

CARTILLA DE BUENAS PRACTICAS

USO DEL FRESADO ESTABILIZADO
Enero 2024

GERENCIA DE PARA EL DESARROLLO, LA CALIDAD Y LA INNOVACION
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO VIAL |
CALLE 26 # 69 – 76, EDEIFICIO ELEMENTO, TORRE AIRE – PISO 3 – BOGOTÁ D.C. COLOMBIA

CARTILLA DE BUENAS PRÁCTICAS USO DEL FRESADO ESTABILIZADO

Contenido

Introducción	2
Obtención de la mezcla asfáltica reciclada.....	2
Retiro de las capas de mezcla asfáltica	3
Separación	3
Transporte.....	4
Actividades en planta	4
Inventario	4
Acopio	5
Trasiego.....	7
Trituración.....	8
Control de Calidad.	9
Plan de ensayos	9
Muestreo.....	10
Procesos constructivos	11
Bibliografía	12

Introducción

Los pavimentos son parte esencial para el desarrollo de las comunidades urbanas y rurales, de esta forma, se hace necesario realizar acciones para preservar las vías existentes y construir nuevos corredores que garanticen la correcta movilidad de personas, mercancías y servicios. Teniendo en cuenta lo anterior, los pavimentos se han convertido en el mayor activo que tienen las comunidades, superando por mucho las estructuras verticales.

Para garantizar el correcto desempeño de los pavimentos, profesionales en el área, diseñan estas estructuras para soportar ciertas condiciones climatológicas y una serie de ciclos de carga específicos. Conforme avanza el tiempo de servicio, los materiales se debilitan perdiendo parte de sus características dando paso a la aparición de manifestaciones patológicas indeseables. Estas patologías pueden ser tratadas con acciones menores si son intervenidas a tiempo, no obstante, los recursos disponibles para atender la malla vial en algunos casos son insuficientes lo que impide intervenciones oportunas generando daños más serios en el pavimento.

Una vez los pavimentos alcanzan un grado de deterioro avanzado, es necesario tomar acciones correctivas las cuales suelen involucrar el retiro de la carpeta de rodadura y capas más profundas. Con el fin de disminuir costos, aliviar cargas ambientales y hacer intervenciones más efectivas, desde hace algunas décadas se ha estudiado la incorporación de materiales producto de demolición en la conformación de nuevas estructuras de pavimento.

Teniendo en cuenta lo anterior y bajo la premisa que la red vial de la ciudad de Bogotá está construida predominantemente en pavimento flexible, se hace necesario tener un manual de buenas prácticas que cubra las diferentes etapas que experimenta el fresado de mezcla asfáltica, desde que es demolido del segmento vial hasta que se pueda volver a incorporar como parte de una nueva estructura de pavimentos.

Obtención de la mezcla asfáltica reciclada

Unos de los principales factores que suelen dañar las capas de pavimentos son las condiciones ambientales donde se destacan los rayos UV, ciclos térmicos y el efecto del agua, este último tiene una incidencia particular ya que puede afectar todas las capas del pavimento, generando especiales patologías en las capas granulares donde provoca lavado de finos y, como consecuencia pérdida de soporte en la estructura ocasionando deformaciones y daños en la carpeta de rodadura. Por su parte, el paso de los vehículos es otro factor que favorece la aparición de daños en las estructuras de pavimentos ya que cada aplicación de carga tiene un efecto negativo en las propiedades de los materiales, haciendo que el paso de un número específico de vehículos genere patologías en los pavimentos.

Las consecuencias asociadas a la aparición de diferentes patologías son la reducción de la calidad de la vía, disminución del coeficiente de fricción, inadecuada capacidad estructural, aumento de los costos de mantenimiento para las agencias, incremento en los costos de operación asociados al usuario, entre otros. Los daños asociados a estas patologías son evaluados por un experto, quien identifica qué actividades de conservación y mantenimiento son necesarias para devolver el buen estado al segmento vial.

