

APLICACIÓN DE RESIDUOS DE PAVIMENTOS (RAP) EN CONSTRUCCIÓN DE
VIAS - AJUSTE DE LAS METODOLOGÍAS ACTUALES
INVESTIGACIÓN APLICADA - FASE I

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS, CONTABLES,
ECONÓMICAS Y DE NEGOCIOS ECACEN.
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN DE PROYECTOS

MARZO 22 DE 2018

APLICACIÓN DE RESIDUOS DE PAVIMENTOS (RAP) EN CONSTRUCCIÓN DE
VIAS - AJUSTE DE LAS METODOLOGÍAS ACTUALES
INVESTIGACIÓN APLICADA - FASE I

ROBINSON VILLAMIL ROJAS

Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Gestión de Proyectos

Director

Ingeniero: FREDDY ORLANDO RAMIREZ

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS, CONTABLES,
ECONÓMICAS Y DE NEGOCIOS ECACEN.
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN DE PROYECTOS

MARZO 22 DE 2018

APLICACIÓN DE RESIDUOS DE PAVIMENTOS (RAP) EN CONSTRUCCIÓN DE
VIAS - AJUSTE DE LAS METODOLOGÍAS ACTUALES
INVESTIGACIÓN APLICADA - FASE I

“Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad” Art 85 Régimen

Discente de Formación Avanzada.

Firma

APLICACIÓN DE RESIDUOS DE PAVIMENTOS (RAP) EN CONSTRUCCIÓN DE
VIAS - AJUSTE DE LAS METODOLOGÍAS ACTUALES
INVESTIGACIÓN APLICADA - FASE I

“Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad” Art 85 Régimen

Discente de Formación Avanzada.

Firma

Resumen

El reciclaje se ha convertido en uno de los ejercicios obligados del ser humano, en nuestra época todas las actividades humanas están asociadas al uso de artefactos que tienen origen en transformación de materias primas extraídas del medio ambiente y con el ánimo de establecer adecuadas políticas de manejo de los materiales producto del desecho de estos elementos luego de su periodo de vida, la sociedad viene creando mecanismos y estableciendo reglas para el adecuado aprovechamiento de estos residuos y cuyo objetivo fundamental es el de reutilizar aquellos insumos a fin de incorporarlos a las cadenas productivas habituales sin necesidad de recurrir nuevamente a los elementos tomados de la naturaleza a fin de preservar los factores de equilibrio de la misma.

Teniendo en cuenta que con el crecimiento de las ciudades se generan cientos de toneladas de desechos de construcción, que de alguna forma se reciclan como rellenos o como parte de nuevas estructuras, el presente proyecto busca integrar las diversas metodologías que en nuestro medio se tienen para esta actividad y definir a través de una gestión de información criterios técnicos para el empleo de dichos desechos en construcción de pavimentos para bajos volúmenes de tránsito, en especial dirigidos a aquellas zonas agrícolas que aun cuando se encuentran cerca de ciudades importantes no cuentan con vías en adecuado estado de circulación. Con el objeto de intentar dar un aporte al conocimiento del manejo de reciclaje en Colombia, se tomará un proyecto específico a fin de mejorar los procedimientos y la normativa que actualmente se emplea en la construcción de pavimentos esperando que los resultados puedan servir de base para mejorar el estado del arte dentro de la ingeniería de pavimentos y de manera asociada a este ejemplo, establecer los procesos de

cambios vinculados a la gestión de proyectos dentro de parámetros del PMBOK, en su versión No. 5.

Contenido

Resumen	5
Tabla de Figuras	11
Lista de Tablas.....	13
1. Introducción	14
2. Problema De Investigación	17
2.1. Planteamiento del problema.....	17
2.2. Formulación del problema	19
3. Objetivos de la investigación	20
3.1. Objetivo general.....	20
3.2. Objetivos específicos	20
4. Justificación del estudio	21
4.1. Justificación político - Administrativa.....	21
4.2. Justificación social.....	21
4.3. Ambiental.....	22
4.4. Cultural	22
4.5. Personal.....	23
5. Limitaciones de la investigación.....	24

6. Marco teórico	25
6.1. Antecedentes de estudio.....	25
6.1.1. Aspectos técnicos	25
6.1.2. Aspectos de orden administrativo y legal.....	27
6.2. Bases teóricas.....	28
6.2.1. Suelo de base, terreno natural o sub rasante	30
6.2.2. Capa de mejoramiento, estabilización o nivelación	30
6.2.3. Capas de estructura granular, base o sub base.....	31
6.2.4. Capa de concreto asfáltico o hidráulico.....	34
6.2.5. Elementos accesorios a la estructura del pavimento	35
6.3. Calidad de los materiales empleados en las capas	36
6.3.1. Granulometría.....	37
6.3.2. Parámetros de calidad de agregados para las capas granulares	39
6.3.3. Dureza.....	40
6.3.4. Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznablees.....	41
6.3.5. Ensayos de solidez a los sulfatos:.....	41
6.3.6. Limpieza	41
6.3.7. Geometría de las partículas.....	42
6.3.8. Resistencia del material - CBR.....	43

6.4.	Calidad de los materiales de cobertura o concretos de pavimentos.....	45
6.4.1.	Cemento portland tipo - 1	46
6.4.2.	Agregados para un concreto hidráulico.	47
6.4.3.	Cemento asfáltico	48
6.4.4.	Materiales granulares para capa de cobertura.....	51
6.5.	Procesos de reciclaje en tierra y afirmados.....	53
6.5.1.	Reciclaje en tierra o afirmados	54
7.	Marco metodológico	72
7.1.	Tipo y nivel de la investigación.....	72
8.	Antecedentes de los trabajos de estudios diseños y ejecución del contrato	75
8.1.	Información del contrato.....	75
8.1.1.	Objeto y datos del contrato.....	75
8.1.2.	Localización del proyecto.....	76
8.1.3.	Aspectos ambientales	77
8.1.4.	Parámetros técnicos establecidos de manera contractual	78
9.	Desarrollo de las labores de inspección inicial	82
9.1.	Visita inicial de inspección	82
9.2.	Gestión de cambios del proyecto	84
9.2.1.	Identificar cambios existentes y probables.....	86

9.2.2.	Revisar y aprobar cambios solicitados	100
9.2.3.	Gestionar los cambios aprobados	100
9.2.4.	Revisar y aprobar las acciones correctivas y preventivas.....	101
9.2.5.	Controlar y actualizar requisitos alcance, coste y calidad	101
9.2.6.	Documentar el impacto total de los cambios solicitados.....	103
9.2.7.	Validar la reparación de defectos	103
10.	Cambios asociados a la gestión de costos y presupuestos.....	107
11.	Conclusiones y recomendaciones	111
12.	Bibliografía.....	114

Tabla de Figuras

	Pág.
Figura 1. Corte transversal de una estructura vial.	29
Figura 2. Principio de funcionamiento de la Máquina de los Ángeles.	40
Figura 3. Proceso de ensayo CBR.	43
Figura 4. Esfuerzo deformación CBR, 0,1 y 0,2 pulgadas.	44
Figura 5. Composición típica de concretos.	45
Figura 6. Curvas granulométricas para agregados de concretos hidráulicos en pavimentos.	47
Figura 7. Curva esfuerzo – deformación y módulo de reacción del suelo. Ensayo de placa.	58
Figura 8. Canta de diseño PCA. Suelos granulares.	60
Figura 9. Canta de diseño PCA. Suelos finos.	61
Figura 10. Canta de diseño PCA. Ajuste por capa asfáltica.	62
Figura 11. Espesores de Suelo – cemento recomendados, sin ajuste y capas asfálticas.	62
Figura 12. Gradación de materiales tratados con emulsión.	64
Figura 13. Mecanismo del principio del asfalto espumado.	67
Figura 14. Localización del proyecto.	77
Figura 15. Fragmento de los términos de referencia sobre especificaciones contractuales.	78
Figura 16. Registro fotográfico del Parque Natural de Sumapaz.	81
Figura 17. Gestión de cambios del proyecto en base a la metodología PMBOK 5ta Edición.	85
Figura 18. Aspecto de las mezclas instaladas por el contratista de obra.	89
Figura 19. Aspecto de las fisuras en bloque y piel de cocodrilo.	90

Figura 20. Aspecto de otras fallas asociadas a las deficiencias de construcción.	91
Figura 21. Aspecto de la mezcla al momento de extraer los núcleo de muestra.	92
Figura 22. Deficiencias del soporte en las orillas.	98
Figura 23. Aspecto del pavimento con los nuevos procesos de trabajo.	99
Figura 24. Aspecto de la regularidad superficial del pavimento.	100
Figura 25. Aspecto del manejo de los materiales en obra.	102
Figura 26. Diferencia entre un pavimento flexible en caliente convencional y el pavimento con reciclaje.	104
Figura 27. Aspectos geométricos lineales y transversales y de regularidad superficial.	105
Figura 28. Aspectos de vías hechas con materiales reciclados, proceso nuevo y proceso viejo.	113

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla No. 1. Tipología de estructuras manual INVIAS Bajos Volúmenes de Tránsito	33
Tabla No. 2. Clasificaciones granulométricas para Bajos Volúmenes de Tránsito.	38
Tabla No. 3. Ensayos sobre materiales para Bajos Volúmenes de Tránsito.	39
Tabla No. 4. Ensayos sobre materiales granulares para pavimentos de concreto hidráulico.	48
Tabla No. 5. Clasificaciones granulométricas para Bajos Volúmenes de tránsito (NT1).	52
Tabla No. 6. Sistema de clasificación de suelos de la AASTHO.	56
Tabla No. 7. Valores medios de soporte del suelo PCA.	57
Tabla No. 8. Requisitos de calidad de la emulsión para mezclar con agregados.	65
Tabla No. 9. Gestión de cambios existentes y probables para el contratista, fase de estudios.	87
Tabla No. 10. Gestión de cambios existentes y probables para el interventor, fase de estudios.	88
Tabla No. 11. Gestión de cambios existentes y probables para el contratista, fase de obra.	94
Tabla No. 12. Gestión de cambios existentes y probables para el interventor, fase de obra.	95
Tabla No. 13. Resumen sobre inversiones finales realizadas por actividad de obra.	108
Tabla No. 14. Precios de transporte de materiales para pavimento.	109
Tabla No. 15. Sobre costos por ajustes de diseños iniciales – m3.	109

1. Introducción

Desde hace algunos años, la gestión de los proyectos públicos han involucrado el uso de materiales no convencionales dentro de los procesos y materiales de construcción, especialmente en la construcción de pavimentos para calles y carreteras de tercer orden, que no requieren estructuras muy exigentes, dado que los vehículos que circulan por ellas son sensiblemente menores en cantidad y en peso. Un claro ejemplo es el uso de desechos de demolición de pavimentos flexibles se ha dado en algunas de las alcaldías locales de la ciudad de Bogotá, en las cuales se han empleado los desechos del fresado de los pavimentos de las vías principales de la ciudad como parte de la estructura de soporte de calles en los barrios de Bosa, Kennedy y demás, de la misma forma se venían empleando estos mismos desechos aportados a los contratos de mantenimiento de la Alcaldía Local de Sumapaz, para la habilitación de las vías rurales de esta zona de páramo.

Teniendo en cuenta que estos procesos son relativamente nuevos y que las normas que usualmente empleadas en las obras de construcción de pavimentos con materiales convencionales no son claras para contratista y entidades contratantes, respecto de su aplicación específica en el reciclaje, en este documento mostrarán los resultados de una primera etapa de investigación en la cual se tendrá en cuenta el reciclado como alternativa de uso en pavimentos de bajo volumen de tráfico, su aplicación en un contrato de obra específico está basado en la gestión de información existente y en la compilación de diversas experiencias tenidas a este respecto durante más de 15 años en el campo de la Ingeniería de pavimentos en Colombia y en diferentes países del mundo.

Este documento puede verse como la extensión de un proceso preliminar de investigación que empezó a tener forma en los laboratorios de INVIAS, en el que el autor tuvo la oportunidad de participar como auxiliar de investigación y que dentro de las líneas trabajadas se encontraba, precisamente, el reciclaje de materiales producto de desperdicios sólidos, lo cual sirvió de soporte para la elaboración tesis, videos y publicaciones que pueden ser consultados en la web y que de alguna forma fundamentaron los aspectos básicos de las normas nacionales que rigen el uso del RAP (Reclamad Asphalt Pavement) o material de reciclaje del pavimentos en las estructuras de calles y carreteras.

El contenido del documento establece una serie de temas, tratados de manera sencilla que hacen referencia a los aspectos básicos propios de la Ingeniería de pavimentos y su relación con gestión de proyectos, se espera que sea visto como una de las etapas más importantes en dicha gestión que es precisamente la “gestión de cambios” y su efecto sobre en producto terminado. Esta investigación tiene en cuenta las diferentes facetas del proyecto y la aplicación de resultados específicos de laboratorio para mejorar, no solo el producto entregado a la comunidad, sino también, el estado del arte dentro de la aplicación de materiales tipo RAP, en mezclas en frio para pavimentos de bajos volúmenes de tránsito. En este sentido, una primera etapa del informe establecerá algunos criterios de orden general respecto a la gestión de proyectos públicos en los cuales se necesite aplicar reciclajes en algunos de los procesos de diseño y ejecución de los proyectos de infraestructura.

En una segunda etapa del informe se podrán establecer los lineamientos actuales, las normas y los procedimientos que eventualmente se vienen aplicando para desarrollar proyectos de esta naturaleza, en este sentido se mencionan los parámetros técnicos de los procesos de licitación y las estrategias que comúnmente emplean las entidades de orden nacional y departamental así como distrital para hacer uso de materiales de desecho en la construcción de pavimentos.

Con los parámetros clarificados y una especie de límite del conocimiento y en virtud de la participación en las últimas aplicaciones se esgrimirán los fundamentos de aplicación técnica específica para el empleo de materiales de desecho en construcción de pavimentos de bajos volúmenes de tránsito, específicamente direccionados a calles de barrios marginales y carreteras veredales en las cuales se podrían aplicar los procesos, dadas las limitadas posibilidades de las administraciones municipales para viabilizar proyectos de infraestructura vial.

De manera académica se hará un recuento del proceso de Gestión de cambios que se indujo dentro de un proyecto de pavimentación en el cual se estaba utilizando material de reciclaje como capa estabilizada de mejora de movilidad y a través del cual se dio pie para incorporar algunos aspectos teóricos y prácticos de una tecnología que aún no tiene presentes en Colombia y que precisamente los resultados encontrados son el núcleo de la investigación aplicada que aquí se desarrolló.

2. Problema De Investigación

2.1. Planteamiento del problema

En la actualidad existen diversos intentos para aplicar, dentro de los algunos contratos de obra pública, el uso de materiales producto de reciclaje de materiales de construcción, en especial aquellos que provienen de la demolición parcial o total de carpetas asfálticas existentes, sin embargo, al no existir unas reglas claras sobre el manejo y la utilización de estos materiales dentro de las obras, es probable que no se estén usando de manera eficiente y como venía pasando anteriormente, muchos de ellos se estén sobre valorando y es probable que su calidad de para que sean empleados de manera más eficaz.

En la mayor parte de los contratos de reconstrucción y rehabilitación de pavimentos asfálticos, especialmente, no se tiene previsto, de manera contractual, el uso de los materiales sobrantes, solamente, su disposición en zonas de botadero son muy pocos, casi ninguno, se estima la necesidad de evaluar los materiales remanentes y la posibilidad de que sean reciclaros y reutilizados de manera parcial o total en diferentes procesos dentro de las ejecución de las obras.

Desde las mismas normas que el Estado tiene para regular la calidad de los trabajos desarrollados por los contratistas, no se establece en forma expresa y clara como se deben manejar tales elementos y solo algunas de las normas se emplean de manera eventual en tales actividades.

En los últimos años se han empleado los reciclajes de pavimentos en etapas y obras públicas de pavimentos, a pesar de que no es muy clara la normativa, cuando se adelantan las actividades de adecuación del material viejo y se somete a procesos de adecuación, generalmente los resultados son satisfactorios y la reducción en los costos finales del proceso, comparados con los normales, son importantes.

De otro lado, en las poblaciones cercanas a los sitios poblados, como es el caso de Bogotá, Medellín, Cali, Cartagena y demás, existen Municipios en los que se presentan necesidades de movilidad y en virtud de la escasez de los recursos públicos de inversión, son habitantes de las zonas veredales, corregimientos y demás, se ven la necesidad de pagar mayores cantidades de recursos por el servicio de transporte de bienes y pasajeros, dado que los costos operacionales de transporte son altos al no poseer carreteras rurales con adecuadas posibilidades de movilidad, en este sentido, en un radio de 30 o 40 kilómetros, cerca al casco urbano de las grandes urbes, estos materiales provenientes de los desechos mencionados, podrían ser muy útiles para mejorar las condiciones de vida de algunas de estas comunidades.

Desde el punto de vista ambiental existe un importante impacto en la utilización de materiales de cantera, dentro de las zonas de explotación minera, la reutilización de agregados de desecho genera algún aporte para la mitigación de estos impactos.

Como vemos existe un panorama de anomalías que pueden ser abordadas si, de alguna forma se establecen los elementos propios de la problemática del uso de los materiales de desecho en construcción de pavimentos.

2.2. Formulación del problema

Para mitigar algunas de las necesidades anteriormente nombradas podemos establecer los siguientes interrogantes:

¿ De que manera se podrían emplear de manera más eficiente los desechos de pavimentos en construcción de estructuras nuevas?

- ¿Qué procedimientos técnicos, administrativos y en general de gestión se tienen para el uso de estos materiales de desecho?
- ¿Qué estrategias debemos emplear a fin de convertir el proceso de reciclaje en una actividad constructiva más eficiente y eficaz?
- ¿Cómo entidad territorial, de que manera se podría hacer la gestión de los proyectos de construcción de carreteras involucrando los materiales de desecho?

3. Objetivos de la investigación

3.1. Objetivo general

Establecer un proceso manejo de RAP que sea novedoso, consistente y aplicable a la gestión de proyectos de obra pública en construcción de pavimentos de baja especificación, utilizando los procedimientos de ingeniería vigentes en Colombia y en países con mayor grado de desarrollo tecnológico respecto de esta materia.

3.2. Objetivos específicos

- Hacer un análisis general de los procedimientos de trabajo y normas empleadas por las entidades estatales para el manejo del RAP, como material de construcción de pavimentos.
- Examinar un proyecto específico y determinar las falencias y fallas producidas por la gestión empleando la metodología existente.
- Introducir una gestión de cambios dentro del proyecto examinado, con el uso de parámetros alternativos a fin de mejorar el proceso.
- Evaluar, concluir y recomendar, según sean los resultados encontrados de manera preliminar.

4. Justificación del estudio

Como se mencionó en las anteriores partes preliminares del trabajo, se pueden presentar diversas justificaciones del estudio, dentro de las cuales se puede resaltar:

4.1. Justificación político - Administrativa

Un aparte fundamental de la filosofía del Estado es la de velar por el gasto y distribución eficiente de los recursos públicos, los procesos de inversión pública que se reflejan en los planes de desarrollo están asociados con las prioridades que las comunidades requieren para cumplir con sus necesidades básicas y dentro de este esquema las vías de comunicación son un mecanismo que se tiene para generar mejores y más eficientes procesos de desarrollo ya que a través de ellas se da pie para que se puedan desarrollar los procesos económicos de comercio de bienes y servicios, si las comunidades no cuentan con un adecuado sistema de vías de comunicación, buena parte de los gastos se tendrán que invertir en traslado de bienes y servicios ya que la carretera genera dentro de ellos un incremento o un ahorro en los gastos de movilización, en este sentido, cualquier tipo de ahorro que se dirija a mejorar el estado de la red vial terciaria o las vías de comunidades marginales de los cinturones de pobreza de las ciudades justifica los esfuerzos realizados desde la academia.

4.2. Justificación social

Es claro que con las inversiones más eficientes y destinando procesos especiales, como el caso del uso de los reciclajes a calles y carreteras de bajos niveles de tránsito, se da un aporte a la gestión de proyectos viales de interés público y en este aspecto se justifica realizar este tipo de esfuerzos ya que brindan posibilidades en la mejora de las vías y las

calles de comunidades necesitadas de un adecuado sistema de comunicación, no solo para la movilización de las personas sino también para establecer una mayor competitividad por la mayor posibilidad que se les da para sacar productos y servicios de sus zonas a los mercados locales, mejorando, de alguna forma, el desarrollo económico de las regiones.

4.3. Ambiental

Evidentemente que es justificable cualquier esfuerzo que apunte a la reducción de los impactos ambientales contrarios al mantenimiento del equilibrio de los ecosistemas, en pro de un ambiente sano de desarrollo en el que se pueda dejar un legado a las generaciones futuras, los esfuerzos que se hagan para hacer una gestión de los proyectos, desde el punto de vista del reciclado, redundan en disminución del uso de materiales nuevos y en el caso que nos ocupa, la explotación de canteras y la mejora en el eficiencia de los procesos de construcción tiene como resultado la disminución del uso de materiales convencionales que hacen tanto daño a los ecosistemas que se encuentran cerca del perímetro de las obras y la generación de polución que de alguna forma, también se disminuye con los procesos de reciclaje y en este punto se trata de cientos de toneladas de agregados que se dejan de extraer de la naturaleza y grandes volúmenes de gases y polvo que dejan de emanarse al medio ambiente.

4.4. Cultural

El cuidado del medio ambiente y el uso racional de los recursos naturales se ha convertido en una circunstancia cultural, es por ello que el proyecto justifica los esfuerzos atinentes al reciclado ya que se va incrementando e incentivando la cultura del reciclaje y teniendo en

cuenta que se puede tratar de volúmenes importantes de materiales tratados, el impacto también es evidente dentro de la manera como los funcionarios públicos y la comunidad en general interpretan la reutilización, no solo de los desechos de las carreteras, sino también los residuos propios de sus demoliciones y de alguna forma aportar una manera de ver los este tipo de residuos, como un elemento potencial de uso dentro de las actividades de construcción.

