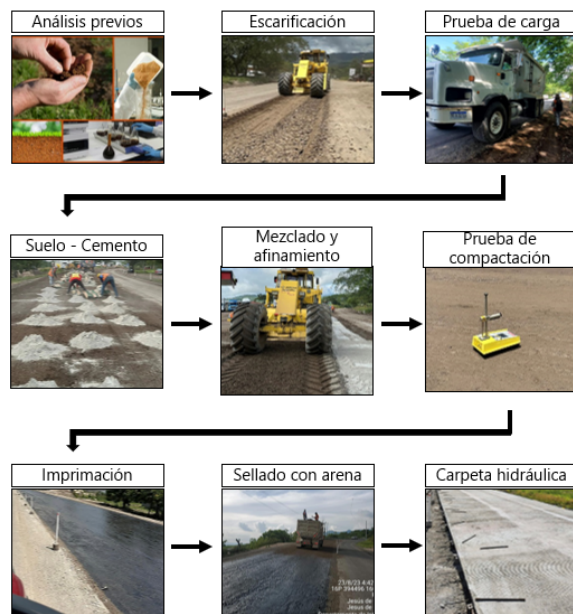


Ilustración 2. Proceso constructivo ilustrado

A. Efecto que Provocan los Residuos de Concreto Asfáltico en el Medio Ambiente

El reciclaje de residuo asfáltico mediante el uso de RAP como parte de la subbase para la pavimentación con concreto hidráulico tiene tanto ventajas como desventajas para el medio ambiente. Entre los efectos negativos se incluye la contaminación del suelo y el agua si los residuos de concreto asfáltico no se gestionan adecuadamente. Además, durante el proceso de reciclaje del RAP pueden liberarse gases contaminantes como compuestos orgánicos volátiles, lo que contribuye a la contaminación ambiental. El consumo de recursos energéticos también es una preocupación, ya que la trituración y el procesamiento del RAP requiere energía, lo que puede aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero si la fuente de energía no es renovable, cuyo caso aplica para este proyecto, debido a que se utiliza la recicladora de asfalto de motor diésel, máquina con la cual se tritura y mezcla la carpeta de doble tratamiento asfáltico existente con los materiales selectos.

Por otro lado, existen efectos positivos en el uso del RAP, lo que incluye la reducción de residuos de construcción y demolición de concreto asfáltico, lo que de no ser utilizados son depositados al aire libre lo que contamina los vertederos. Además, se protegen recursos naturales no renovables como los bancos de materiales selectos. En última instancia, esta práctica contribuye a mejorar la sostenibilidad en la construcción al utilizar recursos existentes de manera eficiente y efectiva.

B. Uso del RAP como Elemento de Subbase para Pavimentos de Concreto Hidráulico

El uso del RAP como elemento de la subbase para pavimentos de concreto hidráulico puede ofrecer beneficios significativos en términos de sostenibilidad, al proteger el medio ambiente y el uso de recursos naturales no renovables para generaciones futuras, sin embargo, el éxito depende de la calidad del RAP y los análisis previos necesarios para lograr cumplir con las especificaciones técnicas de diseño. En el proceso para la pavimentación de la carretera Siguatepeque – Jesús De Otoro se logró el objetivo de utilizar el residuo del doble tratamiento asfáltico existente al ser mezclado con suelo cemento, lo que de acuerdo con el Ing. Murillo (2023) de la empresa SERMACO (constructora del proyecto), al ser mezclados aportarán rigidez y durabilidad, lo que se traducirá en un menor número de intervenciones de mantenimiento correctivo y cumpla con la vida útil de diseño, que generalmente es de 20 años antes de requerir una intervención mayor.

C. Factores por tomar en cuenta para Sustituir el Doble Tratamiento Asfáltico por Pavimento de Concreto Hidráulico

Se ha identificado por medio de entrevistas de campo que la decisión de sustituir el doble tratamiento asfáltico de la carretera Siguatepeque – Jesús de Otoro por pavimento de

concreto hidráulico se basó en la evaluación de factores como volumen de tráfico, tipo de suelo, impacto ambiental, Durabilidad y mantenimiento.