Las labores de conservación y mantenimiento pueden incluir actividades como: tratamientos superficiales con sobrecarpetas, parcheo, parches de gran tamaño, bacheo, cambios de carpeta de rodadura, demolición de una o varias capas de la estructura de pavimento. Algunos de los trabajos mencionados anteriormente requieren el retiro de la carpeta de rodadura, lo que genera material de demolición conocido como mezcla asfáltica reciclada.

Retiro de las capas de mezcla asfáltica

El retiro de la carpeta de rodadura (generalmente mezcla asfáltica) es el primer paso para las actividades que requieren labores de demolición. Es importante destacar que el material de retiro puede ser incorporado de nuevo en el ciclo económico, por lo tanto, tiene valor intrínseco y no debe ser desechado o llevado a un punto de disposición final. Para el retiro del material asfáltico existen dos tipos de intervenciones:

Fresado: para esto se emplea un equipo especializado que cuenta con una serie de dientes que giran a velocidad constante, tritura los agregados, disgrega la mezcla y la retira. Esta intervención se realiza a una profundidad específica, la cual es seleccionada de tal manera que se garantice la remoción de la totalidad de daños, se preserve la pendiente y proporcione una superficie uniforme que permita la homogeneidad de la estructura en toda su sección. Una de las ventajas que supone este método es que el material resultante tiene un tamaño de partícula definido sin mezclarse con otros materiales. No obstante, las desventajas de esta intervención son: la necesidad de equipos especializados en obra, manejo de tránsito riguroso y gran espacio de maniobra.

Demolición: un martillo o taladro golpea la superficie haciendo que la mezcla asfáltica se divida en grandes trozos de escombros. Esta práctica es utilizada comúnmente para la remoción total de la carpeta de rodadura en espacios limitados, pequeñas intervenciones como parcheos y parcheos de gran tamaño. Las ventajas asociadas a esta intervención son: no requiere de equipos especializados, poco espacio de maniobra, manejo de tránsito sin requerimientos especiales. Las desventajas de esta intervención son: grandes trozos de escombros que suelen contaminarse fácilmente con los agregados de los materiales no ligados, lo que hace necesario el uso de equipos adicionales para la trituración y manejo de este material.



a) Fresado



b) Demolición

Figura 1 Remoción de pavimento asfáltico

Separación

Durante los procesos de demolición en obra, suelen retirarse materiales de las distintas capas de la estructura de pavimento, en este sentido, es importante realizar acopios independientes de suelos, materiales granulares ligados o no ligados y mezclas asfálticas. Como se mencionó anteriormente, el retiro de las capas de mezcla asfáltica puede contener materiales no deseables como granulares de las capas no ligadas, materiales vegetales, textiles, excesivos restos de sellantes, escombros de concreto, mampostería y desechos plásticos o cartón. Por esta razón, es importante realizar estrictos controles en los acopios e implementar una separación inicial en campo y eliminar la mayor parte de los materiales no deseables. Cuando los materiales no deseables no puedan ser retirados de forma manual o su contenido sea excesivo, será necesario disponer de acopios especiales que eviten la contaminación de materiales limpios.



Figura 2 Acopio de fresado en obra

Transporte

Esta actividad se debe desarrollar con la maquinaria necesaria capaz de realizar el cargue del material dentro de un vehículo dispuesto para su transporte. El vehículo debe tener un platón liso, estanco con el cobertor adecuado que proteja y prevenga el derrame del material.

Es importante tener en cuenta que los materiales provenientes de la excavación deben ser dispuestos en rellenos cuando se traten de materiales no competentes o llevados a plantas de tratamiento de RCD cuando sus condiciones lo permitan. Los materiales asfálticos son materiales competentes y poseen un valor intrínseco, por lo tanto, deben ser llevados a la planta de tratamiento y aprovechamiento para continuar su debido proceso, sin importar si es material proveniente de fresado o demolición. En el transporte se debe garantizar la distinción entre la mezcla asfáltica reciclada con materiales no deseables y la mezcla asfáltica limpia. Es necesario informar la naturaleza del material, con el fin de evitar que se mezclen estos materiales en planta y se generen reprocesos.