4.5. Personal

Desde el punto de vista del autor, el proyecto académico en desarrollo se justifica de manera importante ya que establece una fuerte relación entre la gestión de proyectos, la experiencia sostenida respecto de investigación de materiales y el aporte que puede brindarse sobre reciclaje a las comunidades que lo requieren en especial por que a través de los años se ha podido observar que existen grandes necesidades en vías de comunicación para comunidades que, incluso, se encuentran cerca de las ciudades y que por limitación de los recursos existentes no pueden acceder a ellas y que bajo tratamientos relativamente económicos y empleando materiales de desecho, pueden acceder a una mejora en la condición de sus vías.

5. Limitaciones de la investigación

En el transcurso de esta investigación hemos encontrado las siguientes restricciones:

- Solo es aplicable a municipios, corregimientos y poblados cercanos a las ciudades o eventualmente a la red primaria en la que eventualmente realicen obras de rehabilitación.
- Es fundamental la gestión que pueda realizar el funcionario de obras públicas municipales o de las alcaldías menores a fin de tener disposición de los desechos a utilizar, de la misma forma es de su pericia de desarrollar proyectos de donde depende que pueda aplicarse el procedimiento y sin lugar a dudas lograr recursos para la viabilización de los mismos.
- No existe una bibliografía muy extensa respecto del tema en em ámbito nacional y es necesario contar con ejemplos externos que igualmente son limitados.

6. Marco teórico

6.1. Antecedentes de estudio

6.1.1. Aspectos técnicos

El tema de reciclaje de materiales de construcción en Colombia es muy limitado, en la actualidad se ha creado una conciencia del empleo de estos en algunas obras viales ya que difícilmente se desarrolla en otro tipo de infraestructura ya que las vías tienen un campo importante de aplicación de materiales de diversa calidad y por la extensión y el volumen del requerimiento de materiales granulares es muy probable que resulte insuficiente la oferta, en un determinado momento.

Existen algunos antecedentes académicos de aplicación de materiales marginales en la construcción de estructuras de pavimentos, Universidades como la Nacional, Cauca, UIS, Militar, entre otras han generado trabajos asociados con este tema y hasta hace cerca de 15 años el INVIAS y posteriormente el IDU, estableció algunos parámetros relacionados con el reciclaje, específicamente aquel que resulta de la trituración de pavimentos existente a través de fresadoras o recicladoras de caminos, aunque son muy limitadas las herramientas para la ejecución de obras con reciclaje se han desarrollado obras donde se aplican estos materiales.

A nivel mundial se pueden encontrar diversas aplicaciones de procedimientos de reciclaje con residuos sólidos de diferente índole, que van de materiales poliméricos u orgánicos a residuos de actividades industriales de diferente índole, aplicados en elaboración de

elementos constitutivos de los espacios públicos, como canecas, pisos y canchas de juego, adoquines y demás, involucrando una serie de procesos de tratamiento a los desechos que van de muy simples, como el caso de pulverización de llantas de caucho a muy complejos como el caso de reconfiguración de plásticos para elaboración de elementos de urbanismo.

Desde el punto de vista de los materiales residuales de la demolición de los elementos estructurales de construcciones antiguas, incluyendo las carreteras, también se involucra un determinado proceso de reducción de tamaños, clasificación y uso, que resultaría, en algunos casos, ser más simple y económico que la utilización de materiales vírgenes de cantera.

En algunos casos, por ejemplo la disposición de los desechos sólidos de la concesión Bogotá – Villavicencio se hace a través de los planes de manejo ambiental de residuos sólidos y ellos se involucran en etapas diversas de la construcción, por ejemplo para adecuar sistemas de estabilización, en los cuales usan los desechos de excavaciones y los mismos escombros para construir sistemas de retención de masas de suelo. Otro ejemplo importante de disposición de residuos de construcción se da en el Municipio de Zarzal donde involucran los desechos, luego de un tratamiento mínimo, a la construcción de senderos peatonales.

En algunos proyectos, especialmente relacionados con carreteras y calles, los materiales producto de la demolición de pavimentos flexibles, son combinados con los agregados granulares vírgenes y extendidos en sus capas inferiores. Los pavimentos asfálticos que se demuelen, necesariamente deben ser procesado a través de máquinas especiales ya sean

recicladoras de caminos o fresadoras, a fin de conseguir particular pequeñas que se espera sean inferiores a dos pulgadas (2”).

6.1.2. Aspectos de orden administrativo y legal

Respecto de los procesos propios del uso de los materiales reciclados dentro de los contratos de orden público, que especialmente son los atinentes a las obras de infraestructura mencionadas en este documento, al ser una actividad relativamente nueva, involucrar materiales reciclados en dichos procesos de contratación, para los funcionarios se genera una contradicción, ya que establecer una pérdida de calidad respecto de los materiales convencionales y dadas las reglas fundamentales de la contratación pública las obras del Estado deben tener las condiciones de calidad óptima, al emplear materiales de desecho, se esperaría que su condición de desempeño fuera inferior a la normal ya que se encuentran, en el caso de los concretos, completamente contaminados con el material cementante, sea este cemento asfáltico o cemento portland y bajo este esquema los resultados de las pruebas de resistencia, de afinidad y demás elementos de tipo mecánico y químico no darán los resultados esperados.

Es por esta razón, que las administraciones nacionales, departamentales y municipales no ven con buenos ojos el uso de materiales de desecho en las obras nuevas y es natural ya que al no tener una certeza real del origen y procesamiento de los materiales de desecho es incierto el comportamiento que ellos tengan durante su utilización.

El desconocimiento del manejo de los materiales de desecho, su reprocesamiento, las adiciones requeridas y los términos en los cuales se deben emplear así como la falta de coherencia de la normativa actual son los elementos neurálgicos de la administración para incorporar dentro de sus proyectos de inversión estos tipos de materiales no convencionales.

Sin lugar a dudas, ningún mandatario se atrevería, ni si quiera, a proponer dentro de los estudios y diseños de un pavimento, la utilización de los materiales que resultan de las demoliciones de las estructuras antiguas y más si se tiene en cuenta que en la medida en que pasa el tiempo, el control y la gestión de revisión de las entidades como Contraloría, Procuraduría y demás van siendo mucho más estrictos. Esta es una circunstancia apenas natural ya que los recursos del Estado deben ser correctamente manejados y destinados a los fines propios a los que se debe bajo los preceptos técnicos y jurídicos de cada caso.

6.2. Bases teóricas

En términos generales un pavimento, sea asfáltico o hidráulico está constituido por una serie de capas que se encargan de transferir al suelo las diversas cargas provocadas por la circulación de vehículos sobre la capa superior de rodadura. En la figura No. 1 se pueden apreciar las estructuras típicas de pavimentos, sean estos urbanos o rurales y cuya capa superior pueda ser de concreto hidráulico o concreto asfáltico. La composición y función de las partes es la siguiente:

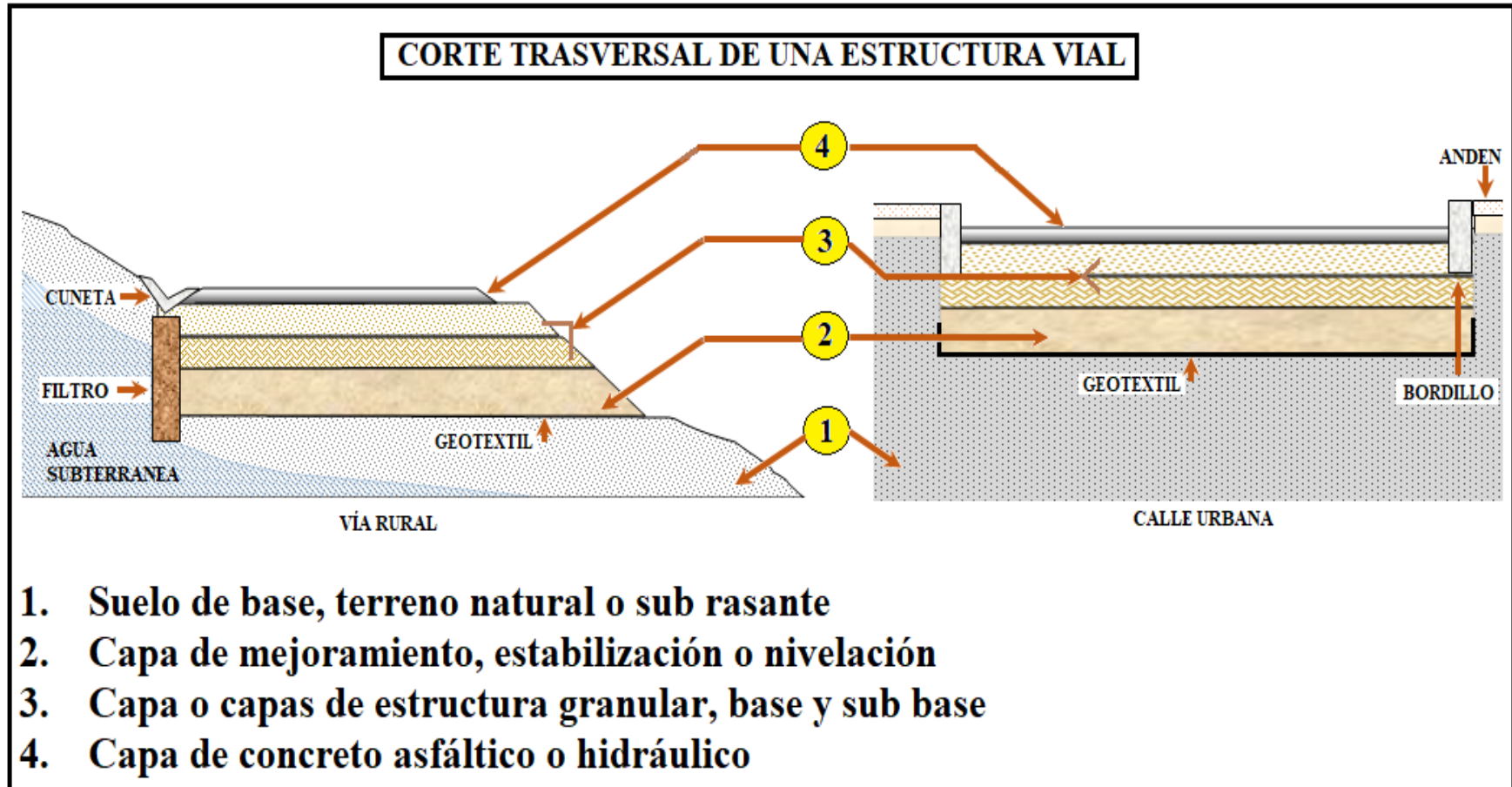


Figura 1. Corte transversal de una estructura vial

6.2.1. Suelo de base, terreno natural o sub rasante

Como su nombre lo indica es el terreno sobre el cual se va a colocar la estructura de la vía, al establecer una determinada carga sobre el suelo, sea edificación, puente o una carretera, se deben cumplir una serie de cualidades del terreno y del medio ambiente, bajo las cuales se hacen los diseños de la estructura del pavimento. En este sentido, al encontrar un suelo débil, en algunas ocasiones, es necesario realizar un tratamiento especial y en general se busca de la resistencia sea mayor, esto se consigue retirando el suelo orgánico o de mala calidad y reemplazando una parte de él por material granular más competente, en algunas circunstancias se colocan piedras de gran tamaño y se compactan densificando este suelo de base. Si el suelo es resistente, simplemente se instala una capa de nivelación.

Es muy probable que la vía en cuestión forme parte de una red comunal de comunicación, o sea que se trate de una vía transitada, es muy rara la circunstancia en la cual la carretera sea completamente nueva ya que los pavimentos y las vías en general, tienen un desarrollo histórico y la necesidad de pavimento surge cuando el volumen de tránsito y las necesidades de la región ameritan la instalación de un tipo de estructura más adecuada, por esta razón, es normal que sobre el terreno natural ya hay algún tipo de agregado, una capa material denominada afirmado, recebo, balastro o cualquier agregado grueso que permita un determinado tránsito sobre el corredor vial.

6.2.2. Capa de mejoramiento, estabilización o nivelación

Aprovechando las capas de materiales existentes se hace una primera nivelación del terreno, se instala algo más de material granular y se hace lo que se denomina una

conformación de la sub rasante a través de los cual se determinan los niveles iniciales del trazado geométrico, los rellenos laterales de ampliación de calzada y se da inicio a la construcción de obras de drenaje internas, es decir; Alcantarillas circulares, Alcantarillas rectangulares, puentes o pontones.

En las dos etapas anteriores, de acuerdo a la filosofía del reciclaje, se pueden elaborar procedimientos de aprovechamiento de materiales existentes, en este caso si el terreno natural cuenta con determinadas propiedades o el material de afirmado presenta factores determinados, con la adición de un elemento se puede efectuar una estabilización, que no es más que un reciclaje del material existente para conseguir una capa con mejores características mecánicas. A este tipo de intervención la llamaremos “RECICLADO DE CAMINOS”.

Es claro que el tratamiento realizado establece un periodo de estabilidad del material tratado mucho más largo e incluso lo habilita para instalar algún tipo de tratamiento de sellado a fin de que dure mucho más esta facultad. La duración media de un afirmado de buena calidad es inferior a 1 año y mayor a 5 meses, si se le da un tratamiento de “RECICLADO DE CAMINOS” su periodo de vida podría multiplicarse por dos.

6.2.3. Capas de estructura granular, base o sub base

Posterior a las etapas de nivelación vienen las capas de base y sub base granular, que de acuerdo a los tipos de pavimentos que trataremos en esta investigación pueden o no existir las dos clasificaciones y debido a que se trata de calles o carreteras de bajas especificación,

se espera que sean de poco espesor, en el manual de pavimentos de bajos volúmenes de tránsito del Instituto Nacional de Vías, establece dos tipos de tránsitos: (T1) con menos de 150 mil ejes equivalentes de 80 k N y (T2) entre 150 mil y 500 mil ejes equivalentes de 80 k N, Donde los ejes equivalentes establecen una carga patrón mediante la cual se hacen los diseños de estructuras de pavimento. Según esta equivalencia, los vehículos como carros, camionetas, micro buses, no inciden en el pavimento por su bajo peso, las cargas patrón solamente se tienen en cuenta para vehículos grandes, desde los buses de dos ejes en adelante. En las Especificaciones generales de carreteras del Instituto Nacional de Vías, Artículo 100, nos establece los niveles de tránsito en función de los cuales se establecen la calidad de los materiales, de los tres niveles de tránsito NT1, NT2 y NT3, el tipo de vías de que tratamos en este informe se encuentra básicamente dentro del nivel 1 (NT1).

Con las características de los suelos de la zona, las condiciones de las mencionadas cargas y los estados del medio ambiente de establecen los espesores del pavimento, en el mencionado Manual se tipifican una serie de alternativas estructurales que pueden relacionarse de la siguiente forma:

1. TSD : Tratamiento Superficial Doble. Artículo 431 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del INV
2. BG : Base granular. Artículo 330
3. SBG : Subbase Granular. Artículo 320
4. BEC : Suelo estabilizado con Cemento Portland. Artículo 341
5. MDF-2 : Mezcla Densa en Frío Tipo 2. Artículo 440
6. BEE-3 : Suelo estabilizado con emulsión. Artículo 340
7. MDC-2 : Mezcla Densa en Caliente Tipo 2. Artículo 450

8. AFR : Afirmado. Artículo 311

9. CSR : Capa Subrasante. Artículo 220

Con estas capas que se establecen en el manual se pueden conjugar diferentes estructuras a acordes con las necesidades y de ellas se pueden considere como capas recicladas las correspondientes al numeral 4 (BEC) y 6 (BEE-3) respectivamente, la primera es el suelo estabilizado con cemento portland y la segunda suelo estabilizado con emulsión asfáltica.

Las combinaciones establecidas por estos tipos de capa se clasifican en aquellas que prevén afirmados y las que no lo necesitan, en la tabla No. 1 se aprecian dichas combinaciones en las cuales la parte A corresponde a la carpeta asfáltica y B a las capas granulares, la capa A para el T1 no puede ser inferior a 50 mm, para T2 no puede ser inferior a 75mm y en términos generales las capas tipo B, no pueden ser menores a 150 mm, excepto los materiales tratados con cemento portland o emulsión, cuyos espesores son fijos de 200 ó 150 mm de espesor.

SIN AFIRMADO			CON. AFIRMADO		
Alternativa	Combinación		Alternativa	Combinación	
	A	B		A	B
1	TSD	+ BG + SBG	1a	TSD	+ BG + SBG + AFR
2	TSD	+ BG + BEC	2a	TSD	+ BG + BEC + AFR
3	MDF-2	+ BG + SBG	3a	MDF-2	+ BG + SBG + AFR
4	MDF-2	+ BEE-3 + SBG	4a	MDF-2	+ BEE-3 + AFR
5	MDC-2	+ BG + SBG	5a	MDC-2	+ BG + SBG + AFR
6	MDC-2	+ BG + BEC	6a	MDC-2	+ BG + BEC + AFR
	* Eventualmente				

Tabla No. 1. Tipología de estructuras manual INVIAS Bajos Volúmenes de Tránsito

Dentro de las alternativas susceptibles a considerar dentro de los diseños de los espesores y de las capas específicas de los materiales mencionados se adicionan otras alternativas a través de las cuales el INVIAS, permite que el consultor emplee materiales no convencionales que luego de un análisis de ingeniería se compruebe que por las limitaciones técnicas y económicas de los agregados normales sea viable emplear otros menos comunes, se citan los asfaltos naturales, los crudos pesados del petróleo, cemento portland modificado, cal, aceites sulfonados y productos hidrofobantes.

6.2.4. Capa de concreto asfáltico o hidráulico

En el Manual mencionado anteriormente solo se tienen previstas capas de materiales asfálticos ya que el Instituto Nacional de Vías posee un manual propio de concretos hidráulicos, en el cual la base tipo BEC puede ser empleada reduciendo de manera importante los espesores de las losas de concreto, estas capas BEC pueden provocar la disminución del espesor de las losas hasta llegar a los 150 mm.

Para las capas asfálticas se dan varias circunstancias de aplicación; mezclas en frío, es decir elaboradas especialmente con emulsión y mezclas en caliente, que como vimos anteriormente deben tener un mínimo de espesor de acuerdo al nivel del tránsito.

Como se puede constatar, en ninguno de los casos se menciona la posibilidad del uso de materiales de reciclado en las capas superiores es decir las carpetas asfálticas o en las losas de concreto.

6.2.5. Elementos accesorios a la estructura del pavimento

En la Figura 1 se observan una serie de elementos adicionales a la estructura, como es el caso de los bordillos o en andén de los pavimentos rígidos, ellos forman parte del urbanismo y sirven para confinar la estructura, especialmente las capas granulares.

Teniendo en cuenta que algunas carreteras o calles se encuentran en laderas de montañas, es necesario que se tengan en cuenta las corrientes de agua, aquellas que escurren por la superficie como las que se trasladan por el interior de la tierra. Las cargas hidrológicas superficiales se captan, conducen y disponen a través del sistema de drenaje superficial y las aguas subterráneas mediante el sistema de filtración, el objetivo de estos elementos es evitar que la estructura del pavimento reciba los efectos adversos de cambios de humedad y que se mantenga el equilibrio interno del agua dentro de la estructura.

Un elemento que puede cumplir funciones hidráulicas, de estabilización y/o de separación, es el geotextil, el cual impide que los materiales de la estructura se mezclen y contaminen con el terreno natural, esta tela es también un elemento que no siempre se instala, pero que también genera aportes de tipo mecánico sobre sub rasantes que tienen valores de resistencia de soporte muy bajo.

Hasta el momento se ha podido hacer una síntesis de los elementos básicos del diseño, composición y funcionamiento de una estructura de pavimento para bajos volúmenes de tránsito y se ha catalogado, por separado, cada una de las capas en las cuales se pueden adelantar procesos de reciclado, siendo la única en la que no existe antecedentes la capa superior de cobertura estructural, es decir la capa de rodadura. Figura 1 (4.).

6.3. Calidad de los materiales empleados en las capas

Los parámetros de calidad de los materiales para pavimentos de INVIAS se han establecido a través del tiempo bajo normas nacionales e internacionales, dentro de las cuales se pueden mencionar: A.A.S.H.T.O; la A.S.T.M; CEN; NLT; IRAM; MELC y las normas nacionales del ICONTEC, con ellas se han fijado rangos y tolerancias de comportamiento que hacen referencia, especialmente, a los siguientes criterios generales:

- Resistencia mecánica y química mínima y particular de los materiales granulares que de manera individual y en combinación se empleen en la elaboración de las capas del pavimento.
- Clasificación desde el punto de vista de tamaños y geometría de las partículas con las cuales se dan los rangos de granulometría y continuidad que generan un adecuado acomodamiento de los agregados dentro de la masa de la capa en cuestión y generan las mejores cualidades en cuanto resistencia e impermeabilidad.
- Porcentajes mínimos de algunos minerales, especialmente finos, que producen dentro del conjunto de partículas factores adversos a la resistencia del conjunto y cambios volumétricos que provocan daños e inestabilidad en la estructura de la capa final de la capa construida.
- Se esperan obtener unas características químicas específicas en las cuales se da una afinidad eléctrica entre los materiales granulométricos y los materiales *ligantes* como el cemento asfáltico, cemento hidráulico y el agua.
- Una determinada calidad y características específicas de los materiales *ligantes* que finalmente formarán parte de la matriz del conjunto o que permitirán la lubricación

interna, la manejabilidad y la obtención de parámetros de resistencia final de las mezclas elaboradas con ellos.

