



POLITÉCNICO COLOMBIANO  
JAIME ISAZA CADAVID

PRACTICA EMPRESARIAL COMO AUXILIAR DEL DEPARTAMENTO TECNICO EN LA  
EMPRESA SUELOS Y PAVIMENTOS LTDA.

JOHAN ESTEBAN TORRES SILVA  
CC 1.037.623.238

Asesor temático  
Carlos Andrés Ordoñez  
Docente Asociado

Trabajo de grado como requisito para optar al título de Ingeniería Civil

POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
INGENIERIA CIVIL  
MEDELLIN

2014

## **RESUMEN**

Suelos y Pavimentos Ltda es una empresa especializada en ensayos de laboratorio como apoyo en el control de fuentes de materiales o mezclas, a empresas constructoras, consultoras, interventoras y entidades estatales, en el área de las vías; regidas por las leyes colombianas, las normas técnicas colombianas para ensayos (NTC) y especificaciones y normas de ensayo de materias para carreteras del Instituto Nacional de Vías.

Durante el proceso de práctica, la empresa suelos y pavimentos ltda requiere de apoyo en la elaboración de informe de ensayos de resistencia a la compresión de concreto, densidad de campo, gestión y programación de fallado de cilindros al interior del laboratorio y con los clientes, además de brindar apoyo en la elaboración de informes, acompañamiento y solicitudes de los clientes en cuanto a pruebas y resultados de las mismas.

**PALABRAS CLAVES:** Suelos, Pavimentos, Cilindros, Vías, Ensayos.

# CONTENIDO

	<b>Página.</b>
1. Objetivos	
1.1. Objetivo general. ....	5
1.2. Objetivos específicos. ....	5
2. Marco teórico.	
2.1. Generalidades .....	6
2.2. Clasificación de los pavimentos. ....	7
2.2.1. Pavimento flexible. ....	7
2.2.1.1. Tipos de daños en pavimentos flexibles. ....	7
2.2.1.1.1. Fisuras. ....	8
2.2.1.1.2. Deformaciones. ....	15
2.2.1.1.3. Perdidas de capa estructural. ....	19
2.2.1.1.4. Daños superficiales. ....	22
2.2.1.1.5. Otros daños. ....	24
2.2.2. Pavimento rígido. ....	26
2.2.2.1. Tipos de daños en pavimentos rígidos. ....	27
2.2.2.1.1. Grietas. ....	27
2.2.2.1.2. Daños en juntas. ....	30
2.2.2.1.3. Deterioros superficiales. ....	32
2.2.3. Pavimento articulado. ....	38
2.3. Capas de un pavimento flexible. ....	38
2.3.1. Sub rasante. ....	38

2.3.2. Sub base. ....	38
2.3.3. Base. ....	39
2.3.4. Rodadura. ....	39
2.4. Ensayos de laboratorio necesarios para el diseño de un pavimento. ....	40
2.4.1. Análisis granulométrico. ....	40
2.4.2. Contenido de humedad. ....	40
2.4.3. Límites de atterberg. ....	40
2.4.4. Peso específico. ....	41
2.4.5. Resistencia del suelo (CBR). ....	41
2.5. ¿Qué paso con las losas de Transmilenio? ....	42
2.5.1. No se culminaron los estudios de diseño. ....	42
2.5.2. Diseño y construcción deficiente. ....	44
2.5.3. El constructor no se ciñó al diseño. ....	45
2.5.4. Hubo errores constructivos. ....	47
2.5.5. Hubo mal uso de materiales. ....	49
2.5.6. Fenómeno de bombeo y erosión de los materiales. ....	51
2.5.7. Estudios y recomendaciones posteriores que no se siguieron. ....	52
3. Bitácora de Práctica. ....	53
4. Bibliografía. ....	64

# **1. OBJETIVOS**

## **1.1. OBJETIVO GENERAL**

- 1.1.1. Brindar apoyo sobre el control y seguimientos en los procesos de gestión, programación y elaboración de informes para ensayos específicos ofrecidos por la empresa Suelos y pavimentos Ltda.

## **1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- 1.2.1. Ofrecer apoyo en la elaboración de informes de ensayos de resistencia a la compresión del concreto.
- 1.2.2. Ofrecer apoyo elaboración de informe de ensayos de densidad de campo
- 1.2.3. Brindar apoyo en la elaboración de informes a los clientes
- 1.2.4. Gestionar y programar el fallo de cilindros al interior del laboratorio
- 1.2.5. Brindar apoyo al sistema de gestión de calidad en los procesos de mantenimiento, compras y proveedores de equipos de laboratorio.

## 2. MARCO TEORICO.

### 2.1. GENERALIDADES.

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento.<sup>1</sup>

El diseño de un pavimento consiste en establecer una estructura para una duración dada, bajo las sollicitaciones del tránsito y el medio ambiente. En este proceso intervienen varios elementos entre los que se encuentran los materiales, los espesores de las capas, los procedimientos de construcción y las acciones de mantenimiento que son factores determinantes para que la estructura presente un buen comportamiento.

Pensar en el diseño de un pavimento pretende además destacar en cuanto al desarrollo socioeconómico, la incidencia que tendrá la vía para la zona de proyecto. Sabemos que el transporte es un elemento de gran influencia en la economía de las zonas urbanas y rurales, y la servicibilidad de las carreteras contribuye al desarrollo socioeconómico de los sectores de la población en los que incidirá la concepción del diseño, por ello es necesario una adecuada planificación en los proyectos viales para que puedan garantizar y facilitar el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes. Dicha servicibilidad es función del estado superficial y estructura de pavimento. Por ello es de gran importancia para la región, que se cuente con una red vial eficiente que permita la comunicación entre sus diferentes núcleos urbanos y rurales.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Artículo Construye pavimentos; Antonio Ortega Maldonado.

<sup>2</sup> Revisión del diseño de la estructura de pavimento para la segunda calzada Niquia Hatillo intersección Girardota; Judyhy Ester Cuesta Martínez, Jeisy Caterine Giraldo Gómez.

## 2.2. CLASIFICACION DE LOS PAVIMENTOS.<sup>3</sup>

Los pavimentos se clasifican en pavimentos flexibles, rígidos y en afirmado, y de acuerdo con su funcionamiento bajo las cargas para bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. En este informe se tratarán los de tipo flexible, rígido y en afirmado.

### 2.2.1. PAVIMENTO FLEXIBLE.

Este pavimento está constituido por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub base. Debido a la alta flexibilidad de la carpeta bituminosa (capacidad de gran deformación sin rotura bajo la acción de una carga), el peso del vehículo que transita sobre la superficie es prácticamente una carga concentrada, cuyo efecto se disminuye a través del espesor de las capas subyacentes, hasta llegar distribuido y atenuado a la sub rasante.

#### 2.2.1.1. TIPOS DE DAÑOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.<sup>4</sup>

Los daños que presenta una estructura de pavimento flexible pueden ser clasificados en cinco categorías:

- Fisuras.
- Deformaciones.
- Perdidas de capa estructural.
- Daños superficiales.
- Otros daños.

---

<sup>3</sup> Manual para el mantenimiento de la red vial secundaria; Ministerio de transporte.

<sup>4</sup> Estudio e investigación del estado actual de las obras de red nacional de carreteras; INVIAS 2007.

### 2.2.1.1.1. FISURAS.

#### 2.2.1.1.1.1. Fisuras longitudinales y transversales.

Corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica en la misma dirección del tránsito o transversales a él. Son indicio de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, los cuales han superado la resistencia del material afectado. La localización de las fisuras dentro del carril puede ser un buen indicativo de la causa que las generó, ya que si estas se encuentran en zonas sujetas a carga pueden estar relacionadas con problemas de fatiga de toda la estructura o de alguna de sus partes.

Este tipo de fisuras se generan principalmente por: Rigidización de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler (Material de origen mineral no arcilloso que pasa tamiz No. 200) o al envejecimiento del asfalto, Reflexión de grietas de las capas inferiores, Fatiga de la estructura usualmente se presenta en las huellas del tránsito, Riego de ligante insuficiente o ausencia total del mismo, Espesores insuficientes de rodadura.

Foto1. Fisura longitudinal.

Localización. Vía antigua hacia san jerónimo



Fuente. Esteban torres

Foto 2. Fisuras transversales.

Localización. Vía antigua hacia san jerónimo



Fuente. Esteban Torres.

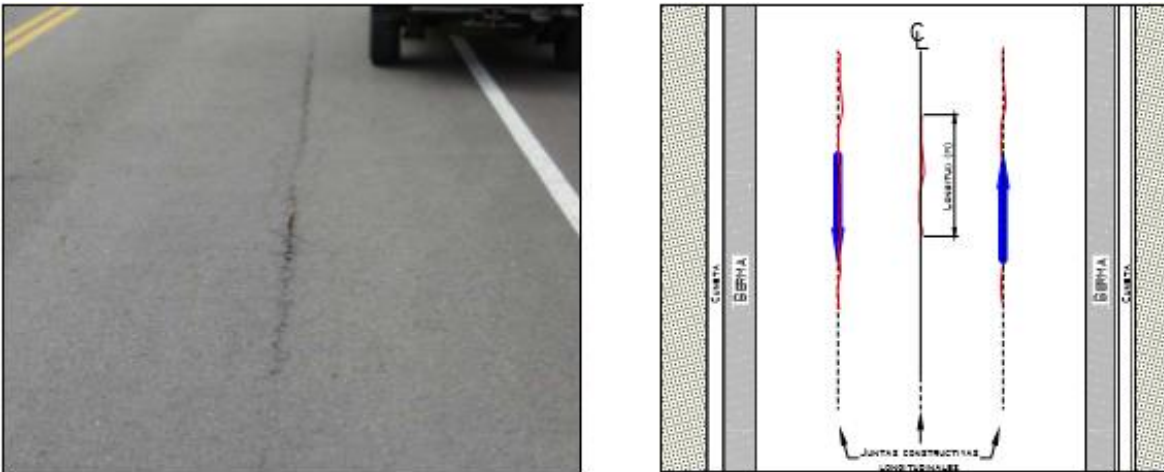
#### 2.2.1.1.1.2. Fisuras en juntas de construcción.