Figura 3 Equipos de transporte (Volqueta)

Actividades en planta

El manejo que tenga el material de fresado mientras permanezca en la planta determinará en gran medida la variabilidad, limpieza e idoneidad del material, de este modo, es importante adelantar las siguientes labores en planta para garantizar la calidad del material.

Inventario

El material que llega a la planta para ser acopiado debe tener una clasificación previa como se menciona en el capítulo anterior, de este modo, los materiales provenientes de los diferentes frentes

de obra deben contar con una hoja de vida, la cual es el insumo principal para la clasificación y acopio del material, para alimentar esta hoja de vida de los materiales es necesario es necesario recopilar la información inherente al material por medio del diligenciamiento del siguiente formato.

	Hoja de vida del material recibido		
	CODIGO		VERSIÓN
	FECHA DE APLICACIÓN		
Información General			
Tipo de registro _____		Fecha de recibido _____	
Información Frente de obra de donde sale el material			
Dirección _____		CIV Origen _____	PK Origen _____
Director de obra _____			
Información del vehículo			
Conductor _____			
Placa _____	No. Interno _____	Transportadora _____	
Información del material			
Material _____			
Peso bruto _____	Peso tara _____	Peso neto _____	
Masa unitaria _____	Masa Volumen _____		
Observaciones			

Figura 4 Formato inventario

La generación de esta hoja de vida de los materiales busca eliminar parte de la variabilidad del material logrando conocer con cierto grado de precisión los materiales acopiados. De esta misma manera, el inventario del material debe ser analizado en el tiempo, para determinar factores claves como la cantidad de material que ingresa y la cantidad que es utilizada, de esta forma, se pueden generar políticas claras de almacenamiento y buscar usos alternativos del material de ser necesario, esto con el fin de no tener problemas de almacenamiento y garantizar la continuidad de los trabajos.

Acopio

Usualmente, la mezcla asfáltica proveniente de procesos de demolición es acopiada de manera inadecuada debido a la mala concepción que los materiales reciclados no tienen valor o son de características pobres, esto es un error, dado que las mezclas asfálticas recicladas son más valiosas que los agregados vírgenes ya que están constituidas por agregados competente y material bituminoso. Teniendo en cuenta esto, el tratamiento que recibe una mezcla reciclada debe ser igual o mejor que el de los granulares vírgenes, al tratarse de materiales con mayor valor.

Los procesos asociados al acopio de mezcla asfáltica reciclada comienzan cuando el material llega a la planta o zona de tratamiento. El material recién llegado, debe ser identificado como mezcla asfáltica

reciclada limpia o como mezcla asfáltica con materiales no deseables, de esta forma, es posible asignar el punto de acopio adecuado.

El espacio disponible para emplazar los acopios de mezcla asfáltica reciclada debe tener características mínimas que permita la adecuada gestión del material e impidan su contaminación. Buenas prácticas han demostrado que disponer de espacios pavimentados y con cierta pendiente tiene impactos positivos en la gestión del material, prestando el soporte necesario para garantizar una superficie de soporte, además de tener buenas competencias para el drenaje, impidiendo la acumulación inadecuada de humedad. Otra medida ampliamente utilizada para minimizar los contenidos indeseables de humedad consiste en realizar estructuras de cubierta que protejan al material de la intemperie, sin embargo, esto resulta en costos elevados siendo económicamente inviable para algunas plantas de tratamiento.

La forma y tamaño de los acopios es un parámetro para tener en cuenta para hablar de buenas prácticas en el manejo de la mezcla asfáltica reciclada, de este modo, tener acopios pequeños y planos de material, no supone una gran ventaja dado que se requiere de bastante espacio y la logística se vuelve compleja. Por su parte, tener todo el material mezclado dentro de una gran pila, no constituye la mejor opción por no garantizar la rotación del material además de presentar problemas de estabilidad. Acopios extremadamente largos generan inconvenientes al requerir que maquinaria pesada transite sobre ellos generando compactaciones innecesarias y favoreciendo la acumulación de humedad al interior del acopio. Dado lo anterior, se han venido implementando acopios en forma de arco con la cara interna libre que permita las labores de cargue y descargue del material. Estos acopios deben ser obligatoriamente inferiores a diez (10) metros de altura, ya que acopios mayores requieren que maquinaria pesada transiten sobre ellos favoreciendo la compactación del material al interior del acopio.