- Que el suelo de fundación cuente con unos valores mínimos de resistencia y humedad con los cuales se conserve el equilibrio geotécnico externo a la estructura del pavimento a fin de garantizar la estabilidad de la misma en el tiempo.

Por lo anterior, se debe tener en cuenta que al decidir que se va a usar un material reciclado, de alguna forma este material posee unas características han sido examinadas con antelación y es posible que aún se conserven aquellas que estén asociadas con la mineralogía, la resistencia y un remanente de las cualidades de adherencia del cemento asfáltico. Se puede decir que no solamente es el proceso propio de la explotación de los materiales en la cantera, sino que el proceso propio de evaluación que tuvieron, en su momento y que puede ser aprovechado. Las características físico – químicas básicas que requieren los materiales que conforman las capas del pavimento de vías de bajos volúmenes de tránsito se pueden observar en las siguientes dos tablas generales:

6.3.1. Granulometría

En la tabla No. 2 extractada de las Especificaciones Generales de Construcción del Instituto Nacional de Vías, se observan las franjas granulométricas de las capas de afirmado, base y sub base granular que se utilizan para la elaboración de las mezclas para vías de bajos volúmenes de tránsito, como se puede apreciar se conforma dentro cada grafica las regiones dentro de las cuales deben encontrarse el tamaño de partículas que constituyes cada uno de estos materiales.

No.	TAMIZ		AFIRMADO (Art. 311-Invias)				SUB BASE (Art. 320-Invias)				BASE (Art. 330-Invias)			
	Normal (mm)	Alternativo (Pulg.)	Tipo A-1		Tipo A-2		SBG-1		SBG-2		BG-1		BG-2	
			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
a	50	2"					100	100						
b	37,5	1 1/2"					70	95	100	100	100	100		
c	25	1					60	90	75	95	70	100		
sd	12,5	1/2"	100	100	100	100	45	75	55	85			100	100
e	19	3/4"	80	100	90	100	45			85	60	90	70	100
f	9,5	3/8"	60	85	65	90	40	70	45	75	45	75	50	80
g	4,75	No.4	40	65	45	70	25	55	30	60	30	60	35	65
h	2	No.10	30	50	35	55	15	40	20	45	20	45	20	45
i	0,425	No.40	13	30	15	35	6	25	8	30	1	30	10	30
j	0,0075	No.200	9	18	10	20	2	15	2	15	5	15	5	15

Se debe cumplir que:

- $0,20 < (j/h) < 0,45$
- $16 < [g * (c - d)] \leq 34$
- $100 \leq (\% \text{ contracción lineal} * i) \leq 240$

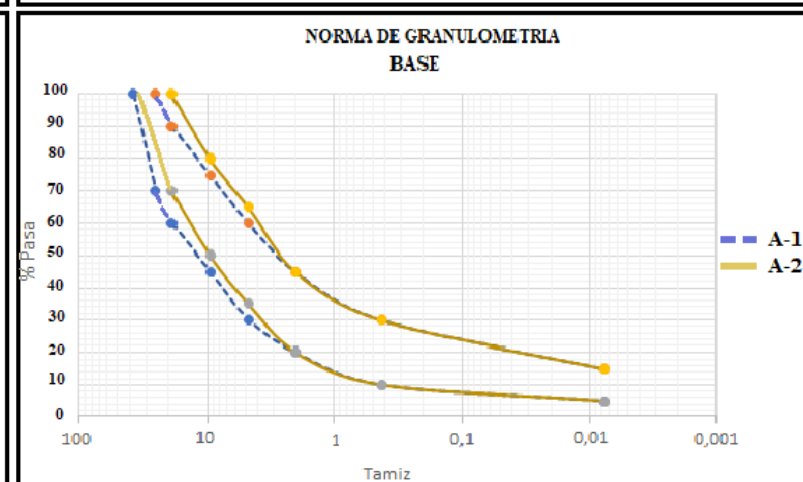
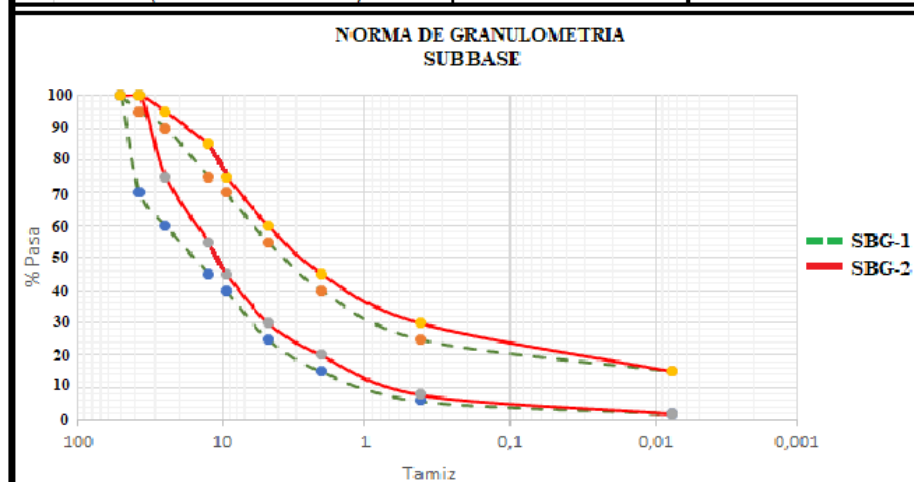
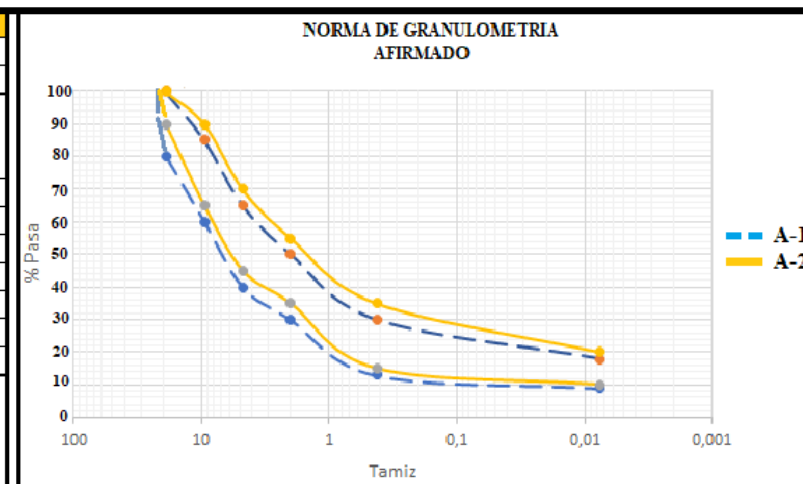


Tabla No. 2. Clasificaciones granulométricas para Bajos Volúmenes de Tránsito.

Fuente: Propia

REQUISITOS DE LOS AGREGADOS PARA AFIRMADOS, SUBBASES Y BASES GRANULARES PAVIMENTOS BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO				
ENSAYO	NORMA DE ENSAYO INV	AFIRMADO	SUBBASE GRANULAR	BASE GRANULAR
Dureza				
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A)	E-218			
- En seco, 500 revoluciones (%)		≤50	≤50	≤40
- En seco, 100 revoluciones (%)		—	—	≤8
- Después de 48 horas de inmersión, 500 revoluciones (%)		—	—	≤55
- Relación húmedo/seco, 500 revoluciones		—	—	≤2
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznales (%)	E-211	—	≤2	≤2
Durabilidad				
Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfatos	E-220			
- Sulfato de sodio (%)		≤12	≤12	≤12
- Sulfato de magnesio (%)		≤18	≤18	≤18
Limpieza				
Límite líquido (%)	E-125	≤40	≤40	≤40
Índice de plasticidad (%)	E-126	4 - 9	≤6	≤3
Equivalente de arena (%)	E-133	—	≥25	≥30
Valor de azul de metileno (1)	E-235	—	—	≤10
Contracción lineal	E-127	Art. 311	—	—
Geometría de las partículas				
Índices de alargamiento y aplanamiento (%)	E-230	—	—	≤5
Porcentaje de caras fracturadas (una cara)	E-227	—	—	≥50
Resistencia del material				
CBR (%) Nota : Porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión. Método D.	E-148	≥15	≥30	≥80
(1) El ensayo de Valor de azul de metileno solo será exigido cuando el equivalente de arena del material de base granular sea inferior a treinta (30), pero igual o superior a veinticinco (25)				

Tabla No. 3. Ensayos sobre materiales para Bajos Volúmenes de Tránsito

6.3.2. Parámetros de calidad de agregados para las capas granulares

En la tabla No. 3, que se elaboró a partir de la tabla 300.1, del artículo 300 de las Especificaciones Generales de Construcción de Inviás, en él se extraen los valores específicos de los ensayos de laboratorio a los que son sometidos los materiales de las capas granulares para cumplir con la calidad.

6.3.3. Dureza

Medida a través del Ensayo INV E-218, Desgaste en la máquina de los Ángeles, Este ensayo consiste en depositar dentro de un tanque metálico una cantidad determinada de agregados, un número determinado de esferas de acero e inmediatamente se pone en funcionamiento la máquina, la cual rota.

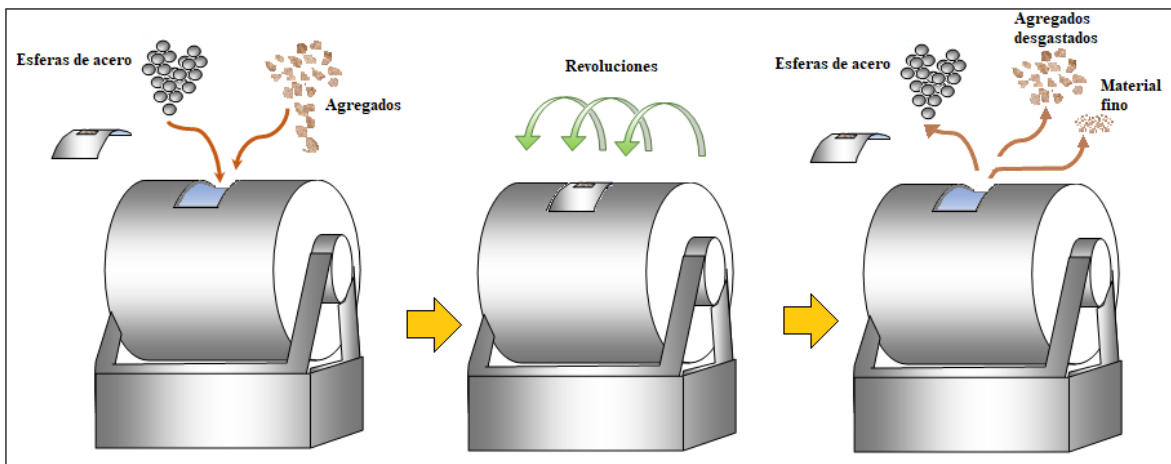


Figura 2. Principio de funcionamiento de la Máquina de los Ángeles

Luego de la rotación a un número determinado de veces y una cantidad de giros, las esferas han chocado con los agregados desgastándolos, si al peso inicial se le resta el peso final de estos agregados se ha perdido una parte de esta cantidad que queda depositado en forma de polvo en el fondo del tanque, otra en la superficie de las esferas y el resto en el aire, finalmente se divide la cantidad de agregado perdido sobre el agregado inicial dando como resultado la pérdida por desgaste y ese es el valor que se reporta con pérdida por desgaste. Como se observa en la Tabla No. 3, los valores de desgaste deben ser menores o iguales al 50%, para afirmados y sub base y 40% para bases, adicionalmente se somete a procesos adicionales en el caso que el material sea base granular.

6.3.4. Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznableles

Este ensayo consiste tomar muestras finas del material, someterlas procesos de secado y humedecimiento y luego de un lapso de tiempo presionarlas a fin de establecer si las partículas conservan las características de gradación inicial, de lo contrario luego del tamizaje de la muestra, parte de ella atravesará el tamiz inferior lo que indica que el agregado estaba constituido por partículas de arcilla o deleznableles, este porcentaje se compara con el peso inicial y se reporta el valor que para base o sub base granular debe ser menor o igual al 2%.

6.3.5. Ensayos de solidez a los sulfatos:

Esta prueba determina la estabilidad química de los agregados minerales, la muestra se somete a baños de Sulfatos de sodio o de magnesio, al final del ensayo se pesa la muestra y se compara el peso de la que quedo estable con el peso inicial y se reporta el porcentaje de perdida por desgaste químico, el valor para cualquiera de las capas analizadas; afirmado, sub base o base, debe ser menor o igual al 12% para sulfatos de sodio y menor o igual a 18% para sulfatos de magnesio.

6.3.6. Limpieza

Los ensayos asociados con este parámetro hacen referencia a las características que presentan los finos del material analizado. En primera instancia se determinan los índices de consistencia o límites de Attemberg con los cuales se puede conocer las humedades para las cuales se presentan los cambios de estado de estos finos con el cambio de humedad y se halla el valor del índice de plasticidad y límite líquido, de fundamental importancia para

conocer el comportamiento de los agregados para la estabilidad de las capas de pavimento en presencia de agua. En ningún caso el límite líquido puede ser mayor a 40%, el índice de plasticidad de afirmados debe estar entre 4 y 9%, para subbase menor o igual a 6% y base granular menor o igual al 3%.

En el caso de equivalente de arena, que establece la relación que existe entre los agregados que tienen un tamaño 4,75 mm (No.4), sean arcillas o arenas, se espera que este ensayo establezca una indicación de la calidad del agregado fino de la muestra. Solo es aplicable a subbases y bases, la primera de las cuales debe el equivalente de arena debe ser mayor o igual a 25% y para las bases mayor o igual a 30%. Existe una alternativa para las bases, si el valor esta entre 25 y 30%, se puede efectuar un ensayo denominado azul de metileno, el cual debe ser menor o igual a 10, para los afirmados existen unas relaciones entre los valores generados en la clasificación granulométrica que viabilizan el uso de los granulares, Numerales 1,2 y 3 de la Tabla No. 3.

6.3.7. Geometría de las partículas

Este tipo de ensayos establecer las características geométricas de las partículas de agregado, se espera que tengan caras angulosas y relaciones bajas entre sus dimensiones, ya que esto refleja mejores cualidades de resistencia de las mezclas finales, la primera condición se establece como caras fracturadas y establece que mínimo el 50% de los agregados deben poseer mínimo una y que el índice de alargamiento y aplanamiento debe ser menor o igual al 35%, estas variables solo son aplicables a bases granulares.

6.3.8. Resistencia del material - CBR

Este ensayo establece un índice de resistencia de los suelos - valor de la relación de soporte o en inglés California Bearing Ratio (CBR), se realiza sobre muestras inalteradas o muestras preparadas o remoldeadas y con ella se conoce la capacidad de soporte de las capas estudiadas así como del suelo natural.

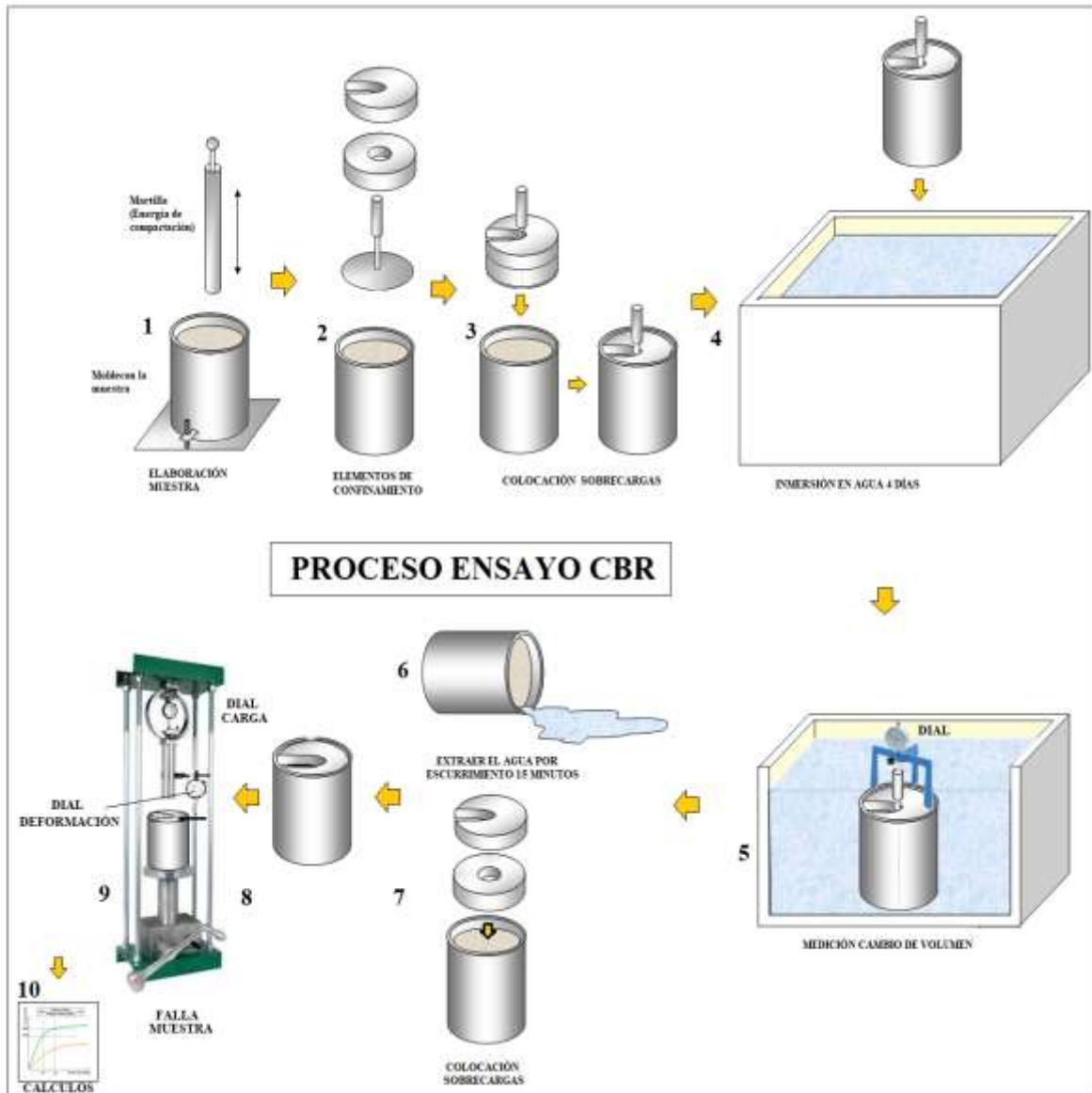


Figura 3. Proceso de ensayo CBR

En ensayo consiste en elaborar varias muestras, tal como se aprecia en la Figura No. 3, en las cuales se toman los materiales granulares y se compactan en moldes especificados por la norma a energías de compactación y humedades específicas, basados, generalmente en las densidades óptimas de laboratorio, posteriormente se colocan sobre las muestras elaboradas unas sobre cargas que asemejan las capas superiores que se colocarán en la vía (2 y 3), con un mecanismo de medición (Trípode y dial), se sumergen durante 4 días en agua (5), luego de lo cual se sacan del reservorio de agua y se deja unos minutos hasta que escurra la fracción de agua interna al cilindro metálico (6), se colocan las sobrecargas y se lleva a la prensa de penetración o falla (9), donde se penetra la muestra a una velocidad controlada y se registran los valores de carga en el tiempo y deformación mediante los diales que se observan en la figura, con los que se establecen los datos para la elaboración de los gráficos y los cálculos (10) del CBR que se estiman con la comparación con una muestra estándar.

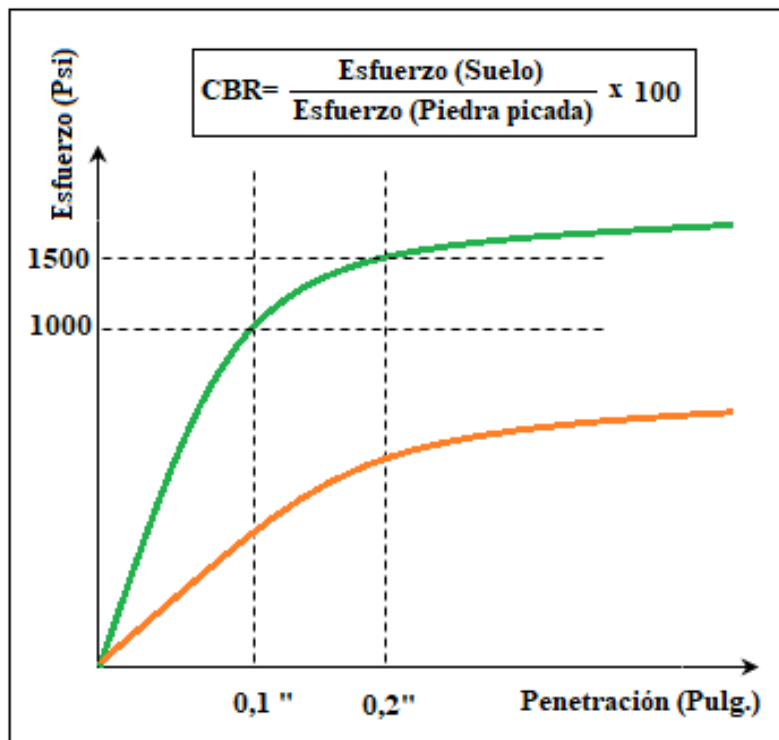


Figura 4. Esfuerzo deformación CBR, 0,1 y 0,2 pulgadas

En términos generales, los valores de CBR, establecen un importante parámetro de resistencia y el reporte final determina el valor en condiciones secas y saturadas empleando para los cálculos aquellos valores más críticos del suelo, es decir en estado saturado. En la tabla No. 3 se observa que para materiales de afirmado este valor debe ser mínimo de 15%, para subbases de 30% y bases granulares 80%.