Corresponden a fisuras longitudinales o transversales generadas por la mala ejecución de las juntas de construcción de la carpeta asfáltica. Se localizan generalmente en el eje de la vía.

Ocurren generalmente por las siguientes causas:

- Carencia de ligante en las paredes de la junta.
- Deficiencia en el corte vertical de las franjas construidas con anterioridad.
- Deficiencia en la compactación en la zona de la junta.

Foto 3. Fisuras en juntas de construcción.



Fuente. Manual Invias.

#### 2.2.1.1.1.3. Fisuras por reflexión de juntas o grietas en placas de concreto.

Este tipo de daño se presenta cuando existe una capa de concreto asfáltico sobre placas de concreto rígido; tales fisuras aparecen por la proyección en superficie de las juntas de dichas placas, en cuyo caso presentan un patrón regular, o también cuando existen grietas en las placas de concreto rígido que se han reflejado hasta aparecer en la superficie presentando un patrón irregular.

Foto 4. Fisuras en juntas en placas de concreto



Fuente. Manual Invias.

#### 2.2.1.1.1.4. Fisuras en media luna.

Son fisuras de forma parabólica asociadas al movimiento de la banca por lo que usualmente se presentan acompañadas de hundimientos.

En general, este tipo de fisuras se producen por inestabilidad de la banca o por efectos de desecación, aunque entre otras causas se pueden mencionar las siguientes: Falla lateral del talud en zonas de terraplén, Falla del talud en zonas de corte a media luna, Ausencia o falla de obras de contención de la banca, Consolidación de los rellenos que acompañan las obras de contención.

Foto 5. Fisura a media luna.  
Localización. Vía antigua hacia san jerónimo



Fuente. Esteban Torres.

#### 2.2.1.1.1.5. Fisuras de borde.

Corresponden a fisuras con tendencia longitudinal a semicircular, localizadas cerca del borde de la calzada, se presentan principalmente por la ausencia de berma o por la diferencia de nivel entre la berma y la calzada.

#### 2.2.1.1.1.6. Fisuras en bloque.

Cuando se presenta este tipo de daño la superficie del asfalto es dividida en bloques de forma aproximadamente regular. Este deterioro difiere de la piel de cocodrilo en que esta última aparece en áreas sometidas a carga, mientras que los bloques aparecen usualmente en áreas no cargadas.

Estas fisuras son causadas principalmente por la contracción del concreto asfáltico debido a la variación de la temperatura durante el día, lo cual se traduce en ciclos de esfuerzo-deformación sobre la mezcla. La presencia de este tipo de fisuras indica que el asfalto se ha endurecido significativamente, lo cual sucede debido al envejecimiento de la mezcla o al uso de un tipo de asfalto inadecuado para las condiciones climáticas de la zona.

Foto 6. Fisura en bloque.



Fuente. Sellado de juntas en superficies asfálticas; G. Botasso, R. González, P. Rodríguez

#### 2.2.1.1.1.7. Piel de cocodrilo.

Corresponde a una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, generalmente localizadas en zonas sujetas a repetición de carga. La fisura tiende a iniciarse en el fondo de la capa asfáltica, donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de las cargas. Las fisuras se propagan a la superficie inicialmente como una o más fisuras longitudinales paralelas. Ante la repetición de cargas, estas se propagan formando piezas angulares que desarrollan un modelo parecido a la piel de un cocodrilo.

Esta falla ocurre generalmente en áreas que están sometidas a cargas de tránsito, sin embargo, es usual encontrar este daño en otras zonas donde se han generado deformaciones en el pavimento que no están relacionadas con una falla estructuras sino con otros mecanismos como por ejemplo problemas de drenaje que afectan los materiales granulares, falta de compactación de las capas, reparaciones mal ejecutadas y sub rasantes expansivas, entre otras.

Foto 7. Fisuras piel de cocodrilo.  
Localización. Vía antigua hacia san jerónimo



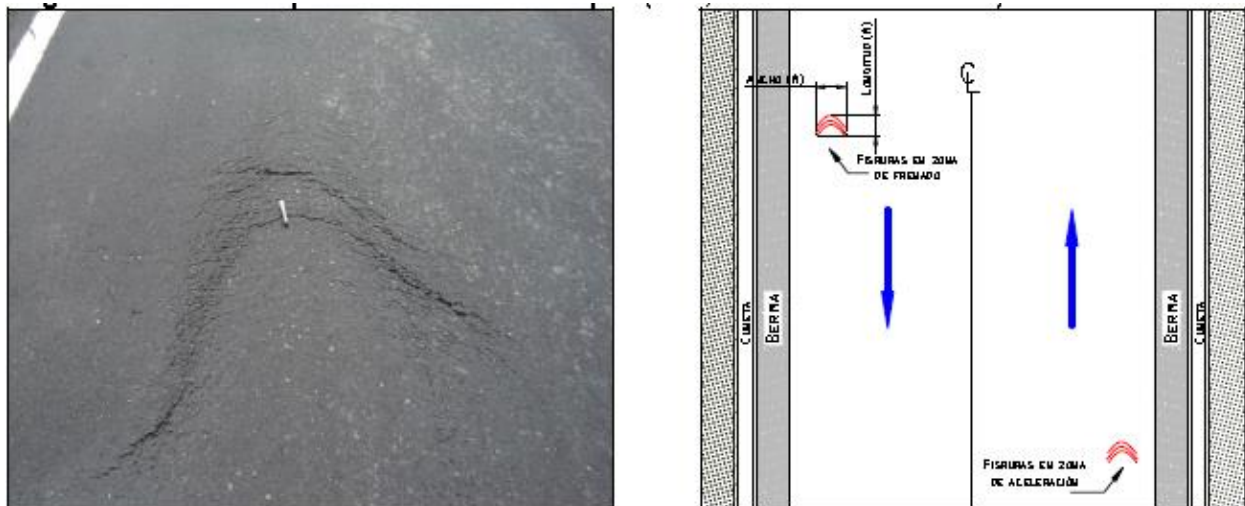
Fuente. Esteban Torres.

#### 2.2.1.1.1.8. Fisuras por deslizamiento de capas.

Corresponden a fisuras en forma de semicírculos o medialuna, con curvaturas definidas de acuerdo con la fuerza de tracción que produce la llanta sobre el pavimento (al acelerar o frenar). Este tipo de fisuras se generan por acción del arranque o frenado de los vehículos, lo que conlleva a que la superficie del pavimento se deslice o se deforme. Usualmente aparecen en zonas montañosas, en curvas o en intersecciones.

Este fallo se presenta usualmente cuando existe una mezcla en la superficie de baja resistencia o por la escasa adherencia entre las capas superficiales de la estructura del pavimento. Se puede generar ante el paso de tránsito muy pesado o muy lento, en zonas de frenado y acelerado de los vehículos.

Foto 8. Fisuras por deslizamiento de capas.



Fuente. Manual Invias.

#### 2.2.1.1.1.9. Fisuras incipientes.

La fisuración incipiente corresponde a una serie de fisuras contiguas y cerradas, que generalmente no se interceptan. Suelen afectar el concreto asfáltico de manera superficial. Por ser daños muy leves no poseen niveles de severidad asociados.

Pueden ocasionarse por diferencia de temperatura entre la mezcla y el medio ambiente en el momento de la colocación o también de dan por que durante la colocación del concreto asfáltico se presentan fenómenos de lluvia.

#### 2.2.1.1.2. DEFORMACIONES.

##### 2.2.1.1.2.1. Ondulación.

También conocido como corrugación o rizado, es un daño caracterizado por la presencia de ondas en la superficie del pavimento, generalmente perpendiculares al a dirección del tránsito, con longitudes entre crestas usualmente menores de 1.0 metro.

La ondulación es una deformación plástica de la capa asfáltica, debido generalmente a una pérdida de estabilidad de la mezcla en climas cálidos por mala dosificación del asfalto, uso de ligantes blandos o agregados redondeados. Muchos de los casos suelen presentarse en las zonas de frenado o aceleración de los vehículos.

Otra causa puede estar asociada a un exceso de humedad en la sub rasante, en cuyo caso el daño afecta toda la estructura del pavimento. Además también puede ocurrir debido a la contaminación de la mezcla asfáltica con finos o material orgánico.

#### 2.2.1.1.2.2. Abultamiento.

Este deterioro se asigna a los abombamientos o prominencias que se presentan en la superficie del pavimento. Pueden presentarse bruscamente ocupando pequeñas áreas o gradualmente en áreas grandes, acompañados en algunos casos de fisuras.

Se genera principalmente por la expansión de la sub rasante o en capas de concreto asfáltico colocado sobre placas de concreto rígido, el cual se deforma al existir presiones bajo la capa asfáltica (como las generadas por procesos de bombeo).

Foto 9. Abultamiento.



Fuente. Manual Invias.

#### 2.2.1.1.2.3. Hundimiento.

Los hundimientos corresponden a depresiones localizadas en el pavimento con respecto al nivel de la rasante.

Este tipo de daño puede generar problemas de seguridad a los vehículos, especialmente cuando contienen agua pues se puede producir hidropneumático. Los hundimientos pueden estar orientados de forma longitudinal o transversal al eje de la vía o pueden tener forma de medialuna.

Existen diversas causas que producen hundimientos las cuales están asociadas con problemas que en general afectan toda la estructura del pavimento; causas como: Asentamientos de la subrasante, Deficiencia de compactación de las capas inferiores del pavimento, Deficiencia de drenaje que afecta a los materiales granulares, Inestabilidad de la banca, Circulación de tránsito muy pesado, entre otras.