Independientemente de la forma o tamaño de los acopios de mezcla asfáltica reciclada, estos suelen crear una costra de material endurecido de aproximadamente veinticinco (25) centímetros la cual se puede romper de manera sencilla con la pala de un cargador. Esta costra endurecida, no se debe considerar como un problema ya que permite que el material al interior del acopio no se compacte a la vez que sirve de barrera favoreciendo el drenaje del acopio disminuyendo su humedad.

Referente a la cantidad de acopios separados, se debe tener en cuenta que, para la correcta gestión de la mezcla asfáltica reciclada, es importante controlar la variabilidad del material, ya que este parámetro es clave para el adecuado desempeño de la mezcla. Bajo este supuesto, es ideal tener acopios separados por cada tipo de mezcla asfáltica que llegue a planta, no obstante, en la práctica no es una tarea fácil debido a las diferentes fuentes de material y las limitaciones de espacio presentes en las plantas de tratamiento.

Teniendo en cuenta lo anterior, con el fin de garantizar la menor variabilidad posible lo que se traduce en menores costos de trituración y mejor uso del espacio disponible, se plantean por lo menos dos acopios separados, uno para la mezcla limpia y otro para la mezcla con materiales no deseables. Con la creación de únicamente dos acopios, se generan problemas como el aumento de la variabilidad del material debido a que en el mismo acopio se dispondrán materiales de capas asfálticas de base, intermedia y rodadura, las cuales generalmente contienen diferentes granulometrías y contenidos de asfalto. El aumento de variabilidad de los materiales por el tipo de acopio debe ser subsanado, en este sentido, se deben ejecutar ensayos de granulometría, contenido de asfalto residual y punto de ablandamiento para verificar si el material presenta diferencias importantes dentro del acopio.

Si los materiales del acopio presentan variabilidades muy altas, se implementará un proceso de homogenización mediante mezclado para alcanzar un material uniforme. En primera instancia se delimita el parámetro de referencia, siendo predominantemente el contenido de asfalto o punto de ablandamiento, con los resultados del parámetro de referencia en diferentes puntos del acopio es

posible identificar los materiales en rangos de alto, medio y bajo. Con ayuda de un cargador se toma material de las zonas con bajos valores del parámetro de referencia y se extiende una primera capa, sobre esta primera capa se conforma una segunda tomando material de las zonas con altos valores del parámetro de referencia, finalmente, sobre la segunda capa se construye una tercera con material de bajos valores del parámetro de referencia. Construidas las tres capas, este nuevo acopio se mezcla con ayuda del cargador, realizando maniobras que permitan tomar material de la parte baja y depositarlos en la parte alta, este proceso se repite hasta garantizar una homogeneidad de este nuevo acopio. Finalizado el mezclado, el material del nuevo acopio alcanza el valor promedio del acopio original permitiéndole ser devuelto a este, disminuyendo su variabilidad total.

De otra parte, los acopios de mezclas asfálticas recicladas pueden segregarse, de este modo, los materiales gruesos se desplazan a la base, mientras que los finos se sitúan en la parte superior. Para mitigar este efecto, un simple mezclado puede ser llevado a cabo, no obstante, este efecto no es tan común ya que este tipo de material se segrega menos que los materiales vírgenes, porque el asfalto actúa como aglutinante previniendo que existan movimientos importantes al interior del acopio.

Finalmente, es importante que el personal de planta verifique visualmente los acopios y que se identifiquen materiales no deseables, se deben retirar inmediatamente para eliminarlos de forma temprana y no permitir que los cubran por el material que se acopie en el futuro.

Trasiego

Los acopios de mezclas asfálticas generalmente se encuentran ubicados distantes de las máquinas trituradoras o de las plantas de mezclado. Por esta razón, se debe tener en cuenta el movimiento del material desde el punto donde la volqueta lo deposita hasta el acopio o desde el acopio hasta los diferentes puntos donde se requiera, a esta actividad se le denomina trasiego. Al tratarse de un material con características especiales y que supone un valor potencial elevado, se deben tener en cuenta algunas condiciones mínimas para realizar estos trabajos.