Según expertos nacionales, para cada factor se debe considerar:

- *Volumen de tráfico:* El proyecto carretero es transitado por todo tipo de vehículos, livianos y pesados ya que conduce a zonas cafetaleras, productoras de hortalizas, así como vehículos de transporte público, por lo que el concreto hidráulico es una mejor opción que el doble tratamiento asfáltico.
- *Tipo de suelo:* El tipo de suelo puede influir en la elección del tipo de pavimento, debido a que algunos tipos de suelos pueden requerir preparación especial antes de verter concreto, sin embargo, de acuerdo con los expertos el tipo de suelo del proyecto es apto para ambos tipos de pavimentos.
- *Impacto ambiental:* El tipo de suelo puede influir en la elección del tipo de pavimento, debido a que algunos tipos de suelos pueden requerir preparación especial antes de verter concreto, sin embargo, el tipo de suelo del proyecto es apto para ambos tipos de pavimentos.
- *Durabilidad:* Según estudios realizados en el área de Ingeniería Civil, el concreto hidráulico tiende a tener una mayor vida útil en comparación con el doble tratamiento asfáltico, debido a que las fallas por filtración de agua son menores, por lo tanto, la superficie de rodadura es más durable.
- *Mantenimiento:* De acuerdo con las fuentes consultadas el concreto hidráulico requiere menos intervenciones de mantenimiento preventivo y correctivo, lo que reduce los costos relacionados con estas actividades necesarias para prolongar la vida útil de la estructura.

#### *D. Análisis de Campo y Laboratorio para Controlar la Calidad de la Subbase con RAP para Pavimento de Concreto Hidráulico.*

Cada proceso conlleva la verificación por parte de la supervisión del cumplimiento de las especificaciones técnicas, para lo que se llevan a cabo tanto pruebas in situ como de laboratorio, tales como ensayo para determinar la densidad por medio de un densímetro y prueba de carga.

El método que se utilizó para determinar la densidad del suelo en la carretera Siguatepeque – Jesús de Otoro, es por medio del densímetro, no obstante, también existe otro método llamado cono de arena, aunque ambos métodos tienen como objetivo determinar la densidad y humedad de un suelo, poseen diferencias.

Según [8] el densímetro tiene como objetivo determinar la densidad in situ de un suelo, es útil para evaluar la compactación de suelos ya colocados en una obra de construcción. Se puede utilizar en una variedad de tipos de suelos, incluyendo suelos cohesivos y suelos granulares. La norma ASTM D854-14 "Standard Test Methods for specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer" establece los

procedimientos y especificaciones para la prueba de densímetro en suelos.

Para controlar la calidad de la subbase con RAP para pavimento con concreto hidráulico en la carretera se realizaron pruebas de carga con volqueta. Esta es realizada para evaluar la capacidad de carga y la estabilidad la subbase de la carretera. Para llevar a cabo la prueba es necesario preparar el lugar, cargar la volqueta para posteriormente colocarlo en la zona que se desea estudiar, de manera que permita registrar las deformaciones y finalmente analizar los datos obtenidos.

La norma que establece las regulaciones y especificaciones para esta prueba corresponde al estándar ASTM D1196.

#### *E. Ventajas y Desventajas al utilizar el Residuo Asfáltico en la Subbase para un Pavimento de Concreto Hidráulico*

El uso del residuo asfáltico como subbase para un concreto hidráulico puede ser una opción viable en ciertas situaciones, pero como todo procedimiento tiene sus ventajas y desventajas, que deben ser analizadas para trabajar con este tipo de procesos.

Dentro de las ventajas es posible mencionar:

- 1) *Reciclaje de materiales:* Porque el uso de residuo asfáltico como subbase puede ser una forma efectiva de reciclar materiales y reducir la cantidad de desechos en vertederos.
- 2) *Costo potencialmente menor:* Debido a que el uso del residuo asfáltico resulta más económico que la adquisición de materiales nuevos para la subbase, por factores como el transporte, el residuo está in situ, mientras que materiales como agregados no, además el residuo asfáltico se utiliza con el fin de reducir costos.
- 3) *Compacidad:* Ya que el residuo asfáltico compactado puede proporcionar una superficie sólida ayudando a prevenir el asentamiento diferencial y mejorar la estabilidad de la subbase.
- 4) *Facilidad de trabajo:* Porque la reutilización del residuo asfáltico puede ser más rápida de implementar en comparación con la extracción y disposición de materiales no reciclados.

Dentro de las desventajas se pueden mencionar:

- 1) *Compatibilidad:* Porque es importante asegurarse que el residuo asfáltico reciclado sea compatible con el concreto hidráulico, porque la presencia de contaminantes en el residuo asfáltico puede afectar negativamente la adherencia y la resistencia del concreto.
- 2) *Drenaje:* Ya que la capacidad de drenaje es crítica al utilizar el residuo asfáltico como subbase porque la falta de drenaje adecuado puede llevar a problemas de erosión y asentamiento.
- 3) *Regulaciones y normativas:* Las regulaciones ambientales y de construcción pueden limitar o restringir el uso del residuo asfáltico en proyectos de pavimentación por ejemplos en zonas de recarga de acuíferos.

4) *Necesidad de estabilización*: Porque en algunos casos puede ser necesario estabilizar el residuo asfáltico para garantizar una base adecuadamente sólida y evitar problemas de deformación.