Foto 10. Hundimiento.  
Localización. Vía antigua hacia san jerónimo



Fuente. Esteban Torres.

#### 2.2.1.1.2.4. Ahuellamiento.

El Ahuellamiento es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de las llantas de los vehículos. Con frecuencia se encuentra acompañado de una elevación de las áreas adyacentes a la zona deprimida y de fisuración.

Un Ahuellamiento significativo puede llevar a la falla estructural del pavimento y posibilitar el hidropilado por almacenamiento de agua.

Este problema ocurre principalmente debido a una deformación permanente de alguna de las capas del pavimento o de la sub rasante, generada por deformación plástica del concreto asfáltico o por deformación de la sub rasante debido a la fatiga de la estructura ante la repetición de cargas.

La deformación plástica de la mezcla asfáltica tiende a aumentar en climas cálidos, y también puede darse por una compactación inadecuada de las capas durante la construcción, por el uso de asfaltos blandos o de agregados redondeados.

Foto 11. Ahuellamiento.



Fuente. Manual Invias.

### 2.2.1.1.3. PERDIDA DE LAS CAPAS ESTRUCTURALES.

#### 2.2.1.1.3.1. Descascaramiento.

Este deterioro corresponde al desprendimiento de parte de la carpeta asfáltica superficial, sin llegar a afectar las capas asfálticas subyacentes.

Este tipo de falla son causadas principalmente por los factores: Limpieza insuficiente previa a tratamientos superficiales, Espesor insuficiente de la capa de rodadura asfáltica, Riego de liga deficiente, Mezcla asfáltica muy permeable, entre otros.

Foto 12. Descascaramiento.  
Localización. Vía antigua hacia san jerónimo



Fuente. Esteban Torres.

#### 2.2.1.1.3.2. Baches

Desintegración total de la carpeta asfáltica que deja expuestos los materiales granulares lo cual lleva al aumento del área afectada y al aumento de la profundidad debido a la acción del tránsito. Dentro de este tipo de deterioro se encuentran los ojos de pescado que corresponden a baches de forma redondeada y profundidad variable, con bordes bien definidos que resultan de una deficiencia localizada en las capas estructurales.

Este tipo de deterioro puede presentarse por la retención de agua en zonas fisuradas que ante la acción del tránsito producen reducción de esfuerzos efectivos generando deformaciones y la falla del pavimento. Este deterioro ocurre siempre como evolución de otros daños, especialmente de piel de cocodrilo. También es consecuencia de algunos defectos constructivos o de una deficiencia de espesores de capas estructurales.

Foto 13. Brechas.  
Localización. Vía antigua hacia san jerónimo



Fuente. Esteban Torres.

#### 2.2.1.1.3.3. Parche.

Los parches corresponden a áreas donde el pavimento original fue removido o reemplazado por un material similar o diferente, ya sea para reparar la estructura o para permitir la instalación o reparación de alguna red de servicios.

Las causas del deterioro propio del parche pueden establecerse teniendo en cuenta el tipo de daño que presente. Sin embargo, pueden estar asociadas principalmente a factores tales como

procesos constructivos, progresión del daño inicial por el cual debió realizarse el parcheo, deficiencias en las juntas, propagación de daños existentes en las áreas aledañas al parche.

Foto 14. Parche.  
Localización. Vía San Antonio – La ceja.



Fuente. Esteban Torres.

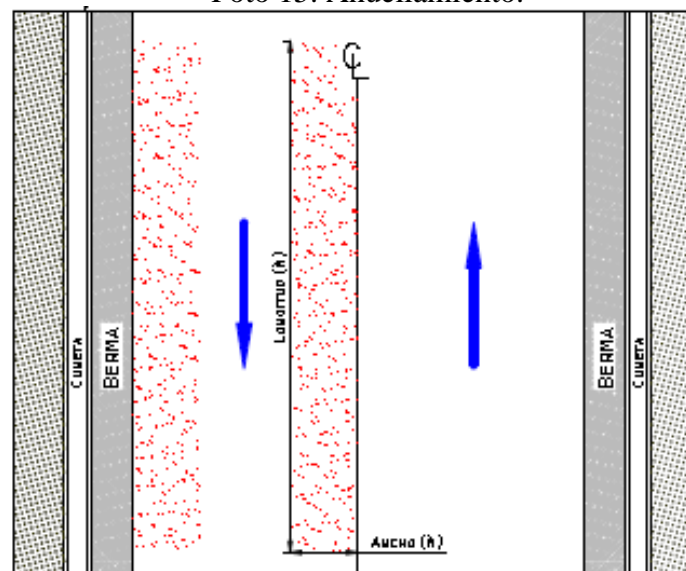
#### 2.2.1.1.4. DAÑOS SUPERFICIALES.

##### 2.2.1.1.4.1. Desgaste superficial.

Corresponde al deterioro del pavimento ocasionado principalmente por acción del tránsito, agentes abrasivos o erosivos. Se presenta como pérdida de ligante y mortero. Suele encontrarse en las zonas por donde transitan los vehículos. Este daño provoca aceleración del deterioro del pavimento por acción del medio ambiente y del tránsito.

El desgaste superficial generalmente es un deterioro natural del pavimento, aunque si se presenta con severidades medias o altas a edades tempranas puede estar asociado a un endurecimiento significativo del asfalto.

Foto 15. Ahuellamiento.



Fuente. Manual Invias.

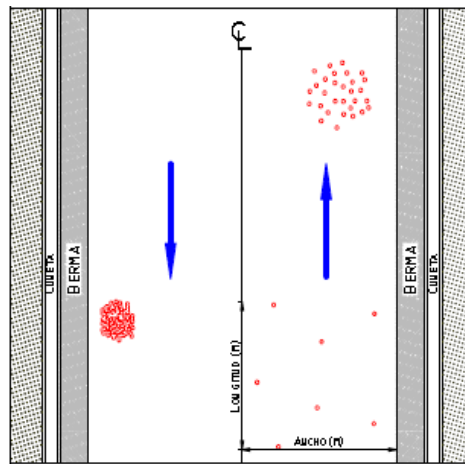
##### 2.2.1.1.4.2. Perdida de agregado.

Conocida también como desintegración, corresponde a la disgregación superficial de la capa de rodadura debido a una pérdida gradual de agregados, haciendo la superficie más rugosa y

exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos. Este tipo de daño es común en tratamientos superficiales, caso en el que pueden aparecer estrías en la dirección del riego y debe ser reportado como surcos.

Se presenta principalmente por una aplicación irregular del ligante en tratamientos superficiales, Problemas de adherencia entre agregado y asfalto, Uso de agregados contaminados con finos o agregados muy absorbentes, Endurecimiento significativo del asfalto, Deficiencia de compactación de la carpeta asfáltica, entre otros.

Foto 16. Ahuellamiento.



Fuente. Manual Invias.

#### 2.2.1.1.4.3. Pulimento del agregado.

Este daño se evidencia por la presencia de agregados con caras planas en la superficie o por la ausencia de agregados angulares, en ambos casos se puede llegar a afectar la resistencia al deslizamiento.

La causa de este tipo de daño radica en una baja resistencia o susceptibilidad de algunos agregados al pulimento por la acción de los vehículos.

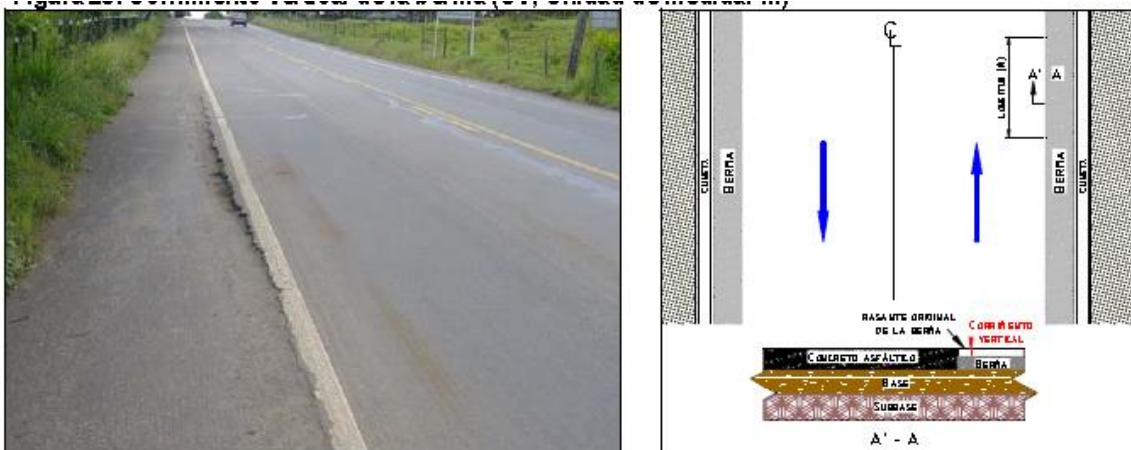
## 2.2.1.1.5. OTROS DAÑOS.

### 2.2.1.1.5.1. Corrimiento vertical de la berma.

Corresponde a una diferencia de elevación entre la calzada y la berma, debido a un desplazamiento de la berma. Permite la infiltración de agua hacia el interior de la estructura del pavimento, provocando su deterioro.

Generalmente sucede cuando existen diferencias entre los materiales de la berma y el pavimento o por el bombeo del material de base en la berma. También puede estar asociado con problemas de inestabilidad de los taludes adenaños.

Foto 17. Corrimiento vertical de la berma.