La primera actividad que contempla el trasiego es el movimiento desde el punto de depósito de la volqueta hasta el acopio. Usualmente se espera que la mezcla asfáltica reciclada sea depositada directamente por la volqueta sobre el acopio, sin embargo, esto no es una buena práctica, ya que para ello la volqueta tendría que transitar total o parcialmente sobre el material acopiado previamente, generando una presión innecesaria que se puede traducir en compactaciones indeseables al interior del acopio. Para evitar esta compactación se recomienda que el material sea depositado cerca a la base del acopio y que un minicargador lo distribuya dentro del acopio.



Figura 5 Equipos para trasiego del fresado

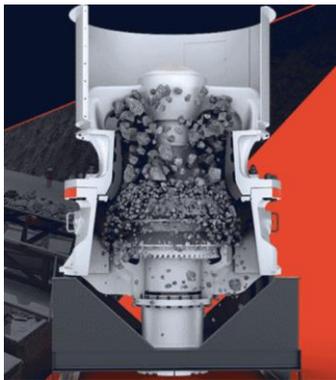
El trasiego desde el acopio hasta el punto de trituración es importante, ya que para este se debe tener en cuenta que el material debe ser extraído de diferentes puntos del acopio, esto con el fin de garantizar una homogeneidad en el material que se va a triturar. El transporte de la mezcla asfáltica

reciclada desde el acopio hasta la trituradora se puede hacer con un cargador o cualquier otro vehículo apto para prestar este servicio.

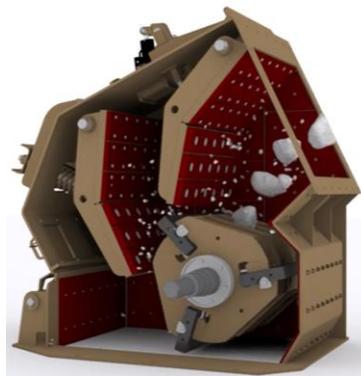
Trituración

El material asfáltico reciclado debe cumplir con una granulometría específica para poder utilizarse en una nueva mezcla, para ello es importante triturar el material, disgregando las partículas en tamaños según los requerimientos de los diseños de mezcla, de este modo, la trituración es indispensable para las mezclas asfálticas recuperadas por demolición. Si bien es cierto que, el material resultante de un proceso de fresado tiene tamaño de partícula menor que el obtenido por demolición, en ocasiones es necesario una trituración adicional para que se ajuste a la granulometría requerida en los documentos de cada proyecto, sin embargo, esta trituración adicional debe ser usada únicamente en los materiales que lo ameriten debido a que puede generar finos indeseables.

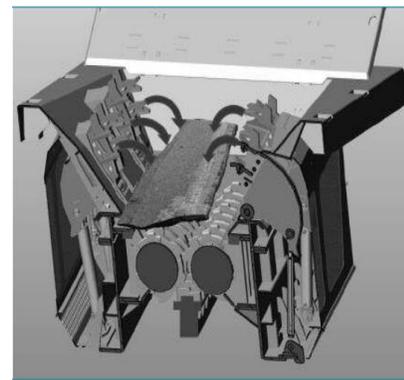
En el mercado existen diferentes equipos capaces de realizar la trituración de los materiales, dentro de ellos se encuentra: la trituradora de cono o molino de cono, el cual mediante aplastado, doblado y partido fractura el material, este equipo es apto para la trituración de la mezcla asfáltica reciclada, sin embargo, supone desventajas como dar lugar a partículas de tipo laja o aguja. Trituradora de impacto (horizontal o vertical), este equipo usa un rotor con elementos de percusión que golpean y lanzan el material dentro de una cámara de impacto que reducen el tamaño de las partículas. Este proceso de trituración genera partículas de mejores geometrías. Disgregadores, estos equipos constan de dos tambores que giran a una velocidad baja, por lo cual no generan impacto, dentro de las ventajas que tiene este sistema es que se preserva la granulometría original del material, además de producir poco polvo.



a) Trituradora de cono



b) Trituradora de impacto



c) Disgregador

Figura 6 Equipos de trituración

Fuente: a) y b) KPI-JCI & Astec, c) Galvis R, 2021

Independientemente del equipo empleado, la trituración del material homogeniza el tamaño de partículas y favorece el mezclado de los materiales obtenidos de distintas fuentes. Para garantizar un correcto procedimiento que permita una trituración eficiente y disminuya la variabilidad del material, se deben cumplir las siguientes consideraciones.