## VI. CONCLUSIÓN

La utilización del RAP como componente en el proceso constructivo para pavimentos de concreto hidráulico se revela como una estrategia técnica y sostenible. Este enfoque permite la reutilización eficiente de materiales existentes, reduciendo el uso de los recursos naturales y el impacto ambiental. Además, contribuye a la generación de pavimentos duraderos y resistentes, al tiempo que cumple con los estándares de calidad y eficiencia en la construcción de infraestructuras viales modernas.

No existen diferencias significativas entre la estabilización con residuo asfáltico y estabilización sin residuo asfáltico, sin embargo, es relevante destacar que la incorporación de suelo cemento en la estabilización ofrece beneficios clave en la construcción de carreteras y pavimentos, incluyendo una base sólida y duradera que mejora la resistencia al tráfico, reduce el mantenimiento a largo plazo y aumenta la capacidad de soporte de la subbase para la posterior colocación de la carpeta de concreto hidráulico, fortaleciendo así la infraestructura vial de manera efectiva.

No obstante, se debe resaltar la importancia para el medio ambiente, la acción de incluir el RAP como parte de la subbase, de manera que no sea colocado como desperdicio en los botaderos, ya que existen obligaciones contractuales que prohíben a las empresas constructoras depositar residuos en el derecho de vía, lo que debe ser verificado por la supervisión del proyecto.

## V. AGRADECIMIENTO

Se agradece profundamente a la empresa privada “Servicios de Mantenimiento y Construcción S.A. de C.V” (SERMACO) por su disponibilidad de tiempo, colaboración y apoyo técnico en este trabajo de investigación.

## REFERENCIAS

- [1] N. Guerrero y C. Chang, “La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú | Perfiles de Ingeniería”. Consultado: el 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Perfiles\\_Ingenieria/article/view/402](https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Perfiles_Ingenieria/article/view/402)
- [2] V. M. Villa Chaman, “Reciclado in situ en frío de pavimentos empleando emulsiones asfálticas: aplicación: colegio FAP Manuel Polo Jiménez”, *Univ. Peru. Cienc. Apl. UPC*, ago. 2015, Consultado: el 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/581465>
- [3] F. K. Pinedo Moreno, “Estudio de los agregados del río Cumbaza para la construcción de capas de sub base de pavimentos flexibles en la ciudad de Tarapoto”, *Repos. - UNSM*, 2017, Consultado: el 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2862>
- [4] ICH2021, “Incorporación de RAP en hormigón”, Hormigón al Día. Consultado: el 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en:

- <https://hormigonaldia.ich.cl/sostenibilidad/incorporacion-de-rap-en-hormigon/>
- [5] F. O. Okafor, “Performance of Recycled Asphalt Pavement as Coarse Aggregate in Concrete”, *Leonardo Electron. J. Pract. Technol.*, vol. 9, jul. 2010.
- [6] D. Guzmán, “Concreto Hidráulico Utilizando Agregados de Reciclado de Pavimento Asfáltico para un Pavimento Rígido”, Universidad Autónoma de Querétaro, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/2395/1/RI005456.pdf>
- [7] Edomex, “PROYECTO DE NORMA TÉCNICA ESTATAL AMBIENTAL NTEA-011-SeMAGEM-RS-2021, QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN Y SU TRAZABILIDAD PARA EL ESTADO DE MÉXICO.” 2021. [En línea]. Disponible en: [http://legismex.mty.itesm.mx/estados/ley-edm/EM-N-NTEA-011-SeMAGEM-RS-2021-2021\\_11Proy.pdf](http://legismex.mty.itesm.mx/estados/ley-edm/EM-N-NTEA-011-SeMAGEM-RS-2021-2021_11Proy.pdf)
- [8] A. Avecillas, “Comparación de resultados de densidad de campo por los métodos cono y arena, volumétrico y densímetro nuclear.” Consultado: el 21 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/4aa5c9f8-c5a2-40b1-835e-6f3dbab47626>
- [9] A. A. Méndez, “Evaluación técnica y económica del uso de pavimento asfáltico reciclado (RAP) en vías colombianas”. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10654/13208>.
- [10] M. Severich y R. Valenzuela, “Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de la Ciudad de Cochabamba mediante el Fresado y Reciclado en Frío”. *JBC* [En línea]. 2010, vol.7, n.21 [citado 2024-05-12], pp. 29-39. Disponible en: [http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2075-89362010000300007&lng=es&nrm=iso](http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2075-89362010000300007&lng=es&nrm=iso). ISSN 2075-8936
- [11] E. Williams, M.B. Filippetti, D. Larsen, B. Capra, M. Pendón y R. Couselo, “Proyecto de Reciclado de Pavimento: Costos Pertinentes y Beneficios”. [En línea]. Disponible en: <https://xdoc.mx/download/proyecto-de-reciclado-de-pavimento-costos-pertinentes-5e9a168c80dea?hash=92c3736490c3aed16272f17089d7c85a>.