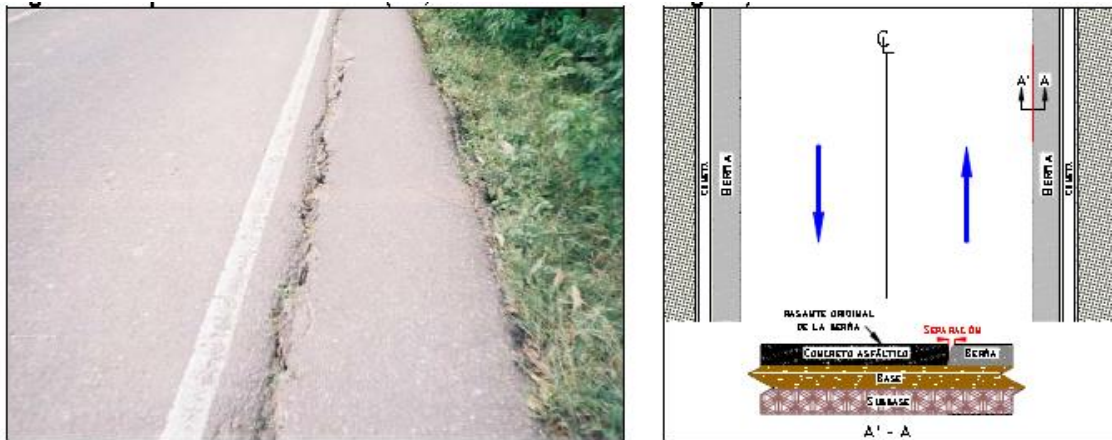
Fuente. Manual Invias.

#### 2.2.1.1.5.2. Separación de la berma.

Este daño indica el incremento en la separación de la junta existente entre la calzada y la berma. Este daño permite la infiltración de agua hacia el interior de la estructura del pavimento provocando su deterioro.

Generalmente está relacionada con el movimiento de la berma debido a problemas de inestabilidad de los taludes adyacentes o con la ausencia de liga entre calzada y berma cuando se construyen por separado.

Foto 18. Corrimiento vertical de la berma.



Fuente. Manual Invias.

#### 2.2.1.1.5.3. Afloramiento de finos.

Este afloramiento corresponde a la salida de agua infiltrada, junto con materiales finos de la capa de base por las grietas, cuando circulan sobre ellas las cargas de tránsito. La presencia de manchas o de material acumulado en la superficie cercana al borde de las grietas indica la existencia del fenómeno.

Este problema se genera principalmente por ausencia o inadecuado sistema de sub drenaje, exceso de finos en la estructura.

#### 2.2.1.1.5.4. Afloramiento de agua.

Presencia del líquido en la superficie del pavimento en instantes en los cuales no hay lluvia.

Se dan por ausencia o inadecuado sistema de sub drenaje, filtración de aguas.

Foto 19. Corrimiento vertical de la berma.



Fuente. Manual Invias.

#### 2.2.2. PAVIMENTO RÍGIDO.

Fundamentalmente está constituido por una losa de concreto hidráulico, apoyado sobre la sub rasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina sub base del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la sub rasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

### 2.2.2.1. TIPOS DE DAÑOS EN PAVIMENTO RÍGIDO.<sup>5</sup>

Los daños que presenta una estructura de pavimento rígido pueden ser clasificados en cuatro categorías:

- Grietas.
- Deterioro de juntas.
- Deterioro superficial.

#### 2.2.2.1.1. GRIETAS.

##### 2.2.2.1.1.1. Grietas de esquina.

Este tipo de deterioro genera un bloque de forma triangular en la losa; se presenta generalmente al interceptar las juntas transversal y longitudinal, describiendo un ángulo mayor que 45°, con respecto a la dirección del tránsito.

Entre las principales causas de la formación de grietas de esquina se encuentran: Asentamiento de la base y/o la sub rasante, Falta de apoyo de la losa originado por erosión de la base, Alabeo térmico, Sobrecarga en las esquinas, Deficiente transmisión de cargas entre las losas adyacentes.

##### 2.2.2.1.1.2. Grietas longitudinales y transversales.<sup>6</sup>

Son grietas con orientación longitudinal o transversal al eje del pavimento.

Las principales causas de este tipo de grietas son: Asentamiento de la base o la sub rasante, Falta de apoyo de la losa, originado por erosión de la base, Alabeo térmico, Losa de ancho o longitud

---

<sup>5</sup> Manual de inspección visual de pavimentos rígidos; INVIAS 2007

<sup>6</sup> Jornadas de actualización técnica, Instituto del cemento portland argentino. Diseño de pavimentos rígidos; Ing. Diego H. Calo

excesivo, Carencia de una junta longitudinal, Mal posicionamiento de las dovelas y/o barras de anclaje, Aserrado tardío de la junta, Contracción del concreto.

Foto 20. Fisuras longitudinales y transversales



Fuente. Jornadas de actualización técnica, Instituto del cemento portland argentino.

Diseño de pavimentos rígidos; Ing. Diego H. Calo

#### 2.2.2.1.1.3. Grietas en los extremos de los pasadores.

Cercanas al extremo de los pasadores o dovelas. Pueden ser ocasionadas por la mala ubicación de los pasadores o por su movimiento durante el proceso constructivo.

Las principales causas de las grietas en los extremos de los pasadores, son: Mala ubicación de los pasadores, Corrosión o des alineamiento de los pasadores, Movimiento durante el proceso constructivo, Diámetros de barras muy pequeños y cargas de tráfico muy altas.

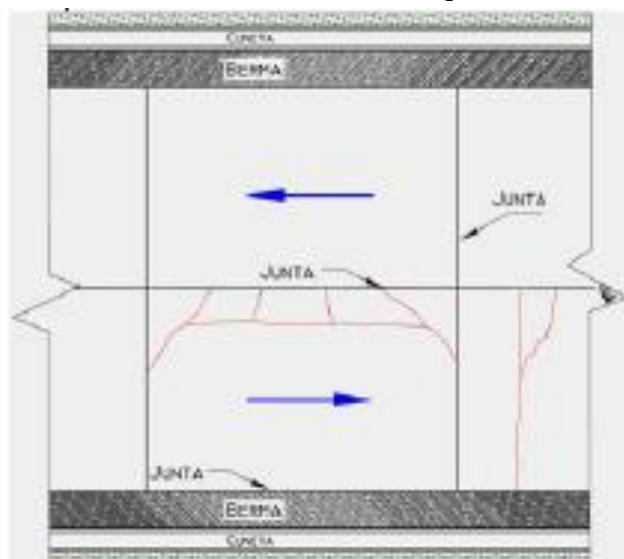
#### 2.2.2.1.1.4. Grietas en bloque o fractura múltiple.

Aparecen por la unión de grietas longitudinales y transversales formando bloques a lo largo de la placa. Este grupo también comprende las grietas en “Y”. Aunque se presenta en todos los tipos

de pavimentos rígidos, es más frecuente que se presente en placas de concreto simple y en placas de concreto reforzado.

La fracturación múltiple, puede ser causada por la repetición de cargas pesadas (fatiga de concreto), el equivocado diseño estructural y las condiciones de soporte deficiente. Es la evolución final del proceso de fisuración, que comienza formando una malla más o menos cerrada; el tránsito y la continua flexión de las losas aceleran la subdivisión en bloques más pequeños, favoreciendo el desportillamiento de sus bordes. Pueden presentar diversas formas y aspectos, pero con mayor frecuencia son delimitados por una junta y una fisura.

Foto 21. Grieta en bloque.



Fuente. Manual de inspección visual INVIAS.

#### 2.2.2.1.1.5. Grietas en pozo y sumideros.

Se presentan como una clasificación independiente, debido a que son grietas que están directamente relacionadas con la presencia del pozo o del sumidero.

Se atribuye a la variación en la distribución de esfuerzos debida a la presencia de pozos o sumideros, éstos se convierten en una zona vulnerable a la aparición de grietas derivadas de la geometría irregular de la zona adyacente al pozo que no permite una buena distribución de esfuerzos (de acuerdo con las reglas para modulación de losas, éstas deben ser lo más regulares posible, cuando hay formas irregulares, las placas se deben reforzar).

Foto 22. Grietas en pozo.



Fuente. Manual de inspección visual de INVIAS.

#### 2.2.2.1.2. DAÑOS EN JUNTAS.

##### 2.2.2.1.2.1. Separación de juntas longitudinales.

Corresponde a una abertura en la junta longitudinal del pavimento. Este tipo de daño se presenta en todos los tipos de pavimento rígido.

Las principales causas de una separación de juntas longitudinales son: Contracción o expansión diferencial de losas debido a la ausencia de barras de anclaje entre carriles adyacentes, Desplazamiento lateral de las losas motivado por un asentamiento diferencial en la sub rasante, ausencia de bermas, asentamiento diferencial de la sub rasante.

#### 2.2.2.1.2.2. Deterioro de sellos.

Desprendimiento o rompimiento del sello de las juntas longitudinales o transversales, que permite la entrada de materiales incompresibles e infiltración de agua superficial. Se considera como deterioro del sello cualquiera de los siguientes defectos: extrusión del sello, endurecimiento, pérdida de adherencia entre el sello y la losa, pérdida parcial o total del sello e incrustación de materiales ajenos y crecimiento de vegetación. Este deterioro se presenta en pavimentos de placas de concreto simple y en placas de concreto reforzado.

Foto 23. Deterioro de sellos.



Fuente. Revista ingeniería de construcción.

### 2.2.2.1.3. DETERIOROS SUPERFICIALES

#### 2.2.2.1.3.1. Desportillamiento de juntas.

Desintegración de las aristas de una junta (longitudinal, transversal), con pérdida de trozos, que puede afectar hasta 0,15 m (15 cm) a lado y lado de la junta.

Las principales causas del desportillamiento de las juntas, son: Debilitamiento de los bordes de la junta debido a defectos constructivos, Desintegración del concreto, por mala calidad del material, Presencia de material incompresible en la junta, el cual al expandirse genera concentración de esfuerzos y la posterior falla ante el paso de vehículos, Mal procedimiento de corte de la junta, Aplicación de cargas antes de conseguir la resistencia mínima recomendada del concreto.

Foto 24. Desportillamiento de juntas.



Fuente. Manual de inspección visual de INVIAS.