Selección del material a triturar: El material introducido en los equipos de trituración no debe ser retirado de forma secuencial del acopio ya que impide el correcto mezclado de los materiales de distintas fuentes, en este sentido, los materiales deben proceder de distintos puntos y profundidades del acopio, de esta forma se aumenta la homogeneidad del material disminuyendo su variabilidad.

Tamaño de partícula: El tamaño máximo de partícula se debe definir conforme a los requerimientos del diseño de mezcla de cada proyecto, garantizando el cumplimiento de la granulometría requerida, de esta forma, definir tamaños de partícula muy grandes, generar sobretamaños en la mezcla lo cual es un efecto desfavorable. Por otro lado, si se define un tamaño máximo de partícula muy pequeño tendrá efectos negativos en el rendimiento del equipo al generar sobretrituración del material, ocasionando exceso de finos o creación de nuevas caras fracturadas que impliquen mayor consumo de ligante al realizar la mezcla, lo que se traduce en sobrecostos de producción.

Fraccionamiento: Bajo el entendido que la mezcla asfáltica reciclada es un material con valor y debe ser tratado como tal, se presenta el fraccionamiento como el proceso en el cual se dividen los materiales según su tamaño, tal cual como sucede con los agregados vírgenes. Posterior a la trituración del material, es aconsejable disponer de dos acopios para garantizar la separación de materiales gruesos y finos, de esta manera, la experiencia internacional recomienda dividir los materiales en tamaños de 1 in- ½ in y ½ in a 0 in, o ¾ in a 3/16 in (Tamiz No.4) y 3/16 in (Tamiz No.4) a 0 in. Esta práctica permite tener un mayor control sobre la gradación, contenido de asfalto y propiedades volumétricas de la mezcla. De otra parte, realizar el procedimiento de fraccionamiento supone un mezclado adicional del material impactando positivamente la calidad y variabilidad.

Control de Calidad.

La calidad de los materiales debe ser garantizada con el objetivo de producir mezclas de adecuadas competencias que estén acorde con las necesidades de la ciudad. En este sentido, es importante realizar diferentes ensayos que permitan identificar las características y variabilidad de los materiales.

Plan de ensayos

Los ensayos requeridos para la correcta evaluación de la mezcla asfáltica reciclada incluyen:

Contenido de asfalto: Este ensayo es primordial para el correcto manejo de la mezcla asfáltica reciclada ya que conocer las cantidades de asfalto envejecido permite identificar la variabilidad del material, así como ayuda a entender que efecto puede tener este asfalto en el comportamiento de una futura mezcla, por lo cual es una variable para considerar en el diseño de mezcla. Los procedimientos disponibles para determinar el contenido de asfalto residual de una mezcla asfáltica son el método de ignición y la extracción con solventes.

El método de ignición (INV E 719-13) emplea un horno de ignición aplicable a este procedimiento para quemar el ligante de la mezcla asfáltica, de este modo, el contenido de asfalto es determinado como la diferencia en masa que existe entre la mezcla inicial y la masa residual del agregado ajustándolo con un factor de calibración. Una de las ventajas que supone este método es que no emplea solventes, mientras que su principal desventaja es que para mezclas recicladas el factor de corrección no es fácilmente determinable, por lo que aumenta la incertidumbre en el resultado.

La extracción con solventes (INV E 732-13) emplea un equipo de extracción (generalmente una centrifuga) en el cual se incluye la mezcla asfáltica y un solvente, por acción del solvente, el asfalto se separa de los agregados, permitiendo determinar el contenido de asfalto como la relación entre la masa inicial y la masa residual de los agregados. Los químicos solventes como tricloroetileno bromuro u otros tienen afectaciones importantes a la salud y el medioambiente, a pesar de esto, el método de extracción sigue siendo ampliamente aceptado debido a que los resultados obtenidos son más confiables que los obtenidos por el método de ignición.