6.4. Calidad de los materiales de cobertura o concretos de pavimentos

Desde el punto de vista de la composición y calidad de los materiales para las mezclas de cobertura en pavimentos (No. 4 – Figura 1), se debe cumplir con parámetros mínimos de calidad, que al igual que en el resto de las capas vistas, se encuentran establecidos de manera taxativa dentro de las normas mencionadas.

En la Figura No. 4 se puede apreciar una composición típica de concreto asfáltico y una de concreto hidráulico, como se observa, los porcentajes de agregados son superiores al 70% del total y si se tiene en cuenta que se trata de agregados de buena calidad su reciclado, también se esperaría que lo fuera.

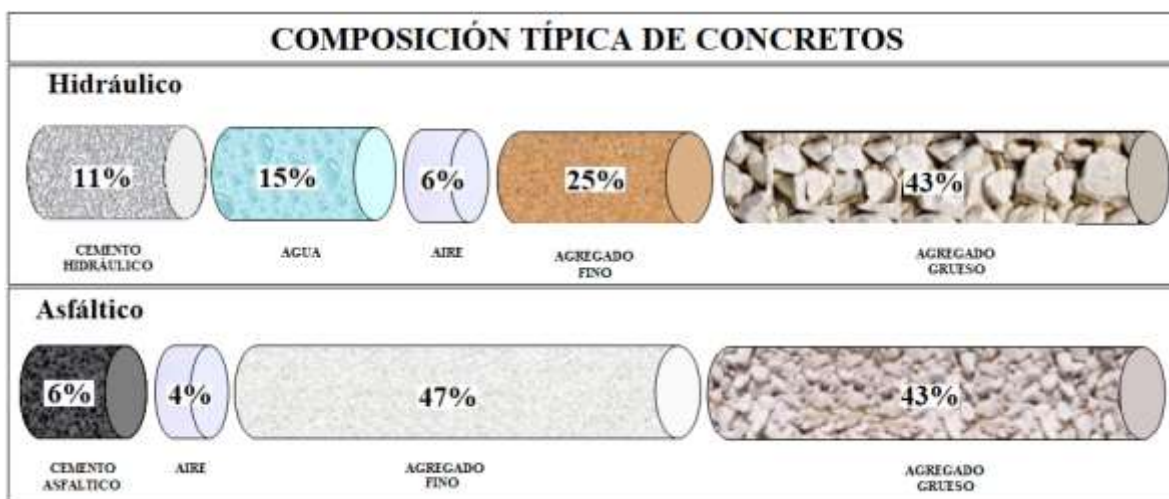


Figura 5. Composición típica de concretos.

En cuanto a los materiales cementantes podemos decir que son insumos que usualmente son distribuidos o vendidos por empresas relativamente grandes ya que el proceso de obtención de ellos es mucho más complejo que el de los agregados, su composición y comportamiento químico resulta ser fundamental a la hora de diseñar las mezclas.

6.4.1. Cemento portland tipo - 1

El Cemento Portland Tipo 1 se constituye como el material cementante de los concretos hidráulicos para elaboración de los pavimentos, se produce en plantas especiales en las cuales se realiza un proceso trituración y mezcla de Clinker, sulfato de calcio, además adiciones como yeso, cenizas y otros elementos que le dan las propiedades químicas de cemento al estar en contacto con el agua.

Su composición química está basada en óxidos de los cuales el de calcio es el más abundante con cerca del 65%, el dióxido de silicio ocupa cerca de una cuarta parte y el 10% restante está conformado por óxidos de magnesio, aluminio, hierro y azufre.

Los controles de calidad del material se efectúan sobre el cemento seco y sobre la mezcla que se hace con agua a la cual se le denomina pasta de cemento y al mezclarse con una determinada proporción de arena se forma un mortero, dentro de los ensayos característicos tenemos:

1. Finura o superficie específica.
2. Permeabilidad al aire.
3. Expansión al autoclave.

4. Tiempo de fraguado.
5. Resistencia a la compresión del mortero.
6. Resistencia a la tracción del mortero.
7. Contenido de aire del mortero.

6.4.2. Agregados para un concreto hidráulico.

Veamos a continuación los parámetros de calidad esperados para los agregados de concreto para losas de pavimentos, respecto de su granulometría y de las características mecánicas y químicas básicas normalizadas:

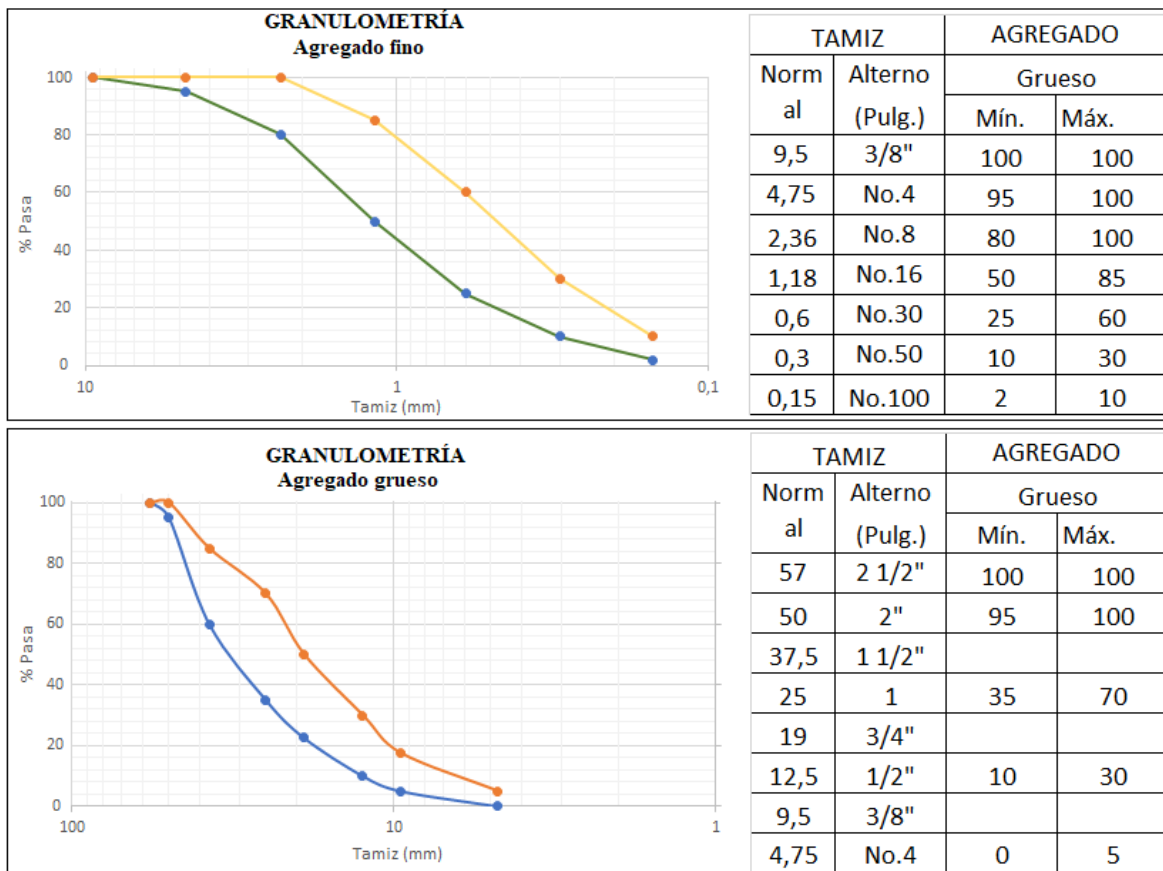


Figura 6. Curvas granulométricas para agregados de concretos hidráulicos en pavimentos.

ENSAYO	NORMA INVIAS	Parámetro (%)	AGREGADOS	
			Gruesos	Finos
Desgaste en la Máquina de los Ángeles.	E-218 / E219	Máx.	40	
Desgaste microdeval	E-238	Máx.	30	
Solidez, Sulfato de sodio y sulfato de magnesio.	E-220	Máx.	12 y 18	10 y 15
FORMA: Partículas planas y alargadas (5:1).	E-240	Máx.	10	
Contenido de impurezas (Aragado grueso).	E-237	Máx.	0,5	
Cantidad de sulfatos	E-233	Máx.	1	1
Contenido terrones de arcilla y part. Deleznales	E-211	Máx.		1
Pasa 200	E-213	Máx.		5
Contenido de partículas livianas	E-221	Máx.		0,5
Reactividad al alcaliz	NTC-174			Negativa
Equivalente de arena	E-133	Mín		60
Colorimetría (Materia orgánica color más oscuro)	E-212			Más oscuro

Tabla No. 4. Ensayos sobre materiales granulares para pavimentos de concreto hidráulico.

Se observa que para este tipo de aplicación los agregados deben poseer una mayor exigencia desde el punto de vista de los finos y de las cualidades físicas y químicas de los mismos, incluso si se compara con algunas características de los agregados para los concretos asfálticos, que veremos más adelante.

Es importante notar que como material de reciclaje, el concreto hidráulico proviene no solo de las carreteras o de las calles, sino también, de las demoliciones de estructuras, con la diferencia que los procesos de recuperación involucran la intervención de maquinaria y mano de obra, usualmente fuera del sitio de obra.

6.4.3. Cemento asfáltico

A pesar de que existen otras fuentes de materiales cementantes de naturaleza bituminosa, al igual que el material cementante del numeral anterior, resulta de un proceso complejo de obtención que solamente se realiza en las refinerías petroleras, en las cuales resulta de la

destilación de los diferentes productos; aceites, ceras y demás polímeros que luego de la refinación queda un residuo que con un determinado proceso se llega al cemento asfáltico empleado de manera convencional en la fabricación de los concretos asfálticos.

Los cementos asfáltico tienen una composición química compleja, conformada por grandes cadenas de hidrocarburos de diversa naturaleza y elevado peso molecular que a temperatura ambiente configuran un elemento semisólido de color especialmente negro, durante muchos años la única productora y distribuidora de cemento asfáltico ha sido la Empresa Colombiana de Petróleos, ECOPETROL, que tiene capacidad para obtener este material en sus refinerías de Barrancabermeja, Apiay y Cartagena.

Respecto de la calidad del bitumen, ECOPETROL suministra los documentos de calidad de cada pedido y en él se registran las principales cualidades físico – químicas que se determinan en el laboratorio para cada envío. Los ensayos más característicos y los necesarios para conocer el material y las cualidades básicas para su procesamiento como insumo de carreteras son:

1. Penetración.
2. Punto de ablandamiento.
3. Índice de penetración.
4. Viscosidad absoluta.
5. Ductilidad.
6. Solubilidad en tricloroetileno.
7. Contenido de agua.
8. Punto de inflamación.

Luego de la prueba de acondicionamiento en película delgada “envejecimiento”, se realizan las siguientes pruebas:

9. Pérdida de masa por calentamiento
10. Penetración del residuo, en % de penetración del asfalto original
11. Incremento del punto de ablandamiento
12. Índice de envejecimiento

El estado del material es tal que solo con el aumento de temperatura puede cambiar de estado, de tal forma que cuando se quiere mezclar con los agregados es necesario hacerlo en una planta en caliente, sin embargo el asfalto puede ser también combinado con un líquido, que en el caso de las emulsiones asfálticas, es agua y un aditivo emulgente.

Lo anterior indica que las mezclas con agregados pueden realizarse en caliente o en frío y de esta forma se conocen las mezclas, en caliente o en frío. Por lo tanto existen algunos controles adicionales para las emulsiones asfálticas que ya no son exclusivas de Ecopetrol sino que existen proveedores de ellas en diferentes partes del país, a ellas se les verifica:

1. Viscosidad Saybolt Furol.
2. Contenido de agua.
3. Estabilidad de almacenamiento y % de sedimentación.
4. Contenido de asfalto residual y de aceite, por destilación.
5. Tamizado.
6. Demulsibilidad.
7. Rotura en el ensayo de mezcla con cemento.
8. Carga de partícula.
9. PH.

10. Corrimiento del agregado y resistencia al deslizamiento.

Luego de la destilación se le realiza:

11. Penetración

12. Ductilidad.

13. Solubilidad en tricloroetileno.

Se debe mencionar que existe una condición que se presenta en el interfaz entre el concreto asfáltico y la capa granular inferior y es la condición de liga, generalmente antes de instalar el concreto asfáltico se coloca una película sobre la base granular que establece una condición de adherencia entre las capas a este proceso se le llama imprimación y se hace con asfalto líquido o con emulsión asfáltica. En el caso que se desee colocar la capa asfáltica sobre losas de concreto hidráulico o sobre otra capa de concreto asfáltico (No puede ser un tratamiento superficial, sello arena asfalto o lechada asfáltica) es necesario realizar un proceso similar al anterior y en este caso se le llama riego de liga.

Las emulsiones asfálticas se utilizan para la elaboración de concretos en frío y están diseñadas para que funcionen en diferentes circunstancias de trabajo, climas o velocidades de reacción, para clima cálido su componente asfáltico es duro y para clima frío es blando, la velocidad de reacción puede ser inmediata, puede ser lenta o una media en el tiempo, por esta razón se pueden encontrar una gama de emulsiones según sean las necesidades.

6.4.4. Materiales granulares para capa de cobertura

Los siguientes son los requisitos de calidad para los agregados granulares empleados para materiales asfálticos para estructuras de pavimentos tipo NT1:

ENSAYO	NORMA INVIAS	Parámetro (%)	TIPO DE MEZCLA									
			A	B		C		D	E		F	
				1	2	1	2		1	2	3	4
Desgaste en la Máquina de los Ángeles.	E-218 / E219	Máx.	25	25	35	25	35	35	25	35	40	25
Solidez, Sulfato de sodio y sulfato de magnesio.	E-220	Máx.	12 y 18	12 y 18		12 y 18		12 y 18	12 y 18		12 y 18	
Partículas fracturadas mecan. 1 cara / 2 caras.	E-227	Min	75	75	60	75	60		75	60	50	75
Angularidad Método A (Agregado fino).	E-232	Min				40	35	60	40	35	35	40
Coefficiente de pulimiento acelerado.	E-239	Min	0,45	0,45					0,45			0,45
Forma: índice aplanamiento - Alargamiento.	E-230	Máx.	30 y 30			0,45						
FORMA: Partículas planas y alargadas (5:1).	E-240	Máx.		10		10		10	10		10	
Índice de plasticidad IP	E-125 / E126					N.P.			NP		NP	
Equivalente de arena.	E-133	Min				50			50		30	50
Contenido de impurezas (Agregado grueso).	E-237	Máx.	0,5	0,5		0,5		0,5				0,5
ADHERENCIA: Stripping.	E-737	Min		95				95				
Bandeja.	E-740	Min	80									
Resistencia conservada inm-comp.	E-738	Min				75					50	
Resistencia conservada tracción indirecta.	E-725	Min							80			80

SIMBOLOGÍA		
A. Tratamiento doble		1. Carpeta de rodadura
B. Mezcla abierta en frío		2. Capa intermedia
C. Mezcla densa en frío		3. En frío
D. Mezcla abierta en caliente		4. En caliente
E. Mezcla densa y semidensa en caliente		
F. Reciclado de pavimento existente (adición)		

Fuente: INVIAS

Tabla No. 5. Características de los materiales para Bajos Volúmenes de tránsito (NT1)

En la tabla No. 3, extractada del artículo 400 de las Especificaciones Generales de Construcción del Instituto Nacional de Vías, se pueden ver las características mecánicas y químicas exigidas donde se encuentran incluidos los materiales de adición para los reciclados de pavimento existente (F). Como se puede observar, algunas de las características evaluadas ya fueron mencionadas en la sección de resumen de agregados, sin embargo, se establecen valores más exigentes, por ejemplo: El desgaste en la Máquina de los ángeles pasa de 40 y 50% a 25 y 35 para las mezclas densas en caliente (E) y se mantienen en las adiciones para reciclajes (F), el contenido de impurezas se reduce su tolerancia a una cuarta parte y en especial se evalúa para las adiciones de reciclaje, el equivalente de arena se aumenta y el índice de plasticidad no admite ningún valor, lo que indica que los materiales finos debes ser NP (no plásticos) en este caso.

Para la consideración que se está haciendo en este estudio, son especialmente importantes las 2 últimas columnas de la tabla ya que la columna E lista las características de los agregados para concretos asfálticos densos o semi densos en caliente que ocupan más del 90% de las mezclas que se ponen en las principales ciudades del país y que, como es de esperarse, surge la materia prima para los procesos de reciclado y la última columna (F), también es importante debido a que establece los criterios de calidad para las adiciones a los materiales de reciclado, que a pesar de que no lo establece en la tabla, es de suponer que se trata de materiales granulares de base o sub base que forman parte de la estructura.

Es de esperarse que los parámetros técnicos relacionados anteriormente, que fueron previstos para vías de bajo volumen de tránsito NT1, donde se incluyen las vías de baja especificación establecidas en el Manual de Bajos Volúmenes de Tránsito de Inviás, posean un remanente de las condiciones para las que fueron utilizadas y que su comportamiento al momento de ser aplicados como reciclaje, se traduzcan en buenas condiciones de calidad si son adecuadamente manipulados estos insumos.

6.5. Procesos de reciclaje en tierra y afirmados

Aunque existen una gran cantidad de aplicaciones de los diferentes materiales dentro de las estructuras convencionales así como de tecnologías especiales, para los fines de este trabajo lo que se ha resumido hasta ahora sirve de base para establecer la base teórica a partir de la cual se formularán los criterios de utilización de los productos del reciclaje de las estructuras de pavimento deterioradas. En resumen podemos establecer que se dan tratamientos de reciclaje dentro de los siguientes esquemas de trabajo:

1. Caminos en tierra o afirmado.
2. Bases estabilizadas.
3. Estructuras de pavimento con cobertura de reciclaje.

De los primeros numerales existe normativa y trabajos realizados, pero del último existe muy poca o nula experiencia en el tema por lo que buena parte del desarrollo de este informe estará dirigido a mejorar el estado del arte de este tópico a fin de ofrecer una alternativa de uso de los desechos mucho más eficiente que la que actualmente se está llevando a cabo.

6.5.1. Reciclaje en tierra o afirmados

6.5.1.1. Con cemento hidráulico

La estabilización del suelo natural, podría verse como una forma básica de reciclaje ya que se utiliza el mismo material que se encuentra en el sitio y se le agrega algún tipo de modificante y se conforma una nueva capa con mejores propiedades mecánicas a las que existían con anterioridad.

Al tratamiento que se hace sobre el material existente en la carretera o calle se le denomina suelo – cemento y en nuestro tiempo los sitios donde más se han dado este tipo de solución es en los Estados Unidos, donde se han hecho más de 120 mil kilómetros de calles, carreteras y aeropistas para bajos volúmenes de tráfico, de acuerdo a los registros de la PCA (Portland Cement Association) existen espesores de vías entre los 0,1 y 0,3 m de espesor y en algunas circunstancias pueden llegar a los 0,4 m en vías Interestatales.

Como es de esperarse el comportamiento y la estabilidad de las capas de suelo – cemento están muy relacionadas con la naturaleza del suelo intervenido, de acuerdo con la PCA, los valores medios, a 28 días de curado, son los siguientes:

- Resistencia a la compresión, saturada: 400 – 900 psi
- Módulo de rotura: 80 – 180 psi
- Módulo de elasticidad (módulo elástico a la flexión) 600,000 – 2'000.000 psi.
- Relación de Poisson: 0,12 – 0,14

Se ha podido detectar que los valores de resistencia tienen un incremento con el tiempo de puesta al servicio de pavimento y que las propiedades relacionadas con la fatiga están directamente relacionadas con el suelo tratado, veamos uno de los sistemas de clasificación de suelos más utilizados en el campo de la geotecnia vial, el sistema de clasificación AASTHO, con el cual estableceremos alguna relación con los parámetros del suelo y los umbrales de reciclado de caminos existentes con el tratamiento de suelo – cemento:

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASTHO											
Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
Clasificación de grupo	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...	...	...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.	N.P.	N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

^B El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

Tabla No. 6. Sistema de clasificación de suelos de la AASTHO.

Fuente: Villalaz 1980

En la Tabla 6 se pueden clasificar los suelos en 2 grupos, así:

1. Suelos granulares – Grupos A-1, A-3, A-2-4, y A-2-5
2. Suelos de gradación fina – Grupos A-2-6, A-2-7, A-4, A-5, A-6, y A-7.

Este factor asociado con deflexiones, radios de curvatura y resultados de fatiga son empleados para generar diseños óptimos de suelo cementos, de acuerdo a los procesos de diseño de la PCA (Boletín – 142), para un adecuado diseño se deben tener en cuenta:

- Resistencia del suelo.
- Periodo de diseño del pavimento.
- Tráfico.
- Espesores de base de capa de suelo-cemento.
- Espesor de la capa de cobertura superficial.

A este tipo de tratamiento, también conocido como pavimentos unicapa debe ser desarrollado mediante un proceso de diseño que establece capacidades y espesores de capas, así como es posible obtener pavimentos de alto desempeño con el uso de los materiales existentes en la calzada, sea suelo natural o afirmados, también existe suelos difíciles de tratar y se hace necesaria la adición de procedimiento distintos para alcanzar algún resultado, los siguientes son los rangos de suelos que se pueden encontrar para efectuar el proceso de diseño de suelo – cemento, de acuerdo a la PCA.