#### 2.2.2.1.3.2. Descascaramiento.

Descascaramiento es la rotura de la superficie de la losa hasta una profundidad del orden de 5 a 15 mm, por desprendimiento de pequeños trozos de concreto.

Los descascaramientos generalmente son consecuencia de un exceso de acabado del concreto fresco colocado, produciendo la exudación del mortero y agua, dando lugar a que la superficie del concreto resulte muy débil frente a la retracción.

Foto 25. Descascaramiento.



Fuente. Manual de inspección visual de INVIAS.

#### 2.2.2.1.3.3. Desintegración.

Consiste en pérdida constante de agregado grueso en la superficie, debido a la progresiva desintegración de la superficie del pavimento por pérdida de material fino desprendido de matriz arena-cemento del concreto, provocando una superficie con pequeñas cavidades.

Este tipo de falla es causado por el efecto abrasivo del tránsito sobre concretos de calidad pobre, ya sea por el empleo de dosificaciones inadecuadas (bajo contenido de cemento, exceso de agua,

agregados de inapropiada granulometría), o bien por deficiencias durante su ejecución (segregación de la mezcla, insuficiente densificación, curado defectuoso).

Foto 25. Descascaramiento.



Fuente. Catálogo centroamericano de daños en pavimentos viales.

#### 2.2.2.1.3.4. Baches.

Desintegración de la losa de concreto y la remoción en una cierta área, formando una cavidad de bordes irregulares que incluso puede dejar expuesto el material de base.

Los baches se producen por conjunción de varias causas: Fundaciones y capas inferiores inestables, Espesores del pavimento estructuralmente insuficientes, Retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas, Acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras en bloque, que han alcanzado un alto nivel de severidad.

Foto 26. Baches.



Fuente. Periódico El universal.

#### 2.2.2.1.3.5. Pulimento.

Carencia o pérdida de la textura superficial necesaria para que exista una fricción adecuada entre el pavimento y los neumáticos.

Esta deficiencia es causada principalmente por el tránsito, que produce el desgaste superficial de los agregados, especialmente cuando la mezcla de concreto y/o agregados es de calidad deficiente y favorece la exposición de los mismos. El pulimento de los agregados puede ser considerado cuando un examen visual revela que la rugosidad sobre la superficie es muy reducida y se presenta una superficie suave al tacto.

#### 2.2.2.1.3.6. Escalonamiento de juntas.

Es una falla provocada por el tránsito que corresponde a un desnivel de la losa en su junta con respecto a una losa vecina.

Las principales causas del escalonamiento entre losas, son: Deficiencia en el traspaso de cargas entre las losas o trozos de losas, Erosión de la base en las inmediaciones de la junta o grieta, Asentamiento diferencial de la subbase ó subrasante, Falta de capacidad de soporte de la subrasante.

#### 2.2.2.1.3.7. Levantamiento localizado.

Sobre-elevación abrupta de la superficie del pavimento, localizada generalmente en zonas contiguas a una junta ó una grieta, habitualmente el concreto afectado se quiebra en varios trozos.

Son causadas por mala colocación de barras de transferencia, presencia de un estrato de suelos expansivos a poca profundidad, variaciones térmicas cuando la longitud de las losas es excesiva y no cuenta con juntas de expansión, entre otros.

Foto 27. Levantamiento localizado.



Fuente. Jornada de actualización técnica, instituto del cemento portland argentino (2008)

#### 2.2.2.1.3.8. Hundimientos o asentamientos.

Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada; puede estar acompañado de agrietamiento significativo, debido al asentamiento de las losas.

Este tipo de deformación permanente del pavimento, con o sin agrietamiento puede ocurrir cuando se produce asentamiento o consolidación en la subrasante, por ejemplo, en zonas contiguas a una estructura de drenaje o de retención donde puede ocurrir el asentamiento del material de relleno por deficiente compactación inicial o bien por movimiento de la propia estructura. También pueden ser originadas por deficiencias durante el proceso de construcción de losas.

Foto 28. Hundimiento.



Fuente. Nancy Gómez, vanguardia liberal.

### 2.2.3. PAVIMENTO ARTICULADO.

Su capa de rodadura está formada por elementos pequeños y macizos de hormigón de alta resistencia, la transmisión de las cargas en este pavimento es por fricción.<sup>7</sup>

## 2.3. CAPAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.<sup>8</sup>

### 2.3.1. Sub rasante.

Superficie del terreno de fundación que como tal va a soportar las cargas generadas por el tránsito y por el clima que puede cambiar sustancialmente sus propiedades. La función principal de la sub rasante es proporcionar un apoyo razonablemente uniforme a la estructura del pavimento bajo un régimen de deformaciones compatibles y ser resistente al esfuerzo cortante.

Debe cumplir las siguientes características: Tamaño máximo del agregado 3” Expansión máxima del 5% Grado de compactación mínimo de 95% Espesor mínimo de 30cm para caminos de bajo tránsito y de 50cm para caminos con un TPD (Transito promedio diario)>2000 vehículos.

### 2.3.2. Sub base.

Tiene como funciones transmitir en forma adecuada a la sub rasante los esfuerzos que el tránsito le impone a través de la base, formar una capa de transición entre los materiales finos de la sub rasante y los gruesos de la base de modo que evite la contaminación e interpenetración de ellos;

---

<sup>7</sup> GARCES CARDENAS, Claudia María y GARRO COSSIO, Olga María y GALLEGO ARIAS, Libardo. Pavimentos. Medellín: Universidad de Medellín.

<sup>8</sup> GARCES CARDENAS, Claudia María y GARRO COSSIO, Olga María y GALLEGO ARIAS, Libardo. Pavimentos. Medellín: Universidad de Medellín

también disminuye los efectos perjudiciales producidos por los cambios volumétricos de los suelos de la sub rasante, contribuye en ocasiones al drenaje de la estructura

#### 2.3.3. Base.

Su principal función es soportar adecuadamente las cargas que los vehículos le transmiten a través de la capa superficial y distribuir los esfuerzos recibidos en magnitudes adecuadas a las capas inferiores, a fin de evitar que se produzcan deformaciones perjudiciales.

#### 2.3.4. Rodadura.

Constituye la capa superior de un pavimento flexible, está compuesta por una mezcla de materiales pétreos seleccionados y un producto bituminoso. Las funciones principales de la carpeta son: proporcionar una superficie de rodadura suave segura y limpia a los vehículos que circulen sobre ella e impermeabilizar superficialmente el pavimento.

## 2.4. ENSAYOS DE LABORATORIO NECESARIOS PARA EL DISEÑO DE UN PAVIMENTO

Mediante la ejecución de ensayos de laboratorio se busca establecer las propiedades físicas y mecánicas de cada suelo estudiado y de esta manera poder estimar su comportamiento bajo diferentes situaciones. Para esto se encuentran estipuladas ciertas pruebas, las cuales serán mencionadas y explicadas a continuación.

### 2.4.1. Análisis granulométrico.

El objetivo y función principal del análisis granulométrico de un suelo consiste en determinar los tamaños de partículas presentes en el mismo, expresadas en porcentajes de peso. De esta manera podemos determinar el material predominante en el suelo, ya sea fino o grueso, presente en la zona de estudio.

### 2.4.2. Contenido de humedad.

Es un ensayo que permite determinar la cantidad de agua que almacena el suelo en su estado natural. Dicho valor junto con los límites de consistencia nos permiten determinar el estado, ya sea seco, líquido o plástico, en el que se encuentra el suelo in situ.

### 2.4.3. Límites de consistencia.

Este ensayo es de vital importancia, ya que luego de ser ejecutado se deben comparar los resultados obtenidos con los valores procedentes del análisis granulométrico y de esta manera determinar si el suelo presenta un comportamiento cohesivo o friccionaste.

#### 2.4.4. Peso específico o densidad in situ.

Es un ensayo de vital importancia, ya que mediante la determinación de esta densidad, se puede esperar un comportamiento del suelo ante la implementación de una carga impuesta por el tránsito. Lo ideal es encontrar en el sitio suelos con valores de densidad altos ya que esto es un indicador de que el suelo puede tener una mejor capacidad de carga si es comparado con otro suelo que se encuentre en estado suelto o de menos densidad.

#### 2.4.5. Resistencia del suelo (CBR).

Este ensayo se usa para determinar la resistencia del suelo ante la imposición de cargas de tránsito. Mediante el mismo se examina la calidad relativa del suelo para evaluar si este presenta buenas condiciones para ser usado como sub rasante, siendo así se reducen los costos del pavimento debido a que los espesores de las demás capas de la estructura se ven disminuidos, por el contrario si dicho valor es muy desfavorable, el diseñador se ve obligado aumentar los espesores de las capas adyacentes de la estructura, afectando en gran manera los costos de un proyecto.

## 2.5. ¿QUÉ PASO CON LAS LOSAS DE TRANSMILENIO?

En los últimos años el tema del problema en las losas del Transmilenio es algo que ha inquietado mucho a la población en general y aún más al gremio de la ingeniería civil. La pregunta más generada por todos es ¿Por qué fallan las losas de concreto hidráulico del Transmilenio? A continuación se expondrán algunas de las hipótesis planteadas por diferentes investigadores que han profundizado en el tema.

Entre los posibles problemas que ocasionaron este fallo sobre la estructura de pavimento rígido del Transmilenio en la ciudad de Bogotá se pueden mencionar las siguientes:

### 2.5.1. No se culminaron los estudios de diseño.<sup>9</sup>

El alcance del contrato realizado por la Secretaría de Tránsito del Distrito para los diseños de las obras de Transmilenio en la Autopista Norte con la firma inglesa Steer Davies and Gleave era limitado y no incluyó el diseño de drenajes ni el estudio hidráulico necesarios para iniciar las obras. Steer Davies aclara que el diseño que entregó para la construcción en la Autopista Norte se encuentra en Fase II (no listo para construcción). En la nota 2 del informe final de diseño, dice: “Los diseños de drenaje, redes de servicios, muros de contención, espacio público, mobiliario urbano e interferencia de redes serán elaborados por otro consultor, dado que éstos no están contemplados dentro del alcance”.