Independientemente del método utilizado para determinar el contenido de asfalto, experiencias en el manejo de este tipo de materiales han identificado que los contenidos de asfalto habituales

suelen estar entre 3 y 7%, en línea con esto, se ha encontrado que desviaciones estándar de 0.5% son aceptables para el contenido de asfalto, determinando baja variabilidad.

Granulometría de los agregados: La distribución granulométrica de las partículas dentro de la mezcla asfáltica reciclada es un factor importante para controlar. En este sentido, ensayos granulométricos sobre los acopios sin triturar pueden ser ejecutados para determinar la variabilidad del material, y definir protocolos de mezclado para lograr mayor homogeneidad, no obstante, con el proceso de trituración esta granulometría tiende a cambiar, disminuyendo fuertemente la variabilidad. Por lo tanto, la granulometría de los agregados debe ser tomada al final del proceso de trituración con el fin de encontrar valores más acordes con el destino final del material.

Para el análisis granulométrico se deben tomar los áridos cubiertos por asfalto, ya que en las mezclas en frío este material se comporta como una roca negra, por lo cual no hay necesidad de realizar una separación previa del asfalto y los agregados, de este modo, la metodología propuesta para este análisis es la descrita por en la norma INV E 213- 13. Producto de la aplicación de la norma, se obtienen la curva granulométrica que indica el porcentaje de partículas que pasan por cierto tamiz. Desviaciones estándar típicas para las curvas granulométricas serán aquellas donde el tamiz medio (Tamiz más cercano de tener el 50% que pasa) es de 5.0% y el No. 200 es de 1.5%, valores inferiores o iguales a esta desviación estándar son asociados a bajas variabilidades en el material.

Contenido de humedad: A diferencia de los parámetros anteriores, el contenido de humedad no constituye una medida para la evaluación de la variabilidad del material por lo que no presenta desviaciones estándar de referencia, no obstante, el contenido de humedad debe ser controlado con el fin de optimizar el contenido de humedad de preenvuelta. Para la determinación del contenido de humedad es posible utilizar la norma INV E 122-13 o cualquier otra norma que permita la determinación del contenido de humedad de manera adecuada.

Muestreo

Para la correcta ejecución del plan de ensayos, es necesario tomar muestras representativas que permitan alcanzar una caracterización estadística de las diferentes zonas del acopio. Para esto se disponen de algunas consideraciones que pueden ayudar al adecuado muestreo de la mezcla asfáltica reciclada.

Debido a que los acopios presentan materiales de diferentes fuentes, es importante seleccionar adecuadamente los puntos de muestreo, para esto, el acopio debe ser dividido en por lo menos tres (3) zonas permitiendo extraer una cantidad representativa de cada una. La localización de los puntos a muestrear debe corresponder al perímetro del acopio y estar situados un (1) metro por encima de la base y un (1) metro por debajo de la corona del acopio, para alcanzar una relevancia estadística, se deben contemplar un mínimo de tres (3) puntos por zona. A continuación, se presenta el procedimiento aceptado para el muestreo de cada punto.

Para realizar el correcto muestreo de los materiales, es importante recordar que las mezclas asfálticas acopiadas generan una costra que impide el ingreso excesivo de humedad y ayuda al material a no sufrir mayores compactaciones lo cual es un aspecto positivo, no obstante, para el muestreo, este material es considerado como no representativo haciendo necesario que el material susceptible de ensayar sea recuperado por debajo de esta costra, es decir a veinticinco (25) centímetros de profundidad. Otra opción de muestreo aceptada es romper la costra presente en el acopio con ayuda de un minicargador o cualquier equipo que haga sus veces, extrayendo material para formar un acopio provisional de menor tamaño sobre una superficie limpia y plana, el cual sea fácilmente muestreable por un operario, finalizado el proceso de muestreo, el material del acopio provisional debe ser devuelto a su acopio de origen.