Valores medios de soporte de suelos			
Tipo de suelo	Resistencia	CBR (%)	Valor de K (Lib./pulg ³)
Finos donde predominan limos y arcillas	Baja	3 a 6	100 a 150
Arenas pobremente gradadas, predominantemente arenosos, bajos en limos y arcillas	Media	6 a 10	150 a 200
Gruesos, matriz arenosa bien gradada, NP.	Alta	Más de 10	Más de 200

Tabla No. 7. Valores medios de soporte del suelo PCA.

Fuente: PCA – Boletín 142

En la Tabla 7 se observan los rangos que podrían encontrarse en un suelo a tratar y el valor de k, establece una variable de medición que hace referencia al módulo de reacción del suelo ó coeficiente de balasto que se determina a través del ensayo de placa (ASSHTO T 222-81).

$$k = \frac{q}{y}$$

En la relación; q hace referencia a la tensión transmitida por la carga de una placa rígida sobre el suelo, el cual es penetrado o deformado por un asentamiento y. La placa tiene un diámetro de 30,5 cm. Entonces: el módulo k es la reacción entre la tensión capaz de generar

una penetración de placa de 0,05 pulgadas (0,127cm), siendo la pendiente de la recta que une la curva de tensión - deformación con el origen.

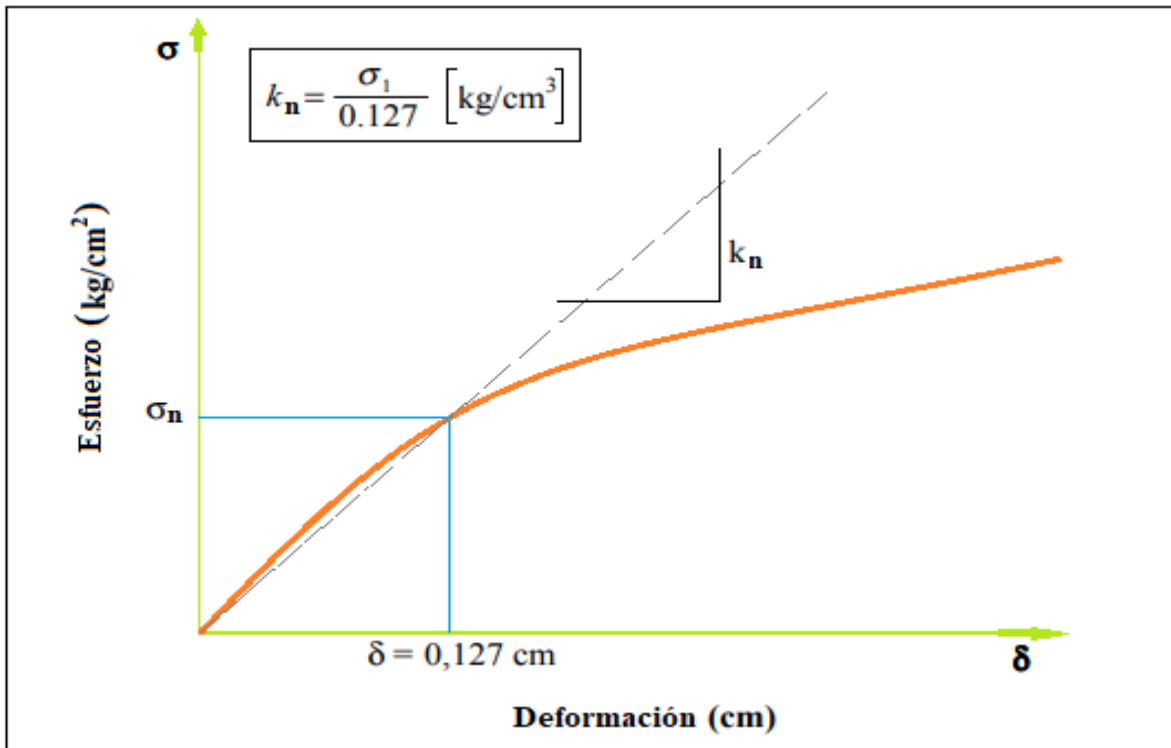


Figura 7. Curva esfuerzo – deformación y módulo de reacción del suelo. Ensayo de placa.

Los factores asociados a los periodos de diseño, usualmente para materiales en los que se utiliza cemento hidráulico es de 20 años, sin embargo podrían tener estabilidades a mayor tiempo, de una forma u otra esto es potestad del diseñador, de otro lado los parámetros de tránsito se basan en los parámetros anteriormente mencionados T1 y T2 de bajos volúmenes de tránsito, incluyendo aquí lo que respecta a las calles. Cabe mencionar que los parámetros de cálculo se encuentran ligados a los concretos hidráulicos es decir en de considerar el “Factor de fatiga” como el elemento básico de diseño.

En las figuras 7 y 8 de las siguientes páginas se podrá encontrar unas tablas generales diseñadas por la PCA, para conocer, en forma aproximada, los valores de los espesores de

Suelo – cemento, de acuerdo con el valor de k del suelo y el número de ejes equivalentes en el periodo de diseño.

En la tabla Número 9 se observa la carta de diseño bajo la cual se debe hacer un ajuste a los espesores del suelo – cemento en caso de que se coloquen capas de rodadura sobre el respectivo tratamiento, lo que indica que para una capa de suelo – cemento que determine en el diseño, por ejemplo un espesor de 20 cm y se le coloque una capa de concreto asfáltico de cobertura de 5 cm se puede hacer una reducción de ajuste de 2,5 cm, lo que indica que la capa construida de suelo – cemento, deberá ser de 17,5 cm bajo la capa de concreto asfáltico de 5 cm.

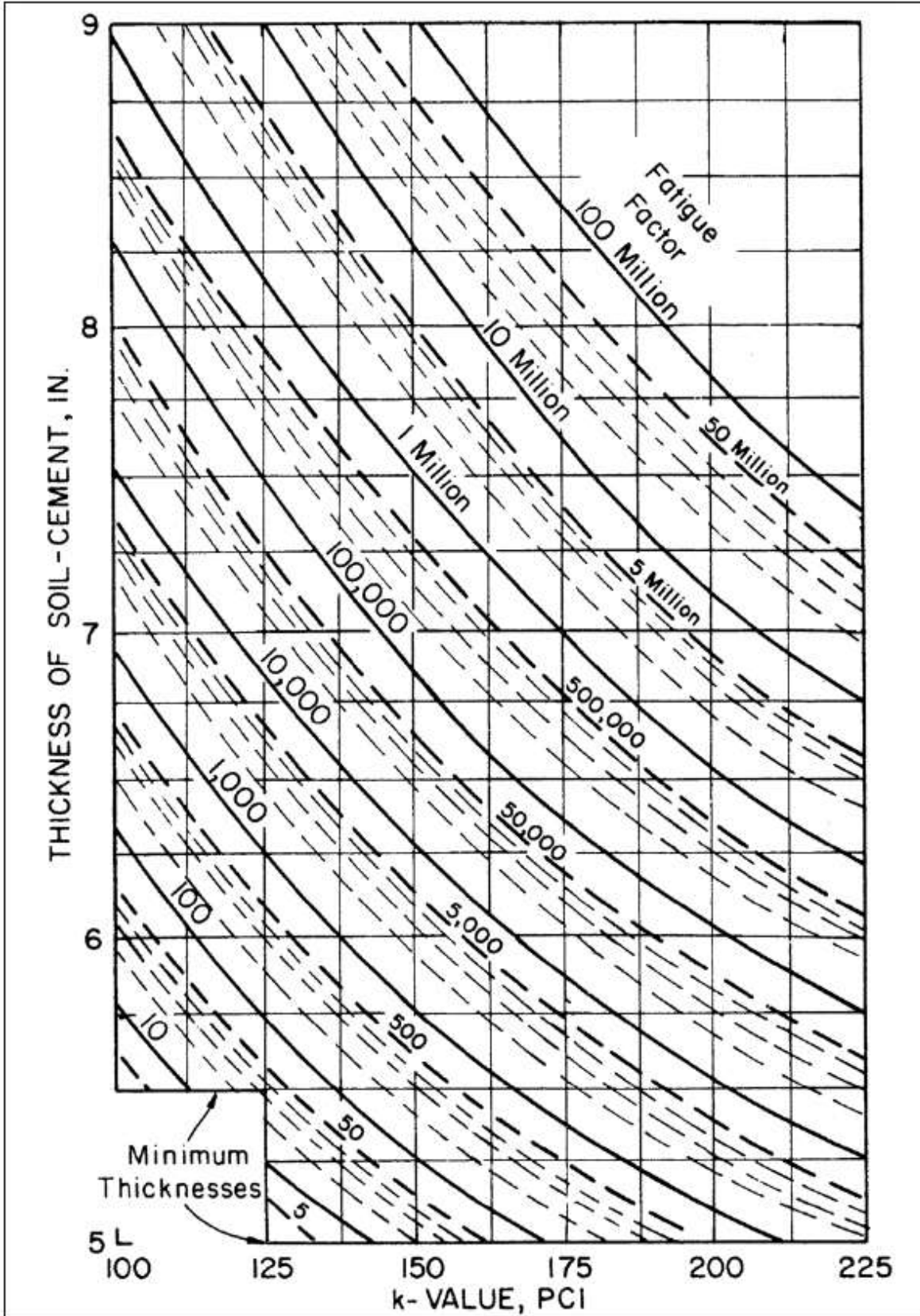


Figura 8. Carta de diseño PCA. Suelos granulares.

Fuente: PCA – Boletín 142

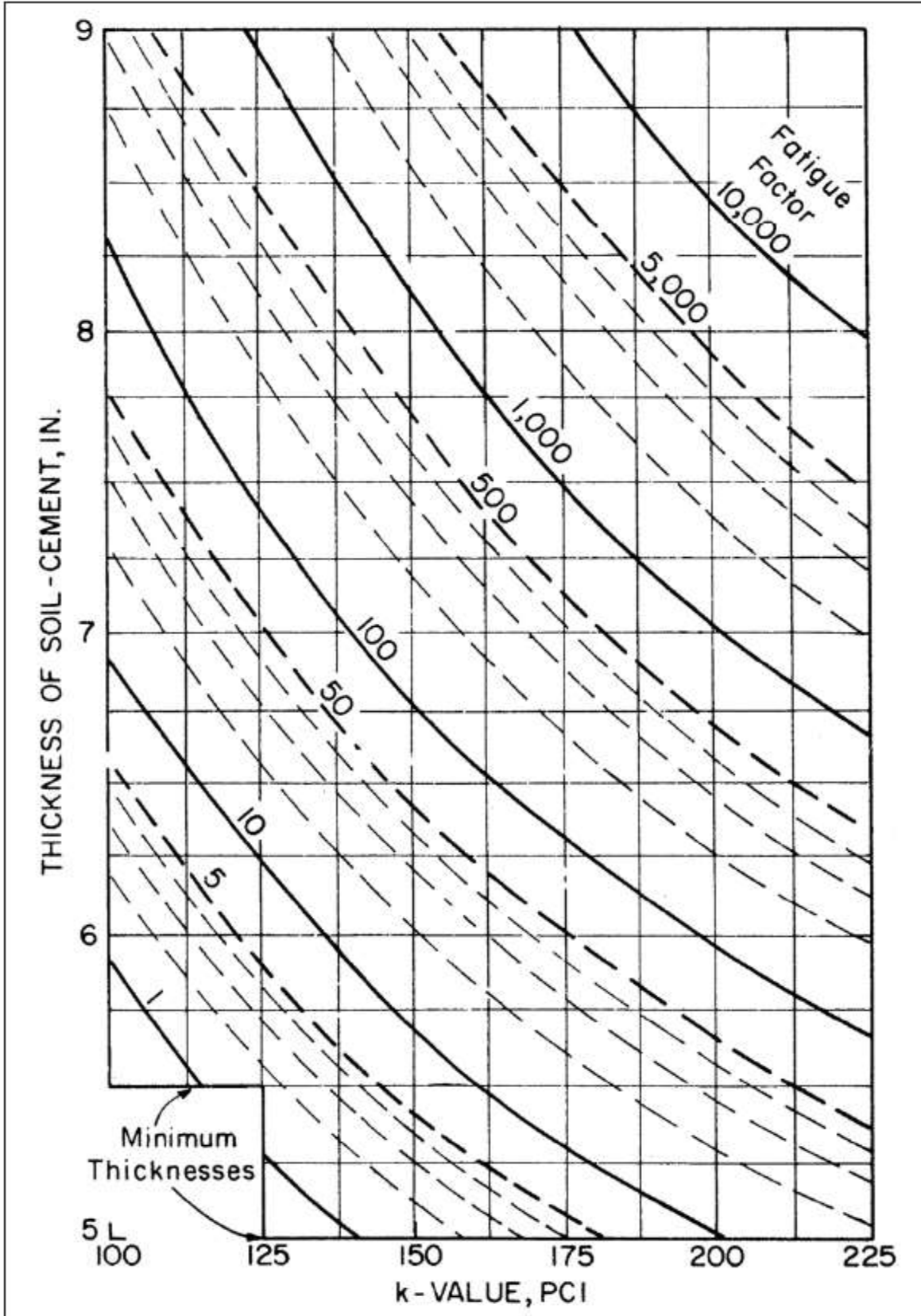


Figura 9. Canta de diseño PCA. Suelos finos.

Fuente: PCA – Boletín 142

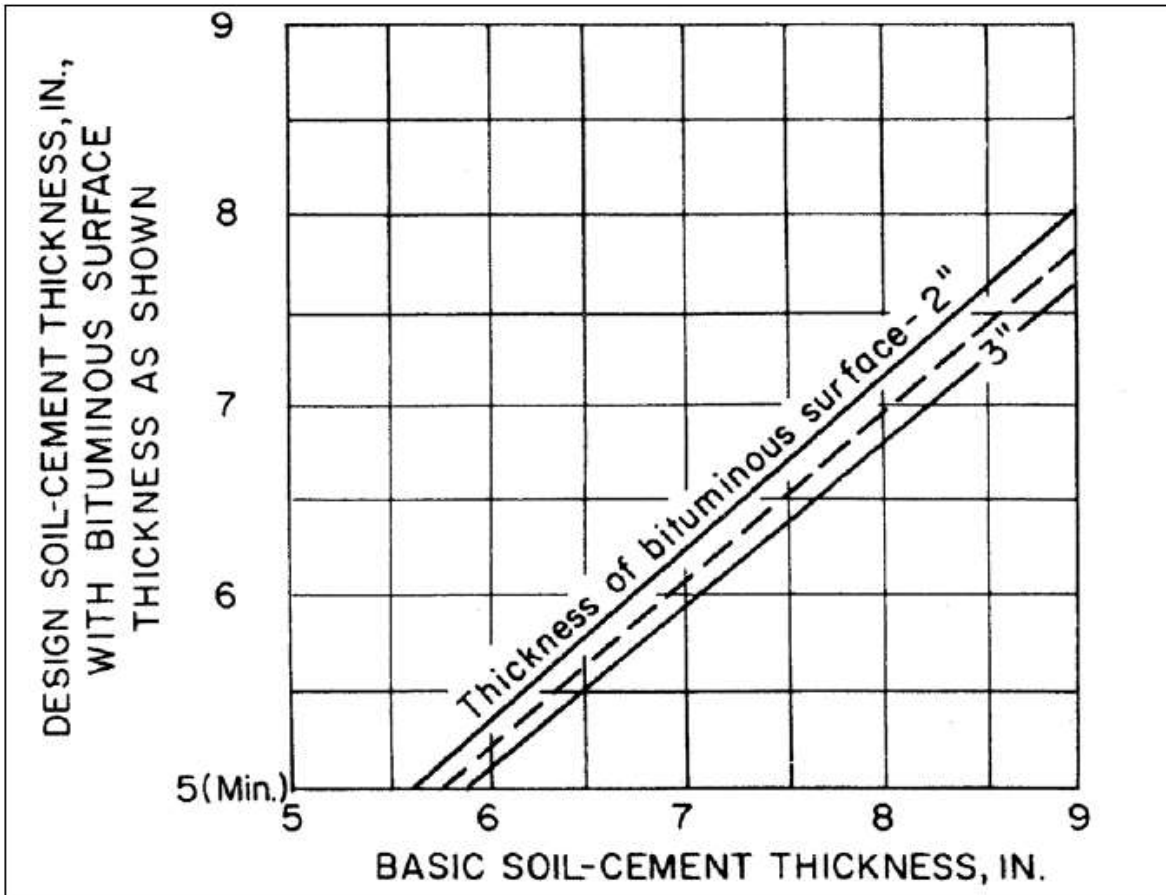


Figura 10. Canta de diseño PCA. Ajuste por capa asfáltica:

Fuente: PCA – Boletín 142

En la siguiente gráfica se pueden observar los espesores recomendados por la PCA, para capas de suelo – cemento cubiertas de algún tipo de tratamiento asfáltico.



Figura 11. Espesores de Suelo – cemento recomendados, sin ajuste y capas asfálticas.

Es de esperarse que al tener claridad sobre el tipo de suelos a tratar, su capacidad de soporte y la magnitud del tránsito se puede establecer, en primera instancia, unos espesores tentativos de diseño de pavimentos.

6.5.1.2. Tratamientos de materiales existentes con asfaltos

Los tratamientos sobre materiales granulares existentes se hace a través de procesos de mezclas en frío, es decir con procesos de adición de emulsiones asfálticas o asfaltos espumados, siendo estos últimos procesos de mezcla entre agregados y una nube de partículas de asfalto que se han pulverizado a través de un determinado proceso a fin de que se contacten con los inertes en forma íntima y bajo un estado de vapor del cemento que le da la manejabilidad necesaria para envolver dichos materiales.

A. Mezclas en frío con emulsión asfáltica

Los materiales granulares más apropiados para ser tratados con asfalto son los suelos granulares finos y gruesos, en los primeros la función básica es la impermeabilización complementando así la tendencia de cohesión de estos materiales y aislándolos del agua, con lo cual se mantiene la resistencia y el módulo de elasticidad. En los materiales gruesos, no solo impermeabiliza sino que también suministra adhesión incrementando la resistencia a los esfuerzos cortantes a la flexión y al módulo elástico.

Los factores más destacados a tener en cuenta sobre la evaluación de los materiales que intervienen en los procesos de mezcla son:

1. Tipo de proceso, sea con emulsión o asfalto espumado.

2. Tipo de suelo.
3. Condiciones de manejo de la mezcla.
4. Ensayos a emplear.

Los suelos finos, al igual que otros tipos de mezcla, requieren una mayor cantidad de bitumen dadas sus características de finura, de acuerdo con las EGC, artículo 340, es necesario que se tengan las siguientes condiciones:

- Gradación: Pasa No. 40 debe ser el 100% y pasa 200 entre 5 y 25%.
- Índice de plasticidad mínimo: 7%
- Suelos tipo A – 1 – b o A – 2 – 4
- CBR mínimo del suelo: 15%

Como se observa, no todos los suelos son susceptibles de ser estabilizados a través de tratamientos de suelo – asfalto, esto en lo que respecta a la normativa nacional sobre este tema y con referencia a los agregados gruesos:

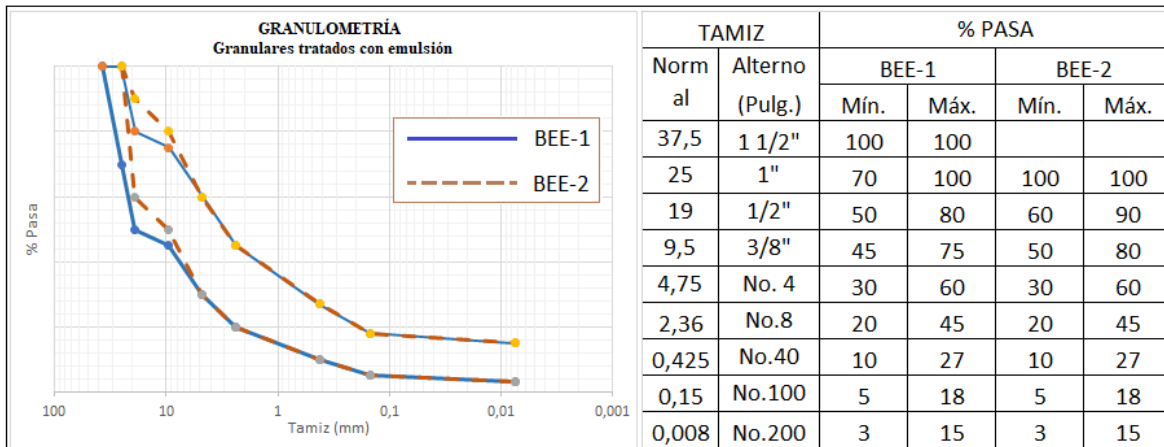


Figura 12. Gradación de materiales tratados con emulsión.

Respecto de las demás pruebas de calidad de los materiales, se espera que el IP sea mínimo de 7%, el desgaste en la Máquina de los Ángeles sea mínimo del 50% y el pasa 200

multiplicado por el índice de plasticidad sea menor a 72. La emulsión para el tratamiento tendrá que poseer las siguientes características de calidad:

ENSAYO	NORMA INVIAS	CRL 1		CRL 2	
		Mín.	Máx.	CRL 2	Máx.
Viscosidad Saybol Furol 25°C (sg)	E-763		200		100
Contenido de agua el volúmen (%)	E-761		43		43
Estabilización almacenamiento (Sed. 7 días) (%)	E-764		5		
Destilación, contenido de asfalto residual (%)	E-762	57		57	
Destilación, contenido de asfalto residual (%)					0
Tamizado, Retenido T20 (850mm)	E-765		0,1		0,1
Carga de partícula	E-767	Posotiva	Posotiva	Posotiva	Positiva
PH	E-768		6		6
Penetración residuo destilación (25°C, 100 gr, 5s) 0,1 mm	E-706	60/100	100/250	60	100
Ductilidad residuo destilación (25°C, 5s) cm	E-769	40		40	
Solubiiidad residuo en tricloroetileno (%)	E-713	97		97	

Tabla No. 8. Requisitos de calidad de la emulsión para mezclar con agregados

El diseño de las mezclas de materiales granulares con emulsión asfáltica se realizan a través del ensayo de inmersión compresión (INV E-812, materiales finos y INV E- 738 materiales gruesos), en las cuales se busca establecer la mejor condición de durabilidad de la mezcla y su comportamiento mecánico luego de procesos de inmersión en agua, comparado con el inicial luego de la determinación de una cantidad óptima de *ligante*.