En mayo de 2000, los interventores de la obra Autopista Norte que apenas comenzaba (consorcio integral s.a. silva carreño & asociados s.a. silva fajardo & cia. Ltda.), alertan sobre esta situación y concluyen: “... el proyecto se encuentra en Fase II y debe ser complementado por el contratista y acometer el estudio y diseño de lo que no se incluyó para obtener un Proyecto de Fase III para

---

<sup>9</sup> Las siete causas de los problemas de la autopista norte, Carlos Ronderos. Cemex Colombia.

construcción”. Más adelante, en este mismo reporte se dice: “El proyecto entregado con los documentos y planos para la licitación no presenta solución alguna a los drenajes de las calzadas centrales de la autopista Norte”.

El IDU tenía conciencia de la necesidad de culminar los diseños de drenaje, indispensables para la construcción de cualquier carretera o vía, y con mayor razón si se tiene en cuenta la calidad de los terrenos donde se encuentra la Autopista Norte. Consciente de la necesidad, el IDU hace una adición por valor de \$5.300 millones, al contrato de construcción suscrito con la firma Conciviles, en cuyo objeto se incluye “construcción de drenajes de las calzadas centrales...”, si algo se construyó, evidentemente no fue un sistema eficiente de drenajes.

El 19 de julio de 2002 el IDU suscribe un contrato con el Consorcio Obras Civiles, cuyo objeto dice: “El consultor se obliga para con el IDU por el sistema de precio global fijo a realizar la actualización de los estudios y diseños para el drenaje de la autopista Norte entre Héroes y calle 183”. Se trataba de la actualización de unos estudios y diseños inexistentes, luego con la obra totalmente entregada y con una situación de deterioro prematuro ya evidente, afirma en comunicación enviada al IDU: “El estudio no contempló actualización de proyecto alguno, como era el objetivo del contrato, pues la Autonorte no cuenta con un proyecto de drenaje, ni antes ni durante la construcción de la misma”.

Según el profesor Harry R. Cedergren, una de las mayores autoridades en materia de vías, en la construcción de éstas, hay tres factores decisivos: drenajes, drenajes y drenajes. La Autopista Norte se contrató y se construyó sin drenajes.

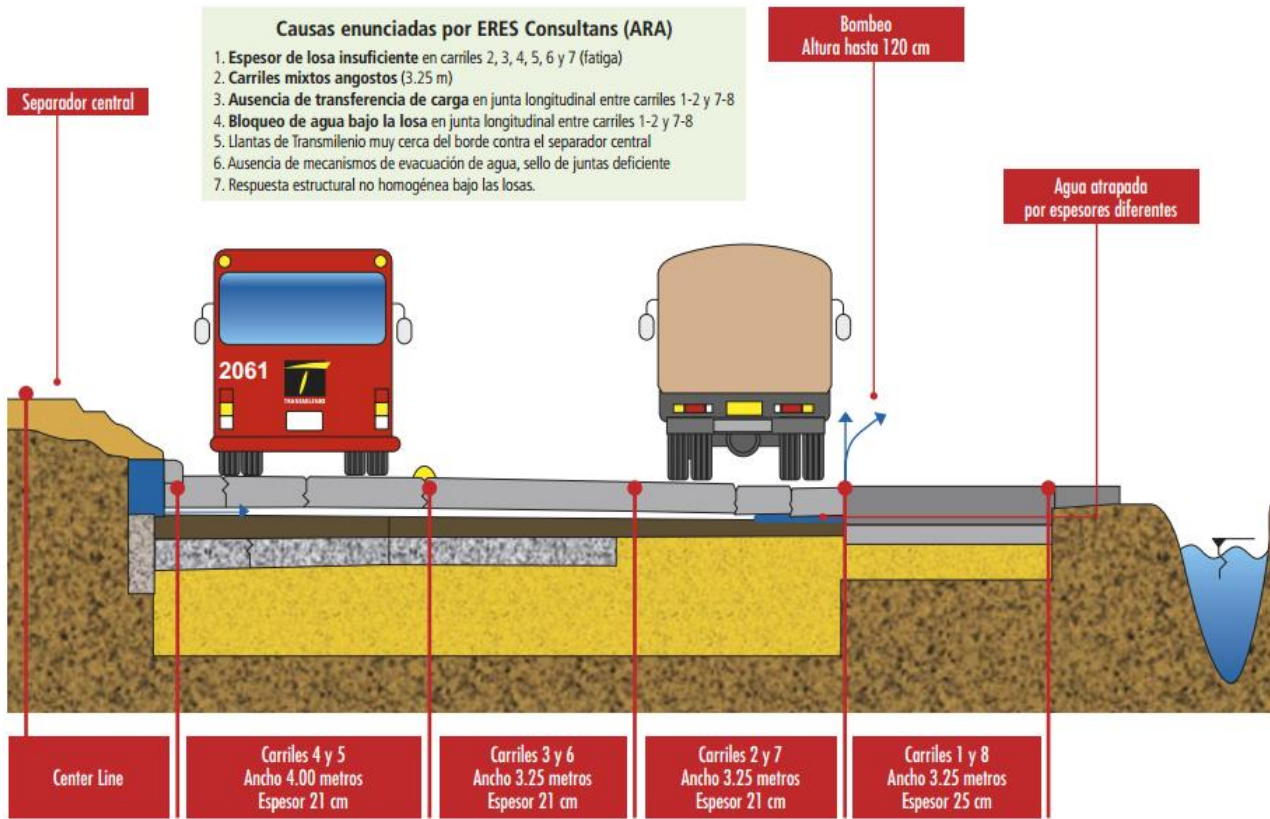
### 2.5.2. Diseño y construcción deficiente.

En el tema que estamos evaluando es evidente que hubo errores en los procesos de diseño ya que para el tipo y los niveles de tráfico existentes en los carriles mixtos (no Transmilenio) tanto el espesor de las losas como el ancho de las mismas diseñados y construidos, es insuficiente y es inevitable que sufran un deterioro prematuro, presentándose rompimientos por fatiga de las losas, que agravan los problemas de filtraciones de agua por la falta de drenajes. En los carriles de Transmilenio si bien el ancho diseñado puede ser adecuado no lo es así el espesor.

Como se mencionó anteriormente, el ancho de los carriles mixtos es insuficiente para el tipo de vehículos que transitan, cuyas ruedas ejercen peso en los bordes de las losas que por ser muy delgadas se doblan y se parten. Es decir, existe una deflexión que podría haberse evitado. Según este estudio si las losas fueran suficientemente gruesas, más anchas y las llantas de los vehículos no transitasen por los bordes, no se hubiesen presentado las fracturas.

Además, Dado que ni las losas son lo suficientemente anchas ni cuentan con el espesor requerido, en la junta longitudinal debieron haberse instalado al momento de la construcción, dovelas de transmisión de carga que hubieran disminuido la deflexión a lo largo de la junta longitudinal. Con lo anterior, el peso que se ejerce en el borde de la losa se transfiere a la losa contigua.

Foto 16. Ilustración del problema de drenaje.



Fuente. Las 7 causas de los problemas de la autopista norte.

### 2.5.3. El constructor no se ciñó al diseño

Con el objeto de evitar las filtraciones de las aguas lluvias, que caen en el separador central que es de pasto y que se internarían entre la vieja base de la Autopista y las nuevas bases y placas (donde no existe un sistema de evacuación de aguas), Steer Davies diseñó un “muro de confinamiento” que se construiría con relleno fluido de muy baja permeabilidad. Sin razón conocida o explicación alguna, el constructor decidió NO construir en su totalidad el “muro de confinamiento” y se complementó con tierra negra no compactada, de alta permeabilidad. En el acta de seguimiento 005 de julio de 2000 ya son evidentes las filtraciones y se registra la siguiente pregunta del interventor: “La interventoría pregunta al contratista cuándo se van a

entregar los resultados de Georradar, ya que surge la duda de que se estén presentando filtraciones, ya que en un sitio en donde cedió bastante la placa, salió agua”. Si con un “muro” de baja permeabilidad se requerían drenajes, es evidente que sin éste la necesidad de drenajes se hace aún más apremiante.

Además el diseño estipulaba que la vieja base de asfalto debía nivelarse con una nueva, cepillando imperfecciones (fresando) y el bacheo de las zonas con hundimientos. El nuevo carril en los laterales, donde antes existía la berma, debía tener una base de relleno fluido. Dice en su capítulo de recomendaciones el informe de Steer Davies: “... para solucionar los problemas de deformaciones y daños en la estructura, se propone realizar una Re nivelación mediante una combinación entre fresado de los puntos altos y bacheo o reconstrucción en las zonas con deformaciones importantes y la colocación de una base asfáltica; esto aplica a ambas alternativas propuestas de la estructura del pavimento”. A pesar de esta clara indicación, en el segundo informe de la interventoría, en junio de 2002, coincidiendo con el inicio de la construcción, ésta recomienda que “el carril de Transmilenio en los lugares que se requiera se nivelará previamente con relleno fluido” sin explicar la razón del cambio en el material de nivelación. Consciente de que se trataba de un cambio de material a aquel especificado en el diseño, en el mismo mes de junio de 2002 el contratista (Conciviles) formula una pregunta técnica a la interventoría, que dice: “Especificar el detalle de espesores máximos y mínimos de capas de nivelación con relleno fluido”. No existe documento que respalde la razón del cambio, a excepción de un comunicado del contratista (Conciviles) de abril de 2002, en que afirma que se utilizó relleno fluido puesto que éste era “para ser utilizado como material Renivelante ya que en el momento de la oferta, en otro contrato de Transmilenio, suscrito con el IDU con otro contratista, se estaba utilizando este material en la nivelación de la superficie existente”.