Las frecuencias de muestreo y ensayos se presentan en la siguiente tabla. Vale la pena destacar que los ensayos de contenido de asfalto, granulometría y contenido de humedad (en algunos casos) pueden realizarse con una sola muestra, es decir que con 5kg extraídos se pueden cubrir los tres ensayos.

Ensayo	Frecuencia	Cantidad de puntos	Material necesario
Contenido de asfalto	1 cada 1000 Ton	3 puntos por zona	5 kg por punto o 15 kg por zona
Granulometría agregados reciclados	1 cada 1000 Ton	3 puntos por zona	5 kg por punto o 15 kg por zona
Contenido de humedad.	1 cada 1000 Ton	3 puntos por zona	5 kg por punto o 15 kg por zona

La tabla anterior denota la frecuencia de ensayos y el material necesario para realizar un monitoreo adecuado de los acopios de mezcla asfáltica reciclada, sin embargo, para labores más específicas como el diseño de mezcla, la cantidad de material puede aumentar a 25kg.

Como resultado del plan de ensayos se obtiene información importante del material para realizar los análisis respectivos, en este sentido, es importante no mezclar las muestras recolectadas de diferentes puntos del acopio con el fin de determinar la variabilidad del material y en función de esto, implementar acciones de mezclado como los presentados en la sección de acopios para disminuir la variabilidad el material y garantizar su calidad.

Procesos constructivos

Los procesos constructivos, así como el diseño de mezcla o cualquier otra actividad técnica que involucre el uso de fresado estabilizado debe ser definido según los documentos técnicos de cada proyecto o su especificación técnica particular.

Bibliografía

- [1] D. Ungureanu *et al.*, «Accelerated testing of a recycled road structure made with reclaimed asphalt pavement material», *Constr. Build. Mater.*, vol. 262, p. 120658, nov. 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120658.
- [2] J. K. Davidson y P. Eng, «BEST PRACTICES IN COLD IN-PLACE RECYCLING».
- [3] M. Faramarzi, Y. Kim, S. Kwon, y K.-W. W. Lee, «Evaluation of Cold Recycled Asphalt Mixture Treated with Portland Cement as Base-Layer Materials», *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 32, n.º 3, p. 05020002, mar. 2020, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003073.
- [4] J. Don Brock y J. L. Richmond, «Milling and Recycling (Technical Paper T-127)», ASTEC INC, Chattanooga, Tennessee, 2007.
- [5] P. S. Kandhal y R. B. Mallick, «Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments: Participant's Reference Book», 1998.
- [6] FHWA, «RAP STOCKPILE MANAGEMENT AND PROCESSING IN TEXAS: STATE OF THE PRACTICE AND PROPOSED GUIDELINES». 2010.
- [7] L. Lagacy, «Reclaimed Asphalt Pavement».
- [8] FHWA, «Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures: State of The Practice». Publication Number: FHWA-HRT-11-021, 2011.
- [9] F. Leiva-Villacorta, «Recommended Best Practices For Using Rap In Asphalt Pavements For Costa Rica».
- [10] National Cooperative Highway Research Program, «Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method: Guidelines». Number 253, 2001.
- [11] F. Gu, W. Ma, R. C. West, A. J. Taylor, y Y. Zhang, «Structural performance and sustainability assessment of cold central-plant and in-place recycled asphalt pavements: A case study», *J. Clean. Prod.*, vol. 208, pp. 1513-1523, ene. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.222.
- [12] R. Galvis, «Una visión sobre el procesamiento del material RAP para su reutilización en planta», 2021.
- [13] G. Hu *et al.*, «Use of DIC and AE for investigating fracture behaviors of cold recycled asphalt emulsion mixtures with 100% RAP», *Constr. Build. Mater.*, vol. 344, p. 128278, ago. 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.128278.
- [14] «Utilizing Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Materials in New Pavements - A Review», *Int. J. Therm. Environ. Eng.*, vol. 12, n.º 1, 2017, doi: 10.5383/ijtee.12.01.008.
- [15] NAPA, «Best Practices for RAP and RAS Management». Quality Improvement Series 129, 2015.