Los porcentajes óptimos de *ligante* en los ensayos de diseños de inmersión compresión, en forma sintética se consiguen con la elaboración de probetas cilíndricas compactadas mediante un equipo conformado por moldes, prensas, recipiente de inmersión y aditamentos con los cuales se pueden elaborar juegos de muestras a diferentes condiciones de curado, humedad, tiempo y temperatura a través de las cuales se consiguen dibujar gráficas de resistencia seca, húmeda y conservada con las cuales se determina el respectivo diseño.

Por su naturaleza bituminosa, el resultado de la mezcla de materiales tiene una alta probabilidad de comportarse como una mezcla convencional desde el punto de vista de su comportamiento a fatiga, las condiciones óptimas de la mezcla luego de construida la capa se reflejan luego de unos días, por esta razón el tiempo de curado de este tipo de mezclas, es fundamental para la obtención de buenos resultados. Al igual que las mezclas con cemento portland en la medida que pasa el tiempo se gana resistencia, sin embargo, en los materiales asfálticos el proceso es algo más lento y al curado total se llega luego de seis (6) meses.

Por los factores mencionados anteriormente y a fin de mitigar los periodos tan largos de curado, eventualmente se utilizan pequeñas adiciones de cemento que oscilan en 2%, con lo cual se gana resistencia de manera más rápida. En Colombia es muy poco lo que se trabaja con este tipo de mezclas y es precisamente uno de los temas fuertes en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

B. Mezclas en frío con asfalto espumado

Al igual que la emulsión asfáltica, los asfaltos espumados funcionan de acuerdo a la granulometría de los agregados con los que se mezclan, se espera que para que se den los procesos de estabilizado los materiales más favorables se encuentran en los agregados que cuentan con materiales finos de los tamaños de las arenas, especialmente finas y en la medida en que aumentan de tamaño sus propiedades de mezcla decrecen y sus resultados de comportamiento mecánico igualmente.

Los agregados a ser tratados con asfalto espumado deben ser, en lo posible, no plásticos y este valor máximo puede llegar a ser de 6%, es posible adicionar porcentajes de cal o de cemento para contrarrestar porcentajes superiores de índice de plasticidad y así emplear el material bituminosos.

Teniendo en cuenta que el asfalto espumado es un material que se elabora mediante la gasificación de cemento asfáltico, es necesario tener una máquina especial para el proceso, el cual requiere una determinada cantidad de agua y en el cambio de estado el volumen del asfalto aumenta hasta una fracción de tiempo determinada antes de entrar en contacto con los agregados, a este tiempo se le conoce como la vida media y está normalizada con un tiempo muy corto en segundos.



Figura 13. Mecanismo del principio del asfalto espumado.

En la Figura 13 se observa el mecanismo básico de elaboración del asfalto espumado, en la parte superior se observa un ducto de circulación de cemento asfáltico a una temperatura que varía entre 160°C y 180°C, a través de un elementos de inyección, el flujo de asfalto es desviado hacia una cámara en la cual se intercepta con flujos de agua y aire de tal forma que se presenta una especie de choque térmico y en una fracción de segundo el estado líquido del asfalto se gasifica y se impulsa a una cámara de expansión donde el volumen se incrementa sustancialmente y la mezcla es impulsada hacia los agregados y dados que el tamaño de las partículas de asfalto es tan pequeño interacciona con las partículas de agregados envolviéndolos y generando un cubrimiento de ellos en una fracción de tiempo muy corta. La dispersión total de las partículas de asfalto es eficiente en la medida en que se calcula de manera adecuada la cantidad de agua dentro del diseño.

Se ha determinado que esta humedad de gasificación o humedad óptima del espumado se encuentra en un rango que oscila entre el 70% y el 80% de la humedad del ensayo de Proctor Modificado. Los diseños se basan en la escogencia de cantidades diferentes de porcentajes óptimos de compactación, según sea la tipología de los suelo y si contienen finos se debe adicionar cemento o cal al proceso. El equipo de ensayo es el mismo que el de mezclas en caliente, el curado requiere menos tiempo que las emulsiones y los porcentajes finales fluctúan entre 2% y 5% de *ligante*. Los parámetros de diseño se encuentran establecidos en las EGC de Invías.

6.5.1.3. Reciclados para concretos asfálticos en caliente.

Los materiales granulares pueden ser también tratados con *ligantes* asfálticos a fin de mejorar sus propiedades mecánicas, en este caso, las resinas bituminosas son utilizadas con este fin, de la misma forma pueden involucrarse el sobrante de demolición o disgregación de pavimentos asfálticos luego se someterlos a un determinado proceso de clasificación, veamos primero cuando se trata de materiales de reciclado involucrados a las mezclas en caliente que de alguna forma están tipificados en el artículo 462 de las Especificaciones Generales de Construcción del Instituto Nacional de Vías y establece el esquema de trabajo para el uso de materiales reciclados. La manipulación del material disgregado se hace de acuerdo a lo establecido en el artículo 460 de las mismas especificaciones.

Es fundamental tener en cuenta que las mezclas deben cumplir con una determinada gradación, razón por la cual se tiene previsto el uso de materiales vírgenes que permitirán los encajes granulares necesarios para cumplir con los parámetros mencionados. En el artículo 400, visto en los capítulos anteriores se determinan las características esperadas para estos agregados. Las especificaciones recomiendan que los agregados tengan similitud mineralógica con los correspondientes de los materiales de reciclaje, así como las condiciones físico químicas examinadas anteriormente.

Teniendo en cuenta que existe una importante gama de mezclas asfálticas susceptibles de ser recicladas, las especificaciones recomiendan no utilizar productos provenientes de mezclas abiertas en caliente, mezclas discontinuas o drenantes, pero si excedentes de fabricación de mezclas asfálticas, que se encuentren aceptadas dentro del artículo 450 de las

EGC (especificaciones Generales de Construcción). Tampoco se permite el uso de reciclajes provenientes de pavimentos exudados o asociados a fallas por deformación plástica. De la misma forma se permite el uso de concretos asfálticos modificados con cauchos, plásticos y demás, claro está, realizada la pertinente evaluación ambiental del caso.

Teniendo en cuenta que los reciclados contienen fragmentos de cemento asfáltico envejecido existen productos capaces de recuperar algunas cualidades químicas de los bitúmenes y es posible que sean utilizados en las mezclas, estos aditivos son llamados rejuvenecedores, de la misma forma existen aditivos para mejorar la afinidad química de los materiales de la mezcla.

Teniendo en cuenta que estos procesos necesitan la adición de energía térmica, la mezcla se hace dentro de una planta ya sea continua o de tambor a la primera de las cuales se le tendrá que hacer una determinada adaptación. Es importante tener en cuenta que los materiales a reciclar deben ser homogéneos y el tamaño máximo será de 1 pulgada, debe estar limpio y seco, además de provenir de acopios especiales que han sido protegidos, adecuados a través de ensayos de laboratorio, en caso de que la temperatura ambiente sea mayor a 30°C, los montículos no pueden ser mayores a 3,0 m. Los ensayos realizados sobre el material hacen referencia al control de la gradación; tamices No. 10, 40, 80 y 200, en general lo establecido en la norma INV E-782, el contenido de asfalto (INV E-732) y la penetración del cemento asfáltico recuperado por extracción (INV E-706). Teniendo en cuenta que es una mezcla en caliente el diseño se establece a través del método Marshall. El reciclaje deberá ser, en todos los casos, < 40% del total de la mezcla.

Se tiene prevista, dentro del proceso de construcción una fase de experimentación o tramo de prueba, con el ánimo de realizar ajustes o determinar la pertinencia de la fórmula de trabajo que se aplicará en el proceso. El resto de actividades, especialmente de manejo de la mezcla, colocación y compactación se realiza con forme a lo establecido para las mezclas de concretos asfálticos densos en caliente, artículo 440 y 450 de las EGC.

6.5.1.4. Otros procesos de estabilización o reciclaje de materiales existentes.

Dentro de los procesos de estabilización para la mejora de las cualidades de los granulares existentes a fin de utilizarlos como soporte de otras capas o para recibir cargas de tránsito directamente y como se pudo verificar, existen combinaciones entre los ya mencionados, cemento hidráulico – emulsión, cal – emulsión, cemento – asfalto espumado o cal – asfalto espumado, específicamente para las mezclas en frío, para los materiales en caliente las condiciones de trabajo son diferentes. Cuando los materiales son plásticos los resultados más favorables se consiguen con la adición previa de cal, especialmente si las mezclas están sometidas a cambios de humedad.

7. Marco metodológico

7.1. Tipo y nivel de la investigación.

El marco teórico fue un resumen general de los aspectos más importantes y atinentes a la investigación en curso, fue tomado a partir de la literatura disponible y la experiencia recopilada a través de los años en este campo, Esa experiencia hace referencia a los diferentes contratos en los que el autor ha participado desde los escenarios públicos y privados y los documentos técnicos de soporte, como son las normas, las especificaciones y las memorias de investigaciones fueron tomados igualmente, de las experiencias académicas que se tuvieron en los últimos 20 años y que hacen referencia específicamente al tema del materiales convencionales y no convencionales en este mismo campo.

Con esta referencia y a partir de dichos fundamentos se establecerá una nueva aplicación, que no tiene muy poco o ningún antecedentes en el campo de la Ingeniería de pavimentos en Colombia y es la obtención de un concreto asfáltico a partir de algunas adiciones de materiales granulares, cemento hidráulico, emulsión y un 100%, de material reciclado, que como se recordará en las partes preliminares de este documento, las normas solo aceptan un máximo de 40% de reciclaje, seleccionado para pavimentos con la adición de químicos rejuvenecedores del cemento asfáltico deteriorado y “Solamente”, para obtención de concretos asfálticos en caliente.

Se debe tener en cuenta la última experiencia de diseño y construcción de pavimentos de obra pública en la que participó en autor del presente documento a partir de la cual él estableció los ajustes y procedimientos de construcción, desde la Interventoría, del cual participó como especialista, a fin de obtener un mejor producto luego de que los contratistas de turno se encontraron con una serie de anomalías y patológicas por el desconocimiento de los procesos de manejo de este tipo de materiales y con esta coyuntura y adicionalmente siendo estudiante de la Especialización de Gestión de Proyectos de la UNAD, se aprovechó la coyuntura para generar una serie de gestión de ajustes a los documentos de ingeniería, ajustes a los procesos con los que se desarrollaba el contrato de obra al momento de la entrada del autor al contrato, para finalmente conseguir aplicar los procedimientos que llevaron a eliminar las patologías que se estaban presentando en dicho contrato y potencializar un procedimiento idóneo a través del cual la gestión de cambio dio como resultado un producto de mayor calidad que el esperado por la entidad contratante.

Por lo anterior y aun cuando han pasado unos meses, solamente, desde la entrega de las obras, la estabilidad del pavimento se mantiene y sería importante hacerle un seguimiento a este producto, dentro de la línea de investigación, a fin de legitimar los resultados de la misma.

Dentro de la metodología a seguir, en los próximos capítulos veremos el desarrollo, circunstancias de las actividades, las aplicaciones y formulaciones utilizadas, a partir del margo teórico expuesto en este trabajo y finalmente una evaluación visual de los resultados encontrados luego de la ejecución de la presente investigación, con una cuantificación financiera de las inversiones teniendo en cuenta que la obra realizada fue real y los recursos

públicos empleados fueron aplicados desde el presupuesto de inversiones de la Alcaldía Local de Sumapaz y que en virtud del hecho circunstancial del trabajo realizado por el autor se pudo adelantar una gestión de información técnica y financiera, gestión de cambios y mejora de los procesos y productos del proyecto, que no se tenían previstos inicialmente y que al final mejoraron los resultados esperados, es decir la gestión sobre el proyecto generó un valor agregado a la gestión y ejecución del proyecto.

8. Antecedentes de los trabajos de estudios diseños y ejecución del contrato

En este capítulo se enumeran los aspectos preliminares y antecedentes del fundamento técnicos y administrativos tomados como base para efectuar la investigación aplicada, dentro de los cuales se encuentra el trabajo de ejecución de obras que fue redireccionado a través de una adecuada gestión de proyectos en su fase de trabajos de campo. El siguiente es el referente contractual:

8.1. Información del contrato

Los siguientes son los datos del contrato:

8.1.1. Objeto y datos del contrato

- Objeto: Realizar la Interventoría Técnica, Administrativa, Financiera, Ambiental, Social y Jurídica al contrato cuyo objeto es: “REALIZAR POR EL SISTEMA DE PRECIOS UNITARIOS FIJOS SIN FÓRMULA DE REAJUSTE: EL MANTENIMIENTO INTEGRAL, REHABILITACIÓN Y LA RECUPERACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL MEDIANTE LA APLICACIÓN O EXTENDIDO DE PAVIMENTOS RECICLADOS ESTABILIZADOS Y LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS COMPLEMENTARIAS, EN LOS CORREGIMEINTOS DE SAN JUAN, BETANIA Y NAZARETH, DE LA LOCALIDAD DE SUMAPAZ A MONTO AGOTABLE”.
- Valor del Contrato de obra: Diez mil, trescientos un millones trescientos ochenta y cinco mil millones de pesos (\$10.301.385.000,00), Mcte.

- Planes que respaldan la contratación: Plan de Desarrollo Distrital: Bogotá Humana.
Plan de Desarrollo Local: SUMAPAZ, HUMANA, RURAL, PROTECTORA DE LA CULTURA CAMPESINA, DEL AGUA Y EL ECOSISTEMA 2013-2016, Acuerdo 002 de agosto 30 de 2012.
Eje: Un territorio que enfrenta el cambio climático y se ordena alrededor del agua
Programa: Movilidad Rural Humana
Imputación Presupuestal: 3.3.1.14.02.19.0936.
Línea de inversión: Sector: movilidad; Línea: Malla vial local.
Meta PDL: mantener 24 kilómetros de malla vial rural

8.1.2. Localización del proyecto

La localidad se encuentra ubicada al sur del casco urbano del Distrito de Bogotá, a una distancia aproximada, al sitio más cercano, a los 60 kilómetros de la salida urbana de la zona urbana de Usme, cerca de 2,5 horas sobre el páramo de Sumapaz y a una distancia aproximada a los 120 kilómetros del sitio más lejano del proyecto, en el Corregimiento de San Juan.

constatarse en la existencia de grandes movimientos de masas de suelo en distintos puntos de las vías y los poblados asentados en estas montañas.

8.1.4. Parámetros técnicos establecidos de manera contractual

Los parámetros contractuales establecidos en los términos de referencia hacen alusión, en lo que respecta al manejo del reciclado, en un tratamiento de tipo estabilizado, no de un pavimento terminado y las parámetros a seguir se observan en el siguiente esquema:

ETAPA DE INTERVENCIÓN: ...

a. Se deberá realizar un comité en obra con los especialistas (especialista en pavimentos, especialista geotécnico, tanto de interventoría como de obra) en terreno (los días que sean necesarios). En este comité se hará recorrido de los tramos establecidos por el FDLS de las vías a intervenir con el fin de dejar marcado cada uno de los sitios donde se encuentren fallos, donde sea necesario realizar obras de drenaje y donde se determine las zonas que no se realizará fresado por presencia de fallas de origen geológico o similares. b. En cada uno de los tramos seleccionados por el FDLS para el presente proceso, se realizará con la maquinaria adecuada el levantamiento de cada uno de los fallos y se mejorará con los materiales indicados y adecuados para tal fin, según determinen los especialistas. c. Se procederá a realizar el mejoramiento de la subrasante, escarificándola y bajando con las uñas de la motoniveladora o similar mínimo 15cm y compactándola al 95% proctor modificado, con el fin de lograr obtener una subrasante nivelada. d. Se aplicara una capa de base tipo B400 con un espesor de 15cm sueltos, en las zonas determinadas y se compactara según normas técnicas al 95% proctor modificado. INV 142. e. Será indispensable que el contratista entregue un aval técnico del diseño de mezcla para estabilizar el pavimento reciclado, con las dosificaciones que se determinen necesarias e igualmente donde se indiquen las características estructurales de los espesores del fresado que los especialistas consideren. (Para estas labores se realizarán las pruebas de laboratorio necesarias solicitadas y se ajustara la norma establecida en ESPECIFICACIONES IDU-SECCIÓN 450-11 RECICLAJE DE PAVIMENTO ASFÁLTICO EN EL SITIO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA, en cada uno de los puntos que se ajuste). f. Los pasos anteriores son de obligatorio cumplimiento antes de iniciar la aplicación del material fresado. g. Se procederá a realizar la aplicación de material fresado estabilizado con emulsión asfáltica con un espesor de 18 cm suelto, para compactar a 15 cm. Esta se llevará a cabo en dos capas de 9 cm cada una, bajo la revisión y ajustes de la interventoría. Los hombros se compactarán con un vibrocompactador tipo benitín o matasapos. g. Para la dosificación de la emulsión en banca, el contratista junto con la interventoría deberán realizar las pruebas necesarias que determinen la manera de establecer en obra la veracidad de la aplicación de los litros de emulsión por metro cúbico de fresado. Es decir, en cualquier momento la interventoría como la supervisión por parte del FDLS podrán solicitar en obra la prueba de dicha aplicación. El método podrá ser un mezcladero donde cada semana en compañía conjunta entre los ingenieros de interventoría y de obra realicen la mezcla para un metro cúbico, con la cantidad en litros sugeridas, para revisar el estado en que deberá quedar el fresado ya estabilizado en banca. h. Igualmente el contratista en compañía de la interventoría y la supervisión deberá establecer la cantidad máxima de volquetas que podrán ser despachadas contra la cantidad de emulsión que llega a la obra. Esto con el fin de evitar que sean despachados mayor cantidad de fresado contra la emulsión que se pueda aplicar. Es decir que la interventoría deberá llevar un estricto control de los certificados de cantidades de litros despachados de emulsión desde la planta cada vez que llegue un carrotanque. Se deberá por tanto diligenciar un formato donde se establezca en cada extendido de emulsión vs fresado (con vales de recibo IDU), la cantidad despachada de emulsión contra la cantidad de fresado extendido y así se determinaran promedios de dosificaciones, y esta información se anexara a los informes mensuales. i. Las obras de arte se realizaran de acuerdo a las especificaciones y planos de construcción, entregadas en el anexo técnico (placa huella, cunetas y alcantarillas). Estas obras se ejecutaran en los sectores determinados en el alcance de la intervención ...

Figura 15. Fragmento de los términos de referencia sobre especificaciones contractuales.

Como se puede observar, el contrato deja libertad de establecer especificaciones técnicas, casi que unas especificaciones particulares, ya que no son muy claras y en el anexo técnico se observa cierta similitud del proceso de diseño, solo se hace referencia al diseño de mezcla y se esbozan las normas de estabilización de materiales por medio de emulsión asfáltica y se hace un especial énfasis en que son los especialistas del contrato quienes deben especificar los sitios y los tratamientos a seguir dentro de los procesos de diseños de mezcla y de construcción.

Teniendo en cuenta lo anterior y por las experiencias que la Alcaldía Local han tenido en los últimos años, en contratos similares, desde el punto de vista jurídico, no es posible exigirle al contratista garantía sobre los trabajos realizados con el reciclaje, de tal forma que no se exige Póliza de estabilidad ya que los resultados de las obras, en las que se involucran los desechos de las demoliciones de pavimentos de la Ciudad de Bogotá, son inciertas, como lo son, la calidad propia de los materiales de reciclado, en consecuencia, hasta el momento dichos resultados han sido muy diversos y las fallas se dan desde el proceso propio construcción, pasando por resultados buenos en algunos puntos específicos hasta bases estabilizadas que duran unos pocos meses antes de aparecer los fallos, por tal razón el Estado NO puede pedir garantía de un procedimiento que se toma como un afirmado de buena calidad, que puede durar algunos meses, que no está suficientemente documentado en nuestro medio y que no tiene normas claras de trabajo.

En consecuencia, dados los factores anteriormente esgrimidos, cualquier intento por mejorar el estado del arte es bien venido y se da un aporte desde todo punto de vista a fin de asegurar la calidad de los trabajos que el estado debe recibir y la eficiencia en las

inversiones públicas, en especial para los recursos destinados a las zonas que necesitan ser habilitadas con mejor infraestructura para el desarrollo regional, además con este tipo de procesos el impacto ambiental es menor y se logra un doble impacto en el ámbito social, ofrecer una alternativa a la comunidad, de corredores viales más seguros, más cómodos, que posibilitan el comercio de sus productos; la entrada de insumos, bienes intermedios y finales tanto de producción como de consumo y una red vial rural y urbana en cuyas obras de construcción se impacte de manera mínima las condiciones del medio ambiente circundante, en especial en este sitio de proyecto, en el cual se están ejecutando obras en una zona de reserva natural, como es el Páramo de Sumapaz.

En conclusión y para dar inicio a la fase de desarrollo propia de la investigación aplicada, en este contrato han confluído los elementos más sensibles a los que se puede llegar en la gestión de un proyecto de pavimentos de reciclaje:

1. En nuestro medio no se tienen antecedentes de un trabajo similar.
2. Que a través de él se puede probar que con la adecuada aplicación del conocimiento y las técnicas conocidas a nivel mundial.
3. Que se pueda conseguir un pavimento terminado, en frío, con el uso de reciclaje y los materiales convencionales de ajuste.
4. Que se aporte un elemento técnico y de gestión de proyectos para ser aplicado a otros proyectos de pavimentos de baja capacidad de tránsito.