Finalmente El diseño de Steer Davies establecía diferentes espesores para las placas de concreto, teniendo en cuenta condiciones específicas de los diversos tramos; sin embargo, sin ningún sustento o estudio, se decide unificar en la especificación mínima (21 centímetros) el espesor de las placas del carril de Transmilenio y de dos de los tres carriles mixtos, dejando los carriles mixtos externos de mayor espesor. En el Acta de Seguimiento de Obra N° 4, de junio de 2000, el IDU “solicita por facilidad constructiva definir un espesor único para la placa a lo largo del proyecto, excepto en los extremos, por cuanto a lo ancho del proyecto se tienen espesores de 20, 21 a 26 cm...”. Más adelante, en esa misma acta, “el contratista aclara que para justificar el espesor es necesario hacer estudios, que es una cosa de meses poder justificar el cambio”, y no obstante en esa misma reunión se acuerda que se unifique el espesor a 21 cm. El estudio de ERES, como ya se mencionó, demuestra una estrecha relación entre el espesor de las placas y su rotura prematura, anotando que el espesor diseñado era insuficiente y más aún lo es el espesor construido. Es evidente que no se ciñó la construcción al diseño, para no esperar “los meses” a los que se refería el constructor.

#### 2.5.4. Hubo errores constructivos.

Durante el proceso de construcción se incurrió en una serie de errores que, conjuntamente con las variables anteriores, han ayudado al deterioro prematuro de la Autopista Norte.

Los errores empezaron desde la construcción de la renivelación. El diseño de Steer Davies era claro acerca de la necesidad de reparar las losas viejas, ya que de no hacerse, las fallas se reflejarían en las nuevas. Dice Steer Davies: “Para las zonas que presenten grandes deformaciones o losas fracturadas se recomienda repararlas mediante reconstrucción total y la

colocación de una estructura nueva, cuyos espesores son los mismos correspondientes a las estructuras recomendadas en la ampliación de zonas...”.

Como factores que han incidido en el estado actual de la vía, se pueden mencionar:

- Pérdida en la capacidad de soporte de la subrasante por deficiencias en el drenaje de la vía.
- Fatiga de la estructura y diferencias en la calidad de las distintas mezclas asfálticas utilizadas en reparaciones anteriores.
- Reflejo del estado de las losas de concreto que afectan la carpeta asfáltica.

Esta inquietud la recoge el contratista en el Acta 4 de Seguimiento al Contrato de junio de 2000: “El contratista manifiesta una inquietud relacionada con que el asfalto envejecido está reflejando el patrón de junta y en el carril de Transmilenio hay juntas muy abiertas”, y más específico es el interventor que “solicita se defina qué se va a hacer en los sitios donde se presenta rotura de placa”. En ninguna de las sugerencias posteriores, en esa misma acta, se recomienda la reconstrucción como lo aconseja Steer Davies y se limita a “reparación de grietas existentes”.

Además no se limpiaron adecuadamente las juntas de las losas nuevas. Para garantizar un correcto sellado de las losas, la superficie sobre la cual se aplica el pegante debe estar absolutamente limpia, pues de lo contrario la capacidad de pegado se reduce.

Y finalmente se observó que las losas fueron cargadas antes de tiempo. El tránsito de las volquetas, utilizadas para traer el material granular necesario en la construcción de las estaciones y equipos de construcción, se efectuó sobre calzadas recién fundidas (antes de 28 días) y que no

habían sido selladas, provocando desportillamiento de juntas y fisuramiento de esquinas, que ayudaron al posterior deterioro.

#### 2.5.5. Hubo mal uso de materiales.

En los estudios e informes se muestra que además de emplear materiales diferentes a los recomendados, hubo un mal uso de éstos. Cabe destacar dos casos: el de la utilización del sellador de juntas y el del uso del relleno fluido.

Para el primer caso se concluye que no se usó el material adecuado para las juntas. El material que se utiliza en las juntas de las placas es muy importante porque debe evitar las filtraciones superficiales.

En las “Especificaciones de Construcción Pavimentos de Concreto Hidráulico” del IDU, se indica que el sellador para juntas “deberá ser elástico, resistente a los efectos de combustibles y aceites automotores..., el material para el sellado de juntas debe cumplir con los requisitos aquí indicados” y esos requisitos son el de un “esfuerzo de tensión a 150% de elongación”. En el estudio presentado por la Universidad Nacional se resalta este tema así: “Solamente tiene una elongabilidad de trabajo del 25%”. Pese a que la especificación es del 150%, se utilizó material de 25%, con las consecuencias ya conocidas de filtraciones a través de las juntas.

En cuanto al relleno fluido, si bien este no era el material recomendado por el diseñador en todos los carriles, sino únicamente en el carril mixto externo y en las barreras laterales, el tipo de relleno fluido para esta subbase que recomienda Steer Davies es uno con una especificación de resistencia a la compresión de 60 kg/cm<sup>2</sup>, y no obstante, a la hora de definir el tipo de relleno fluido de nivelación que se utilizaría, se definió y usó uno de 30 kg/cm<sup>2</sup>.

En una de las actas el contratista afirma no tener las especificaciones técnicas y de calidad del relleno fluido, pero “se compromete a conseguir todas las normas de calidad de los materiales”. Y en efecto las consigue, como lo pone de presente en el informe al IDU de mayo de 2002: “Ante la ausencia de especificaciones y detalles técnicos de rellenos fluidos en los documentos de la oferta, consultamos la información técnica disponible en el mercado al momento de hacer la evaluación; particularmente consultamos las especificaciones para rellenos fluidos de Asocreto, en las cuales en su numeral 2.5 hace detalle sobre la utilización de este producto como base para pavimentos...”. El documento técnico de Asocreto es una traducción de la guía ACI 229R-94 (Instituto Americano de Concreto), que dice que se requiere “buen drenaje, incluyendo bordillos, cunetas, alcantarillas y apropiadas pendientes del pavimento y...”. En el numeral 2.7 de esa misma guía se encuentran las características de erosionabilidad del relleno fluido y se afirma que el material tiene un buen comportamiento a una velocidad de agua hasta de 0,52 m/seg, velocidad bastante inferior a la que se produjo en el sitio. Además, En las Memorias de Diseño del pavimento rígido de steer davies gleave se indica que “(...) no se consideró el criterio de erosión propuesto por el método (PCA-84), esto genera espesores menores (del orden de 5 cm) en el resultado final de la estructura.”<sup>10</sup> Sin embargo a pesar de que los espesores de diseño eran del orden de 5cm, se implementaron espesores menores a 5mm. Como ya se sabe, ninguna de estas especificaciones se tuvo en cuenta y el relleno fluido se aplicó indebidamente con violación de sus límites técnicos.

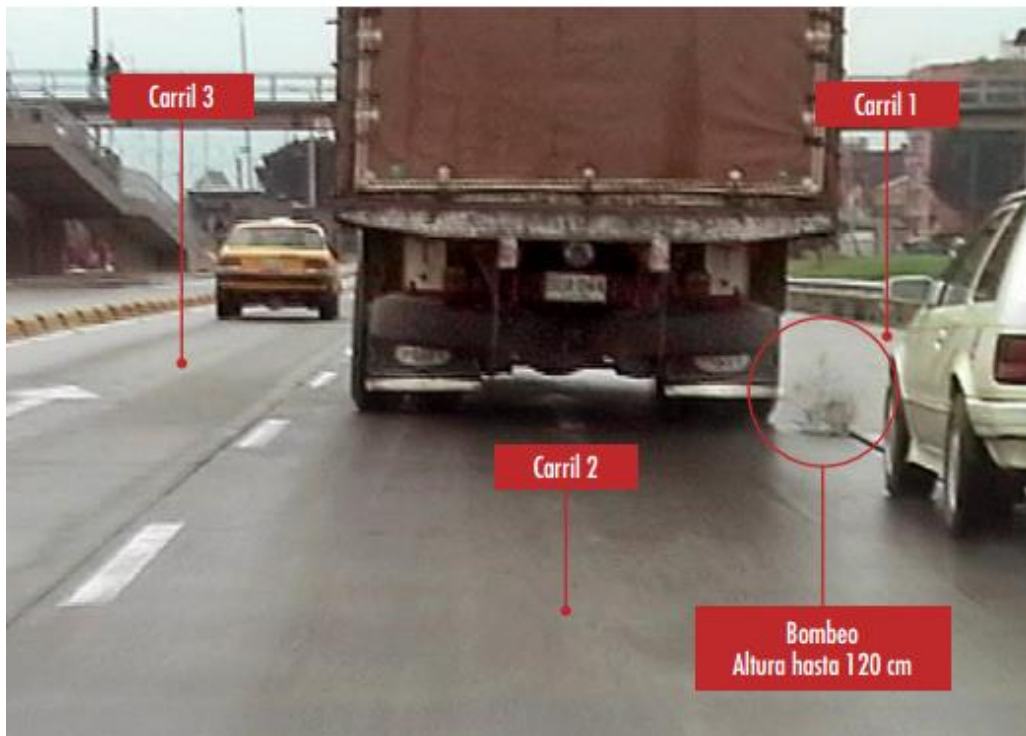
---

<sup>10</sup> Informe Troncal Transmilenio autopista norte; Sociedad colombiana de ingenieros.

### 2.5.6. Fenómeno de bombeo y erosión de los materiales.

Los errores de construcción, el mal uso de materiales y un diseño ineficiente, generaron filtraciones que contribuyeron al fenómeno de estancamiento de aguas y al posterior efecto de bombeo. El agua se atrapó contra la losa más gruesa, y bajo la presión producida por los vehículos pesados se evacuó por las juntas a velocidades que varían desde 4 y hasta 8 m/seg, según estudio de la Universidad de los Andes, cifra bastante más alta a la que se establece en la guía técnica ya mencionada de 0,52 m/seg, trayendo como resultado la erosión del material. Esto sucedió con el relleno fluido y el mismo efecto se hubiese presentado con cualquier otro material de base.