Figura 16. Registro fotográfico del Parque Natural de Sumapaz.

9. Desarrollo de las labores de inspección inicial

Para dar inicio a las actividades propias de la gestión del proyecto y generar la serie de cambios que posteriormente se fueron dando, es necesario establecer una trazabilidad del proceso de gestión.

9.1. Visita inicial de inspección

Los siguientes son los parámetros bajo los cuales se da inicio a la actividad de verificación de calidad de los productos y los servicios que los contratistas de obra e interventoría estaban desarrollando en función del cumplimiento de los parámetros contractuales y que de acuerdo con el supervisor de la misma entidad no parecían ser los más adecuados, teniendo en cuenta que se habían invertido cerca del 40% de los recursos y, al parecer, no se estaban dando las condiciones óptimas de un adecuado servicio:

- Alcaldía Local de Sumapaz requiere al contratista de interventoría a fin de que se haga presente el especialista en pavimentos y el especialista en geotecnia a fin dar cumplimiento al clausulado del contrato en el cual se estipula la presencia de dichos especialistas por parte de la Interventoría.
- Con el profesional responsable, que cumpliera los aspectos académicos y de experiencia del caso se debía la pertinencia de procedimientos, materiales y productos que hasta el momento se venían construyendo por parte del contratista de obra.

- Cumplidos los requisitos del caso el/los especialistas se abrigarían a entregar un informe general del estado de las obras a la supervisión del contrato y avalar a el cumplimiento de los parámetros técnicos aplicados en la inversión de los recursos públicos.

Agotados los aspectos de revisión y aceptación de la documentación del Especialista, se dio inicio al proceso de verificación del estado de la documentación, en especial estudios y los diseños respectivos y los procesos propios de ejecución de la obra se pudieron detectar, de manera general los siguientes elementos:

1. Se encontraron más de seis mil doscientos cincuenta metros cuadrados de material estabilizado de reciclaje con fallas que consistían en agrietamientos, deformaciones, exudaciones y demás fallas.
2. Que a pesar de que se tenía el conocimiento de una fase preliminar de experimentación, establecida de manera contractual, con la cual se deberían probar los diseños de mezcla en el sitio de la obra, no se atendió de la manera especial como se debe hacer y los tramos de prueba fallaron casi al mismo tiempo que el resto de los materiales ya que no se aseguró el desarrollo de ajustes a partir de los posibles errores o inconsistencia que se podrían presentar en campo.
3. De acuerdo con la parte contratante, y con todo derecho, en razón de que el contrato carecía de pólizas de garantía no era obligación de ellos asegurar el correcto funcionamiento de las bases tratadas con emulsión y que finalmente ellos estaban cumpliendo con la normativa establecida en el contrato.
4. Se aducía las fallas y la patología general que se venía presentando a los materiales de reciclaje que se suministraba por parte de la entidad contratante, más

exactamente las que provenían de las obras de demolición de carpetas asfálticas de Bogotá que se encontraban almacenadas en patios del IDU y la Unidad de Mantenimiento Vial del Distrito (UMV).

5. Que en contratos anteriores, en el mismo sector del Páramo de Sumapaz, las bases estabilizadas bajo este mismo procedimiento fallaban de la misma forma que las que se estaban construyendo y que algunas se mantenían y al final no era tan evidente su falla y que además la comunidad estaba contenta con tener vías transitables.

Dadas estas circunstancias se da inicio al proceso de revisión de los aspectos relacionados por la consultoría para la ejecución del contrato y se establecieron una serie de anomalías de calidad que dieron pie para pedir una suspensión en la ejecución del contrato a fin de realizar los ajustes y establecer los procedimientos de corrección con el ánimo de recuperar la eficiencia y eficacia que debe caracterizar la inversión de los recursos públicos, Haciendo un análisis de la gestión del proyecto desde el punto de vista del PMBOK 5ta Edición, los aspectos a rectificar, implementar y ajustas están dados por elementos bien claros, a continuación se establece la gestión de cambios del proyecto.

9.2. Gestión de cambios del proyecto

La gestión de control de cambios busca realizar las correcciones en el proceso de desarrollo del proyecto, luego de aplicado el control de calidad, con sus herramientas de seguimiento, se establecen los procedimientos para adoptar procesos más idóneos corrección de falencias



Figura 17. Gestión de cambios del proyecto en base a la metodología PMBOK 5ta Edición.

e implementación de elementos que surgen con la dinámica de la gestión integral del proyecto, como veremos más adelante, la idea es mantener el equilibrio existente entre el tiempo, los costos y el alcance del proyecto.

9.2.1. Identificar cambios existentes y probables

A raíz de las inconformidades detectadas por la entidad contratante, respecto de algunos defectos que fueron apareciendo en productos susceptibles de entregarse por parte del contratista de obra, dio pie para solicitar, de manera inmediata los ajustes necesarios para asegurar la calidad óptima de los productos, sin embargo, el contratista inicialmente se mostró renuente aduciendo que al no tener que cumplir con una garantía, no habría problema con los fallos que se dieron en el proceso, pues según lo hasta ahora establecido por las normas y con los antecedentes, este era un hecho que se suponía lógico ya que la calidad del producto no se podía asegurar.

Dadas estas circunstancias, fue necesario poner en claro que de manera independiente al condicionamiento de garantías contractuales, la calidad del producto entregado estaba supeditado al consenso entre el equipo de especialistas conformado por contratista e interventoría y que el profesional que tenía parte de este contrato por parte de la Interventoría no había avalado ningún tipo de actividad de diseños no de construcción y que de esta forma era necesario gestionar la solicitud de suspensión a fin de agotar tal recurso antes de adelantar cualquier tipo de juicio técnico, administrativo o financiero, por lo tanto a continuación se presenta un cuadro resumen con las anomalías detectadas y los ajustes que, en primera instancia, deberían realizarse a fin de asegurar la calidad de los procesos.

GESTIÓN DE CAMBIOS			
GESTIÓN DE CAMBIOS EXISTENTES Y PROBABLES			
PARA EL CONTRATISTA DE OBRA			
FASE DE ESTUDIOS			
No.	Factor a examinar	Estado encontrado del proceso	Solicitud de cambio
1	Existe o existió un programa de muestreo y ensayos de laboratorio para los materiales, especialmente en lo que hace referencia al reciclaje	A pesar de que se encontraron evidencias de ensayos realizados, no se observó un verdadero proceso de muestreo, por lo que los insumos no guardarían relación con el proceso real en la obra.	La primera solicitud de cambio se dio sobre el proceso de muestreo, se solicitó al contratista efectuar un proceso técnico de muestreo en las fuentes de materiales utilizados y la recolección de muestras representativas.
2	La intensidad y tipos de pruebas estaban acordados con los especificados en los documentos contractuales	En los archivos de memoria de los diseños preliminares se detectaron la mayor parte de los ensayos solicitados, sin embargo, como esta actividad tiene un tópico de criterio de ingeniería muy importante, no se tuvo en cuenta este factor.	La segunda solicitud de cambio estaba dirigida a los aportes de tipo académico y de experiencia del cuerpo consultivo ya que al tener unos criterios de ingeniería tan limitados, era necesario involucrar algunos aspectos técnicos necesarios para conseguir un mejor producto.
3.	Resultados de la consultoría iniciales y de los diseños de mezcla establecidos para este contrato por parte del contratista de obra.	Dados los factores anteriormente mencionados, los diseños no tienen nada que ver con la realidad y como era de esperarse el reflejo de estas circunstancias se dio en la falla prematura de las mezclas.	Se pidió la realización de unos nuevos diseño, más consistentes y en los cuales se atendieran las sugerencias y los conceptos provenientes de la interventoría a fin de conseguir resultados de mayor calidad.

Tabla No. 9. Gestión de cambios existentes y probables para el contratista, fase de estudios.

GESTIÓN DE CAMBIOS			
GESTIÓN DE CAMBIOS EXISTENTES Y PROBABLES			
PARA EL INTERVENTOR DE OBRA			
FASE DE ESTUDIOS			
No.	Factor a examinar	Estado encontrado del proceso	Solicitud de cambio
1	Existe o existió un programa de muestreo y ensayos de laboratorio para los materiales, especialmente en lo que hace referencia al reciclaje	No existió este programa desde la interventoría.	La primera solicitud de cambio, dirigida a la interventoría, se dio sobre la realización de un proceso de muestreo técnico a partir del cual se tuvieron criterios de juicio para evaluar los elementos presentados por el contratista de obra, claro está que con una menor intensidad.
2	Procesos de seguimiento a la gestión técnica del contratista de obra.	En la fase de estudios y diseños no se dio este procedimiento de manera real y solo se aceptó el criterio técnico por ellos asumido.	La segunda solicitud de cambio a la Interventoría del contrato fue la de asegurar un proceso de seguimiento técnico a fin de resultar involucrados dentro de los mismos errores en lo que podría incurrir el contratista de obra.
3.	Inexistencia de una comprobación de los diseños finalmente adoptados por el contratista de obra.	La interventoría no participó de forma activa en ninguna de las fases de laboratorio del proyecto y se debe tener en cuenta que por la naturaleza del contrato, esta etapa resulta ser fundamental.	Solicitar especímenes adicionales de los procesos de diseño de mezclas a fin de efectuar evaluaciones independientes a los del contratista y tener una herramienta de juicio para evaluar los resultados obtenidos.

Tabla No. 10. Gestión de cambios existentes y probables para el interventor, fase de estudios.

En la fase de estudios y diseños, que fue involucrada en el contrato como parte de la función del contratista de obra, durante el proceso de revisión se pudieron observar algunos elementos que fueron pasados por alto dentro de las funciones propias del contratista y evidentemente de la interventoría, las cuales dieron como resultado daños prematuros de las mezclas.

En los estudios se desarrollaron ensayos sobre muestras de materiales que no eran representativos de aquellos que se emplearían posteriormente en la ejecución de las obras, tanto así que no existía un procedimiento de muestreo ni se plasmaba esta característica dentro de los documentos entregados.

Con el ánimo de verificar la información suministrada en los diseños, se hicieron una serie de muestreos sobre las mezclas instaladas y como se observa en el registro fotográfico de presentaron una importante cantidad de anomalías.



Figura 18. Aspecto de las mezclas instaladas por el contratista de obra.

Se puede apreciar que no existe cohesión entre agregados, no hay una homogeneidad aparente, el saca núcleos no pudo extraer cilindros completos ya que el material estaba suelto y los espesores esperados no eran los que estaban establecidos en el diseño.

En la foto 3 y 4 se aprecia que suelo de la especie de cascara superficial que tenía el material, era muy fácil extraer los agregados, incluso con la mano. Evidentemente después de esto la patología observada en forma general, tenía su razón de ser.



Figura 19. Aspecto de las fisuras en bloque y piel de cocodrilo.

En la figura 15, fotografía superior, se observa una mezcla con piel de cocodrilo luego de pasados unos meses y en la parte inferior de la misma figura se dejan ver las mismas fisuras en una etapa temprana, luego de unos días de colocado el material.



Figura 20. Aspecto de otras fallas asociadas a las deficiencias de construcción.

En la figura 16 se observan otras patologías que están directamente relacionadas con las deficiencias de los procesos de construcción, como se aprecia en algunos sectores se dejan ver exceso de material asfáltico, en otras deficiencia del mismo y en forma prematura deformación asociada a la falta de resistencia de la mezcla obtenida.



Figura 21. Aspecto de la mezcla al momento de extraer los núcleo de muestra.

En esta fotografía se aprecia la completa falta de cohesión de los materiales, solo a 8 cm de la superficie de la mezcla.

Estas circunstancias dieron pie para establecer las solicitudes de cambio establecidas en los respectivos cuadros 9 y 10, destinados, en primera instancia a conocer de manera real los materiales que se aplican en las obras, mediante un proceso de muestreo, generar mezclas y diseños racionales en los cuales participa en especialista de interventoría y sujetar cualquier tipo de actividad a la supervisión de interventoría la cual tiene la obligación de realizar las gestiones de cambio necesarias para corregir las deficiencias que se presentaron hasta el momento de la suspensión de este contrato.

9.2.2.1. Ajustes y aporte al desarrollo tecnológico de las mezclas

Dadas las circunstancias anteriormente mencionadas, es precisamente en esta etapa donde se da el cambio y la aplicación del conocimiento y experiencia a fin de conseguir un resultado que, no solo se recuperarán las condiciones de calidad del contrato, sino que también se potencializara un aporte al conocimiento, mediando la aplicación de procesos más eficientes y normas externas con las cuales se lograra conformar una mezcla asfáltica similar a un pavimento asfáltico en frío.

Es importante destacar que los lineamientos que hasta el momento se tienen para asfaltos con reciclaje, solo permiten una adición máxima de 40% de desechos, el resto material virgen, rejuvenecedores químicos y proceso en caliente. Con los procesos que se integran a esta práctica se establecerá:

Un concreto asfáltico en frío, es decir que no necesita calor para la mezcla sino emulsión asfáltica, 100% de material reciclado, en que de manera evidente existe un envejecimiento de la matriz del concreto que de alguna forma se reemplaza con adición de cemento hidráulico, material fino de encaje y un adecuado proceso de curado, en las proporciones y orden en las que se espere que funcione. Es claro que se debe hacer un seguimiento de los resultados encontrados y evaluaciones que permitan conocer de mejor manera el comportamiento de estas mezclas.

9.2.2.2. Gestión de cambios en el proceso constructivo.

Veamos a continuación la gestión de cambios sobre los procesos constructivos.

GESTIÓN DE CAMBIOS			
GESTIÓN DE CAMBIOS EXISTENTES Y PROBABLES			
PARA EL CONTRATISTA DE OBRA			
FASE DE CONSTRUCCIÓN			
No.	Factor a examinar	Estado encontrado del proceso	Solicitud de cambio
1	Hacer un examen concienzudo de los factores externos a la obra	No se tuvieron en cuenta los factores externos a la construcción del pavimento que pudieran tener incidencia sobre el desarrollo del proyecto.	La primera solicitud de cambio establece que el especialista del contratista debe evaluar las condiciones externas a la construcción del pavimento que pudieran afectar del desarrollo de las obra y presentar un informe de dicha actividad.
2	Construcción de un tramo de prueba con los diseños obtenidos en el laboratorio.	El contratista efectivamente efectuó su tramo de prueba, pero, primero, no tuvo en cuenta los factores externos a dicha actividad y segundo, no hizo nada con esta actividad.	La Segunda solicitud de cambio en la fase de construcción, fue la de desarrollar un tramo de prueba con los estudios y diseños de mezcla obtenidos y dentro de este esquema la escogencia de un sitio apropiado para la actividad y segundo, esperar el tiempo prudencial a fin de evaluar los resultados encontrados para hacer los ajustes del caso.
3	Resultados del tramo de prueba	No se tuvo en cuenta este criterio y el tramo realizado al iniciar el contrato, fallo a las dos semanas de hecho y en ese momento ya se había construido una buena cantidad de base estabilizada, con lo cual el fallo fue generalizado.	Que el contratista espere (20) días luego de construido el tramo de prueba y se tomen las decisiones del caso, según los resultados encontrados.
4	Evaluaciones parciales del comportamiento del material.	Este factor no se tuvo en cuenta en ninguna de las fases del desarrollo del contrato y no se tenía previsto que las fallas se dieran en forma generalizada, era tan grave la situación que algunas patologías se tomaban como circunstancias normales del material.	El contratista deberá entregar de manera periódica los controles de calidad de los materiales, tal como se encuentra establecido en los documentos contractuales.

Tabla No. 11. Gestión de cambios existentes y probables para el contratista, fase de obra.

GESTIÓN DE CAMBIOS			
GESTIÓN DE CAMBIOS EXISTENTES Y PROBABLES			
PARA EL INTERVENTOR DE OBRA			
FASE DE CONSTRUCCIÓN			
No.	Factor a examinar	Estado encontrado del proceso	Solicitud de cambio
1	Hacer un examen concienzudo de los factores externos a la obra.	La Interventoría no se tuvieron en cuenta los factores externos a la construcción del pavimento que pudieran tener incidencia sobre el desarrollo del proyecto.	La primera solicitud de cambio establece que el especialista de interventoría evalúe e informe cuales son las condiciones externas a la construcción del pavimento que pudieran afectar del desarrollo de las obra a fin de advertir a la entidad contratante aspectos que no se han tenido en cuenta.
2	Velar porqué el contratista realice el tramo de prueba con los diseños obtenidos en el laboratorio.	El interventor verificó que el contratista construyó un tramo de prueba, sin embargo, no hizo nada con esta actividad.	La Segunda solicitud de cambio en la fase de construcción, para Interventoría, es que se evite que el contratista haga cualquier tipo de obra, referente a la construcción de pavimentos, sin tener los resultados del tramo de prueba y que una vez finalizado y evaluado se hagan los ajustes del caso.
3	Resultados del tramo de prueba	Este factor no fue tenido en cuenta en el primer tramo de prueba.	El interventor debe velar por el cumplimiento de esta actividad y los ajustes y decisiones que surjan del proceso.
4	Evaluaciones parciales del comportamiento del material.	No se realizaron fue necesario que interviniera el Supervisor de la entidad para que se evaluaran los resultados parciales.	Requerir al contratista para que entregue de manera periódica los controles de calidad de los materiales, tal como se encuentra establecido en los documentos contractuales.

Tabla No. 12. Gestión de cambios existentes y probables para el interventor, fase de obra.

En las matrices de las tablas 11 y 12 se observa el proceso de gestión de cambios que se debió dar en el proceso de construcción y no se tuvieron en cuenta, dentro de estos cambios se solicitó:

1. Ya que de alguna forma se evidenciaron anomalías constructivas que en un dado momento afectarán el desarrollo y la estabilidad de las obras realizadas y que no fueron tomadas en cuenta en su momento, se pidió el examen de los elementos que deben complementar la obra y que en gran parte del proyecto no existen, dentro de ellos se detectó:

1.1. Inexistencia de obras de manejo de aguas sub superficiales, que de manera independiente al tipo de intervención deben ser habilitadas como parte de la protección de cualquier estructura de pavimento y que en virtud de la tipología de suelo y la topografía de ladera, al no existir este tipo de estructuras la vía está en peligro de sufrir procesos de deterioro prematuro.

1.2. Relocalización e incrementos de obras superficiales para el manejo de las aguas de escorrentía, cunetas y alcantarillas que capten las aguas superficiales y las lleven a sitios donde no se presenten problemas con la estabilidad de la vía.

1.3. Geometría transversal, en el sentido de mejorar los procesos constructivos de bombeos transversales ya que las pendientes longitudinales, por la naturaleza propia del terreno no tienen inconveniente.

1.4. Calidad de los procesos de conformación de los materiales existentes y capa de base de soporte, en este caso se observaron deficiencias en los procesos de conformación y calidad de la colocación y compactación de los materiales de la base del pavimento de reciclaje ya que los extremos, especialmente hacia la

parte superior del talud, se encontraron sin compactar u allí se instalaba la mezcla, la cual, luego de un tiempo no permitía una adecuada compactación.

Suplidas estas deficiencias y hechas las salvedades por la falta de algunas de ellas, se dio inicio al proceso en obra y con ello al tramo de prueba. Luego de revisados y ajustados los diseños de mezcla con forme a las observaciones y cambios hechos por el especialista de interventoría, se llevó la mezcla a obra y en un tramo de prueba se construyó un pequeño tramo al cual se le aplicaron los procedimientos constructivos indicados, que se pasaron por alto en la anterior oportunidad:

- a. Escoger un sitio con las mejores condiciones de drenaje.
- b. Que la base se encuentre debidamente compactada
- c. Que el perfil transversal y longitudinal del material granular cumpla con las pendientes, especialmente el bombeo que se dejó en 4%.
- d. Que se utilicen los materiales los materiales de acuerdo y las mezclas de acuerdo a los diseños de laboratorio.
- e. Que se conforme u compacte debidamente, de afuera hacia adentro, cuidando que los hombros queden bien compactos, si es necesario utilizar un equipo adicional, el cual está establecido de manera contractual.
- f. Que debido al espesor estimado se haga en dos capas dejando un tiempo de 5 días entre ellas y esperando un periodo de curado de 15 días.
- g. Con los resultados se hacen evaluaciones visuales del aspecto del pavimento y evaluaciones de resistencia y en caso de llegar a los umbrales mínimos especificados, se podrá iniciar la obra, de lo contrario hacer los ajustes del caso.

De estos factores, en el tramo de prueba inicial, ninguno de tuvo en cuenta.

Teniendo en cuenta que el personal de Interventoría del contrato forman parte de los interesados que vigilan el cumplimiento de los procedimientos y resultados de la inversión, también fue necesario involucrar una gestión de cambios asociadas a las labores de vigilancia y evaluación de las actividades del contratista.



Figura 22. Deficiencias del soporte en las orillas.

En las fotografías se observa la condición bajo la cual se estaban desarrollando los procesos de construcción, sobre bases sometidas a procesos de saturación, insuficiencia en los sistemas de drenaje, falta de compactación, falta de conformación, de bombeo de descapote y sin existencia de filtros y como resultado zonas de mezcla suelta que con el simple movimiento del zapato se deprendían, tal como se podría esperar de la calidad de un afirmado de mala calidad ya que al menos los hombros deberían dar cierta estabilidad.

Con la gestión de cambios en los documentos de diseño y en los procedimientos de trabajo se establecieron esquemas de trabajo más apropiados y como se observa en el siguiente registro fotográfico el aumento de una a dos capas mejoró la condición de mezcla, el trabajo sobre los materiales granulares fue fundamental y la evaluación y manejo de las aguas de escurrimiento.



Figura 23. Aspecto del pavimento con los nuevos procesos de trabajo.

Como se observa, se pudo conseguir un pavimento mucho más estable, bordes bien compactos y geometría regular, sin ningún tipo de falla.



Figura 24. Aspecto de la regularidad superficial del pavimento.

9.2.2. Revisar y aprobar cambios solicitados

Con los resultados encontrado y las evaluaciones parciales de los materiales de las evaluaciones de resistencia y comportamiento en campo de los diferentes cambios realizados luego de un mes de suspensión del contrato y pasado otro tanto en obra, se verificó que la gestión de cambios había dado resultado.

9.2.3. Gestionar los cambios aprobados

En este proyecto, la gestión de cambios se materializa en la aprobación de la modificación de cantidades, precios nuevos y reducción de la meta física ya que al involucrar algunos elementos con los cuales se garantizó una mejor calidad del producto terminado fue necesario incurrir en gastos adicionales, que efectivamente la entidad contratante vio

completamente viable, de tal forma que en el curso del tiempo se dieron las aprobaciones necesarias para continuar con la obra con las nuevas reglas.

9.2.4. Revisar y aprobar las acciones correctivas y preventivas

Efectivamente en los comités de obra de la Alcandía se ventilaron inicialmente los requerimientos de cambio de acuerdo a los informes, pruebas y visitas del especialista interventor, luego de manera conciliatoria se trazó un esquema de trabajo, en la fase de estudios y diseños, así como en obra, con el concurso de los funcionarios supervisores y al final viendo los procesos de corrección de las diversas etapas se detuvo cualquier intensión sancionatoria en contra de los contratistas, tanto de obra como de interventoría, de esta manera el tramo de prueba, en este caso, resultó ser un elemento de vital importancia para el desarrollo del contrato.

9.2.5. Controlar y actualizar requisitos alcance, coste y calidad

El panorama general de la gestión de cambios, como se observó anteriormente, se materializó en las aprobaciones, en el cambio de la meta física ya que el presupuesto se redujo en casi 300 millones de pesos, con lo cual se reorganizó presupuesto y programa de trabajo y sin lugar a dudas se ajustó el control de calidad el cual originó la necesidad de intervenir el contrato.



Figura 25. Aspecto del manejo de los materiales en obra.

9.2.6. Documentar el impacto total de los cambios solicitados

Sin lugar a dudas los cambios se fueron documentando con la presentación de los informes del especialista de interventoría, posteriormente los informes generados con estas observaciones no se hicieron esperar y posteriormente se dio un proceso conciliatorio en el cual se montaron las bases para el trabajo mancomunado entre interventor y contratista.

Con los cambios aprobados, se tramitaron las modificaciones técnicas y presupuestales a fin de asegurar el proceso de calidad y la entrega de una obra en mejores condiciones de calidad que la establecida inicialmente y en los respectivos informes periódicos de Contratista e interventoría se documentó el proceso total y el impacto que siguió a la gestión de los cambios solicitados.

9.2.7. Validar la reparación de defectos

Efectivamente los funcionarios supervisores dieron el visto bueno de la gestión de cambios efectuada en el desarrollo del proyecto y se validaron los resultados que finalmente fueron los factores destacados en el proceso de recibo de la obra, es claro que dentro de los procesos contractuales el contratista debió hacer una serie de reparaciones sobre las vías que resultaron afectadas reestableciendo las condiciones de calidad general de proyecto, con lo cual el contratista de obra tuvo de acceder y aceptar los errores e incurrir en gastos adicionales.

En la siguiente foto se observa la comparación entre un pavimento convencional elaborado con mezcla en caliente y un pavimento hecho con concreto asfáltico en frío con 100% de reciclaje y unas pequeñas adiciones de cemento y material fino de cantera.



Figura 26. Diferencia entre un pavimento flexible en caliente convencional y el pavimento con reciclaje.



Figura 27. Aspectos geométricos lineales y transversales y de regularidad superficial.

Como se puede ver en la figura 27, en primera instancia, no es posible determinar cuál de los dos es el reciclaje ya que viendo el aspecto de la mezcla se ve igual siendo la No. 1 la de material reciclado. En cuanto a su geometría y regularidad superficial presenta un aspecto óptimo. Es de esperarse una evaluación periódica a fin de conocer cómo se va comportando con el tiempo y el tránsito, así como los factores ambientales asociados.

10. Cambios asociados a la gestión de costos y presupuestos

Un aspecto fundamental en la implementación de cambios de un proyecto en el curso de su desarrollo lo constituyen los costos en los cuales se incurre y, como en este caso, la meta física que se tuvo de reducir a fin de mantener la estabilidad y garantizar la calidad del proyecto.

En la siguiente tabla se podrá observar un resumen general de los costos finales del contrato en los cuales se extraerán solamente lo pertinente a los costos totales de colocación de los materiales de reciclaje o fresado y los materiales de base que se emplearon como soporte de la mencionada carpeta.

De esta información se extraerán los costos adicionales que involucraron un nuevo diseño, sin tener en cuenta los gastos que el contratista realizó en el proceso de ajustes por reorganización de los procesos, por demoliciones y demás.

En términos generales las siguientes son las cantidades básicas de trabajo y materiales para el pavimento:

1. Cantidad de reciclaje por kilómetro: 900 m³
2. Cantidad de granular de base por kilómetro: 1000 m³

CONTRATO 95-2016

VALOR DEL CONTRATO: \$10.301.385.000

CORREGIMIENTO	VALOR OBRAS EJECUTADAS	CANTIDAD	VALOR POR OBRAS	INVERSIÓN CORREGIMIENTO	Cantidad (m3)	Recidado	Cantidad (m3)	Recebo	Otros
BETANIA	FRESADO ITSMO-TABACO	1.000 ML	\$537.831.006		1000	\$537.831.006			
	CUNETAS BETANIA-TABACO	496 ML	\$65.387.965		496				\$65.387.965
	RECEBO BETANIA-TABACO	1.020 ML	\$103.483.615				1020	\$103.483.615	
	REALCE CABEZOTES ALCANTARILLAS - TABACO	CABEZOTES DE 8 ALCANTARILLAS	\$1.645.840						\$1.645.840
INVERSIÓN CORREGIMIENTO DE BETANIA				\$708.348.426					
NAZARETH	FRESADO NAZARETH-RAIZAL	526,30 ML	\$316.787.787		526,3	\$316.787.787			
	FRESADO NAZARETH-PEÑALIZA	2.520 ML	\$1.501.995.287		2520	\$1.501.995.287			
	FRESADO NAZARETH-RIOS	327 ML	\$169.590.109		327	\$169.590.109			
	CUNETAS NAZARETH-RAIZAL	617,68 ML	\$82.502.078						\$82.502.078
	CUNETAS NAZARETH-PEÑALIZA	1.386,8 ML	\$180.549.510						\$180.549.510
	ALCANTARILLA NAZARETH - SOPAS 1	1 UNIDAD	\$28.552.659						\$28.552.659
	ALCANTARILLA NAZARETH - SOPAS 2	1 UNIDAD	\$36.688.516						\$36.688.516
	ALCANTARILLA NAZARETH - ANIMAS ALTAS	1 UNIDAD	\$35.641.987						\$35.641.987
	PLACA HUELLA NAZARETH-RAIZAL	175,21 ML	\$154.018.698						\$154.018.698
	PLACA HUELA NAZARETH - ANIMAS ALTAS	160 ML	\$145.197.704						\$145.197.704
	RECEBO NAZARETH (PEÑALIZA-RAIZAL-RIOS)	3.401 ML	\$449.960.801				3401	\$449.960.801	
	REPARCHEOS NAZARETH-AURAS	60 ML	\$51.764.546						\$51.764.546
	ARREGLO PLACA HUELLA NAZARETH-RAIZAL	20,3 ML	\$46.019.856						\$46.019.856
	NIVELACIÓN DE POZOS - NAZARETH-RIOS	4 POZOS	\$1.215.591						\$1.215.591
REALCE CABEZOTES ALCANTARILLAS Y MUROS - NAZARETH	CABEZOTES DE 37 ALCANTARILLAS Y 2 MUROS	\$14.296.884						\$14.296.884	
INVERSIÓN CORREGIMIENTO DE NAZARETH				\$3.214.782.013					
SAN JUAN	FRESADO SAN JUAN-NUEVA GRANADA	3.980 ML	\$3.580.618.836		3980	\$3.580.618.836			
	CUNETAS SAN JUAN	2.398,40 ML	\$349.336.318						\$349.336.318
	REALCE CABEZOTES ALCANTARILLAS Y MURO - SAN JUAN	CABEZOTES DE 32 ALCANTARILLAS Y 1 MURO	\$13.865.596						\$13.865.596
	ALCANTARILLA 6M - SAN JUAN - SAN ANTONIO	1 UNIDAD	\$36.335.666						\$36.335.666
	ALCANTARILLA 12M - SAN JUAN - SAN ANTONIO	1 UNIDAD	\$56.521.062						\$56.521.062
	PASO 1 - SAN JUAN - VEGAS-CHORRERAS	30 ML	\$25.555.113						\$25.555.113
	PASO 2 - SAN JUAN - VEGAS-CHORRERAS	25 ML	\$13.240.891						\$13.240.891
	PASO 3 SAN JUAN - VEGAS-CHORRERAS	67 ML	\$20.770.072						\$20.770.072
	CANAL DISIPADOR SAN JUAN - NUEVA GRANADA	33 ML	\$21.796.676						\$21.796.676
	TUBERÍA NOVAFORT 14" - SAN JUAN - NUEVA GRANADA	22 ML	\$13.911.892						\$13.911.892
	ALCANTARILLA SAN JUAN - CAPITOLIO	1 UNIDAD	\$31.781.931						\$31.781.931
	ALCANTARILLA SAN JUAN - CONCEPCIÓN 1	1 UNIDAD	\$31.566.973						\$31.566.973
	ALCANTARILLA SAN JUAN - CONCEPCIÓN 2	1 UNIDAD	\$33.204.453						\$33.204.453
	ALCANTARILLA SAN JUAN - CONCEPCIÓN 3	1 UNIDAD	\$37.149.257						\$37.149.257
	PLACA HUELLA SAN JUAN - LAGUNITAS	141 ML	\$199.853.251						\$199.853.251
	RECEBO SAN JUAN - NUEVA GRANADA	7.840 ML	\$1.912.746.576				7840	\$1.912.746.576	
INVERSIÓN CORREGIMIENTO DE SAN JUAN				\$6.378.254.561	8849,3	\$6.106.823.025	12261	\$2.466.190.992	\$1.728.370.984
VALOR TOTAL EJECUTADO			\$10.301.385.000	\$10.301.385.000					

Tabla No. 13. Resumen sobre inversiones finales realizadas por actividad de obra.

Como se observa, la tabla 13 presenta un resumen general de cantidades y costos de obra, de lo anterior se puede establecer:

1. El 80% del valor del proyecto se invirtió en la estructura del pavimento
2. El siguiente cuadro establece los valores de transporte:

VALORES TOTALES DE TRANSPORTE DE MATERIALES SOLO PARA EL PAVIMENTO				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Transporte de material fresado - petreos - acarreo en volqueta	M3-KM	2.688.424,10	\$ 960,00	\$ 2.580.887.136,00
Transporte de emulsión asfáltica y uso de camión irrigador para riego en sitio sobre fresado para extendido o mezclado en paño	LT-KM	100.336.170,00	\$ 11,00	\$ 1.103.697.870,00

Tabla No. 14. Precios de transporte de materiales para pavimento.

Del valor del pavimento el 50% corresponde al acarreo de los materiales ya que de manera independiente a formar parte de zonas pertenecientes al Distrito, estas distancias superaban los 150 kilómetros en algunos casos, por lo que este precio afecta de manera importante los valores de las obras.

3. Se requieren 850 m³ de granular y otro tanto de reciclaje por Km pavimentado.
4. El incremento de volúmenes de material y los precios luego del diseño producto de la gestión de cambios puede verse en la siguiente tabla, por metro cúbico de pavimento de reciclaje.

Material	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
Agregado	(m ³)	0,2	\$ 53.377,00	\$ 10.675,40
Cemento	Kg	80	\$ 561,34	\$ 44.907,20
Emulsión	Lt	15	\$ 1.450,00	\$ 21.750,00
Costos directos				\$ 77.332,60
AIU (30%)				\$ 23.199,78
Total adición por re-diseños				\$ 100.532,38

Tabla No. 15. Sobre costos por ajustes de diseños iniciales – m³.

Se debe tener en cuenta que se instalaron 8849,3 m³ de fresado, es decir el costo adicional fue de 900 millones de pesos, lo que indica el 10% del valor del contrato,

rediciendo la meta física de manera importante. Teniendo en cuenta que el contratista ya había instalado un buen porcentaje del material, los ajustes fueron aplicados en un 50%, es decir el impacto real fue la reducción de la meta en un 5%, como es natural el contratista tuvo que asumir una importante pérdida, especialmente debida a las reparaciones acometidas en las zonas falladas que se cargó a cuenta de él, como también parte de los transportes que no fueron incluidos en los ajustes mencionados.

5. Si se quisiera hacer un comparativo de precios entre el concreto asfáltico convencional y el que se logró conseguir con el reciclaje del fresado podemos calcular que el valor, sin tener en cuenta el transporte, está cercano al 35%, lo que indica que por cada kilómetro de concreto asfáltico convencional, se podrían pavimentar 2,5 kilómetros de pavimento con reciclaje del fresado, para vías y calles de bajos niveles de tránsito.

11. Conclusiones y recomendaciones

Es indudable que con el advenimiento de nuevos procesos, materiales y sistemas de gestión, así como de la nueva manera de ver el universo, la misma conciencia de las personas provocan cambios dentro de la manera como se desarrollan la civilización.

Actualmente estamos siendo testigos de un importante cambio tecnológico y una revolución sin precedentes en los sistemas de comunicación, es posible que en ninguna época de la historia conocida de la humanidad el hombre se volviera un ser reflexivo sobre el impacto de sus acciones sobre la naturaleza que lo rodea, es posible que estos factores también estén relacionados con la evidencia, cada vez más crítica, del impacto negativo de sus acciones y de la temible explosión demográfica por la que pasa la humanidad, en este maremágnum de cambio, la eficiencia en el uso de los elementos se hace más importante, el reciclaje forma parte de nuestra nueva cultura.

En esta investigación aplicada se han podido constatar varios elementos:

1. Que aún hay un importante cúmulo de conocimientos inexplorados en el campo de la ingeniería de materiales, en especial lo que hace referencia a reciclajes de desechos sólidos, que es el caso que nos ocupó en el desarrollo del proyecto.

2. Que aun cuando existe una normativa bien definida para aplicaciones de materiales convencionales en construcción de vías, sean primarias, secundarias o calles, existe una limitación cuando se habla de reciclaje pericial o total de granulares ya utilizados.
3. Que gracias a una adecuada gestión de proyectos, en la componente de ajuste y actualización del contrato que se tomó de base para la investigación, permitió conseguir un producto final con mayores estándares de calidad y la posibilidad de tener un elemento de innovación que muy pocas veces o en ningún momento se había podido conseguir dado que no se había tenido el concurso de los factores que permitieron legitimar los novedosos diseños de mezcla.
4. Que a pesar de que de disminuyó la meta física del contrato, como era de esperarse, la gestión de cambios aseguró una mayor calidad del producto entregado a la comunidad y una mayor eficiencia en la inversión de los recursos públicos
5. Que con la combinación de las metodologías existentes en la ingeniería de pavimentos del país, algunos conceptos y experiencias de otros países, se logró conseguir una mezcla de buena calidad y se cortó, al menos en este proyecto, la tendencia que se traía de varios años en la cual las vías tratadas con este proceso, tenían comportamiento variable y su falla podía darse, incluso, en el periodo de construcción, como efectivamente estaba pasado con este proyecto cuando se dio el proceso de cambio del mismo. Teniendo en cuenta que ha sido muy reciente el proceso de construcción, se recomienda efectuar una segunda etapa de esta investigación a fin de cuantificar las características del pavimento con el tiempo, es decir, la FASE II de esta investigación.

Teniendo en cuenta que con esta experiencia se pudo probar que efectivamente se pueden conseguir pavimentos de buena calidad con el uso de reciclaje de estructuras viejas es evidente que se ratifica la necesidad de seguir investigando y profundizando a cerca de los temas de reciclaje, no solo en el campo de las calles y vías de baja especificación, sino también en otras aplicaciones donde es necesario disponer de materias primas escasas y que gracias a las propiedades remanentes de los desechos, es posible que continúen dando servicio, mitigando, no solo la escasez sino también los costos ambientales y sociales que de alguna forma se reducen con el reciclaje.

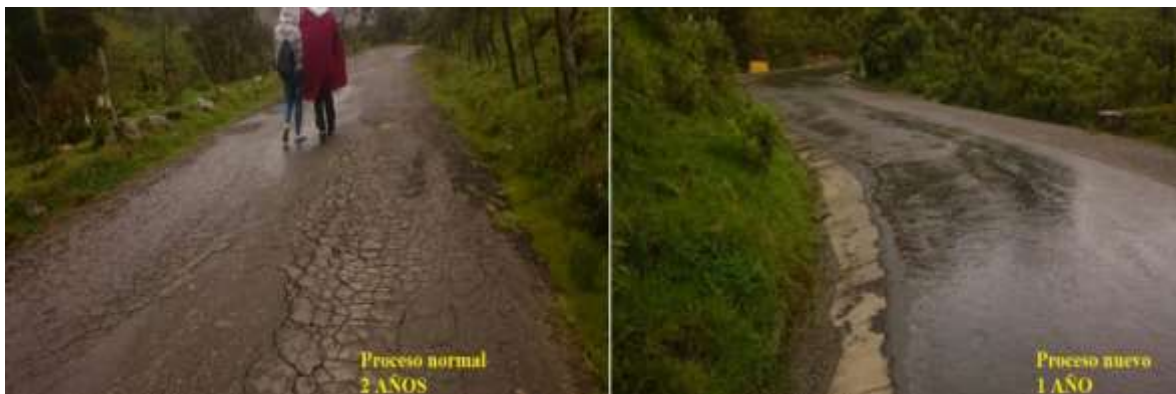


Figura 28. Aspectos de vías hechas con materiales reciclados, proceso nuevo y proceso viejo

A manera de conclusión vemos en la figura 28, como el tratamiento hecho hace 2 años con el proceso que se venía utilizando, presenta una patología de daños importante y en la fotografía 2 se observa que la carpeta asfáltica e reciclaje no presenta ningún tipo de falla, pese al descuido que eventualmente tienen las entidades del Estado de no hacerle mantenimiento a las obras terminadas.

12. Bibliografía

- Betssey, Neidy, Patino Boyacál, Reyes,-Ortiz, Oscar, Javier, Camacho-Taüta, Javier Fernando. Comportamiento a fatiga de mezclas asfálticas colombianas con adición de pavimento reciclado al 100%. Universidad Distrital. Revista Tecnura. 19 (43).
- Corasfaltos, Tecnología de ligantes asfálticos y mezclas asfálticas. Bucaramanga, Junio de 2003. 120 Páginas.
- Department transport and main road, Specification MRTS102, Reclaimed Asphalt Pavement Material. Estate off Queensland. Australia. 2017.
- Instituto de Desarrollo Urbano - IDU, Documento de contrato de consultoría 366-01. Universidad de los Andes. Estudio de las mejoras mecánicas de las mezclas asfálticas con desechos de llantas, Septiembre de 2002. 250 Pág.
- Federal Highway Administration. U.S. Department of Administration Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments. Publication No. FHWA SA 98.042. National Center for Asphalt Technology. Auburn University, 1977. 301 Pg.

Federal Highway Administration. U.S. Department of Administration Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures: State of the Practice. Publication No. FHWA HRT 11 021. Georgetown 2011. 60 Pg.

Instituto Nacional de Vías. Especificaciones generales de construcción de carreteras, Ministerio de Transporte, Santa fe de Bogotá, 1998 Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 456Pág.

Instituto Nacional de Vías. Especificaciones generales de construcción de carreteras, Ministerio de Transporte, Santa fe de Bogotá, 1998 Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 456Pág.

Instituto Nacional de Vías. ICPC y Ministerio de Transporte., Subdirección de Apoyo Técnico. Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito, Abril de 2008. Bogotá, Colombia. 114 Pág.

Londoño, N., Cipriano, Alberto. Diseño, Construcción y Mantenimiento de Pavimentos de Concreto. Instituto Colombiano de Productores de Cemento – ICPC. Editorial Piloto S.A., Bogotá – Colombia. 184 Pág.

Minnesota Department of Transportation, Synopsis of recycled asphalt pavement (RAP). Material. LRRB Local Road Research. Minneapolis, June 2016.

Mocada, Rojas Olga Cecilia; Ramírez, Navarro Belsy Cristina y Chaves, Porras Álvaro.

Plan de manejo integral de residuos sólidos en obras de contención, mitigación y mantenimiento en la vía Bogotá Villavicencio. Universidad Militar Nueva Granada. 20 Pg. Sf.

Villafañe, Libreros, Valentina. Tesis: plan de manejo ambiental de residuos sólidos generados por actividades de construcción en el Municipio de Zarzal, Valle del Cauca. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira. 2013. 64 Pág.

Villalaz, Crespo, Carlos. Mecánica de suelos y cimentaciones, 5ta. Edición Editorial Limusa – Noruega Editores, México 1980. 646 Pág.

Wikipedia “La Enciclopedia Libre”. www.wikipedia.org

Wallace, Hugh A. y martin, J. Rogers. Asphalt pavement engineering. Editorial McGRAW – HILL BOOK Company, New York. 1967. 351 Pg.