Foto 17. Expulsión de agua por las juntas.



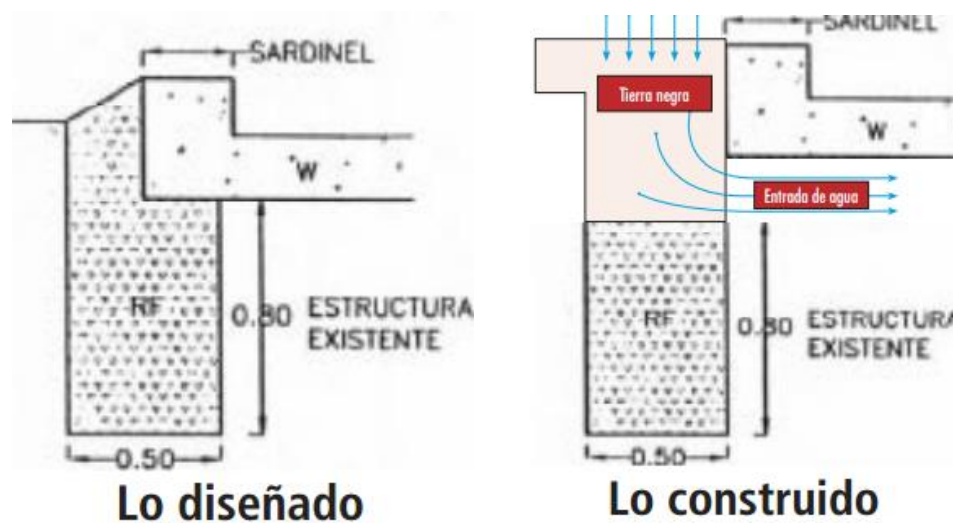
Fuente. Las 7 causas de los problemas de la autopista norte.

### 2.5.7. Estudios y recomendaciones posteriores que no se siguieron.

Luego de cierto tiempo ya era evidente que había problemas serios derivados de la falta de drenaje, del bombeo, de la mala utilización de materiales y que la obra estaba en inminente riesgo. Por esto el IDU contrató los servicios de un ingeniero especializado en el tema Jamshid Armaghani, Ph.D.

El ingeniero jamshid en su informe sobre lo investigado y observado en las obras finalmente determino que el problema en las losas se debió a lo que he venido mencionando anteriormente durante toda la exposición del tema, pero además de esto genero un plan de acciones, en el cual reitera la necesidad de evitar la entrada de agua desde el separador central, que como ya se anotó, fue el resultado de un cambio en diseño que eliminó un “muro de confinamiento” que evitaba la entrada de esta agua.

Foto 18. Opción de diseño VS Estructura construida.



Fuente. Las 7 causas de los daños de la autopista norte.

### 3. BITACORA DE PRÁCTICA.

La empresa Suelos y Pavimentos Ltda es una empresa de consultoría dedicada al diseño y control de calidad de materiales y mezclas de pavimentos rígidos, flexibles o articulados utilizadas en obras de infraestructura vial. Allí me desempeño como auxiliar en el área del departamento técnico desarrollando inicialmente actividades tales como elaboración de informes de cilindros y densidades de campo, luego fueron delegándome más responsabilidades, lo cual mencionare todo a continuación.

Tabla 1. Horario laboral.

HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
7 - 8					
8 - 9					
9 - 10					
10 - 11					
11 - 12					
12 - 1	Hora de almuerzo				
1 - 2					
2 - 3					
3 - 4					
4 - 5:30					
TOTAL DIA (Horas)	6	9	9	9	8
TOTAL SEMANA	41 Horas				

Tabla 2. Semanas necesarias para culminar el periodo de práctica.

MES	SEMANA	DIAS	HORAS LABORADAS
Septiembre	1	DEL 9 AL 12	35
Septiembre	2	DEL 15 AL 19	41
Septiembre	3	DEL 22 AL 26	41
Sep - Oct	4	DEL 29 AL 3	41
Octubre	5	DEL 6 AL 10	41
Octubre	6	DEL 13 AL 17	41
Octubre	7	DEL 20 AL 24	41
Octubre	8	DEL 27 AL 31	41
TOTAL HORAS			322

- Semana 1 ( Del 9 al 12 de Septiembre)

Para esta primera semana se realizó una primera inducción por parte de la ingeniera carolina Sánchez, la cual me explica, inicialmente de manera general, todo el proceso de ingreso, falla y posterior elaboración de los informes que son enviados al cliente. Esta actividad se realiza todo el día y se hizo con el objetivo de conocer el manejo interno de este ensayo para poder realizar mi trabajo en la oficina de la mejor manera y entendiendo como se obtienen los resultados.

Luego se realizan una segunda inducción, pero esta ya es sobre el manejo adecuado de las tablas Excel implementadas para el cálculo y posterior realización de los informes tanto preliminares como finales que son enviados y facturados al cliente. Toda la semana se realizó este mismo proceso con el seguimiento de la ingeniera.

- Semana 2 (Del 15 al 19 de Septiembre)

Para la semana 2 se continuó con el mismo proceso que fue mencionado anteriormente, con la diferencia de que a partir de esta ya queda a cargo mío la totalidad de los procesos de gestión y elaboración de informes de los cilindros que son fallados en el laboratorio.

A parte de realizar mi trabajo, allí tengo la oportunidad de conocer todos los ensayos que se realizan en el laboratorio puesto que me dan la facilidad de interactuar y estar al tanto de los procesos y ensayos que realizan los laboratoristas dentro de las instalaciones de la empresa.

- Semana 3 (Del lunes 22 al viernes 26 de Septiembre)

Para esta semana son delegadas en mí, nuevas funciones entre las cuales se encuentra la gestión y elaboración de informe sobre los ensayos de densidades de campo. Para esta me hacen una leve inducción sobre el manejo de las hojas de cálculo necesarias para la elaboración de los mismos, el manejo es básicamente igual al de los cilindros, pero es necesario tener claros los conceptos y la importancia de cada una de las variables con las que se trabaja para este fin.

Además el día martes 23 de septiembre tuve la oportunidad de asistir a una salida de campo para revisar un problema que había ocurrido en el pavimento articulado existente en la entrada de la báscula de la autopista Medellín-Bogotá. Allí el pavimento tuvo una falla (Ver ilustraciones 1 y 2) por mala compactación del material de base. Se pudo determinar, basados en la observación de campo, que durante el proceso constructivo del pavimento hubo una enorme falla debido a que los materiales de sub base y base granular fue compactado con una “chencha” aun sabiendo que este equipo no ejerce la energía necesaria para alcanzar en el material las compactaciones de diseño. También se pudo observar que el constructor realizo unas llaves de confinamiento (Ver ilustración 3) en sentido perpendicular a la circulación de los vehículos, creemos nosotros, con el objetivo de “brindar mayor confinamiento y resistencia a la estructura del pavimento” aunque esto fue un gran error ya el diseño se realizó con dichas llaves. La presencia de este confinamiento hizo que en esos puntos se acumularan las aguas sub superficiales que circular por el pavimento, ocasionando que la estructura perdiera resistencia y facilitando así la falla del mismo.

Ya que el pavimento presentaba una falla total de su estructura el cliente solicito un nuevo diseño pero con otra opción de construcción, Por esto se tomó la decisión de realizar un diseño, en esta oportunidad de pavimento rígido, en remplazo del pavimento existente. Finalmente se le advirtió al cliente que se debe tener un riguroso control de calidad en la etapa de construcción ya que por este carril va transitar todo el tránsito pesado de la autopista y si no se genera una estructura de apoyo lo suficientemente resistente y compactada, ninguna opción de pavimento va a ser funcional en dicho tramo.

Ilustración 1. Falla del pavimento articulado.



Fuente. Esteban Torres.

Ilustración 2. Falla del pavimento articulado.



Fuente. Esteban Torres.

Ilustración 3. Llave de confinamiento.



Fuente. Esteban Torres.

- Semana 4 (Del 29 de Septiembre al 3 de Octubre)

Como lo mencione anteriormente, mi objetivo específico dentro de la empresa es “Brindar apoyo sobre el control y seguimientos en los procesos de gestión, programación y elaboración de informes para ensayos específicos”, Debido a esto mi proceso de práctica durante esta semana, en cuanto a los informes, es básicamente el mismo que mencione en las semanas 1 y 2.

Sin embargo esta semana también tuve la oportunidad de salir de nuevo campo, esta vez fue el día lunes 29 de septiembre a la pavimentación de un tramo de vía de la variante hacia el aeropuerto internacional José maría córdoba (Ver ilustración 4). Esta visita se realiza con el objetivo de extraer una muestra representativa de pavimento, ya que nuestra empresa es la encargada de ejecutar los ensayos necesarios, en este caso Contenido de asfalto, granulometría y briquetas Marshall, para hacer un debido control de calidad a las mezclas allí implementadas. En este tramo se utilizó una mezcla de pavimento MDC-2 (Mezcla densa en caliente 2), la cual fue vaciada en el sitio con la ayuda de una finisher de última tecnología (Ver ilustración 5) la cual generaba espesores de mezcla de 12 cm, posterior a esto se procede a compactar la mezcla con un vibro compactador y así finalmente poner este tramo de vía en funcionamiento. Allí no fue necesario realizar un chequeo a la temperatura de compactación del pavimento, ya que la finisher tenía la facilidad, mediante unas parrillas que se controlaban desde la cabina (Ver ilustración 6), de mantener el pavimento a una temperatura constante de 130°C y así poder ingresar de inmediato con el vibro a compactar el pavimento.

Ilustración 4. Tramo de vía a pavimentar.



Fuente. Esteban Torres.

Ilustración 5. Finisher.



Fuente. Esteban Torres.

Ilustración 6. Comando de control de temperatura.



Fuente. Esteban Torres.

- Semana 5 (Del 6 al 10 de Octubre)

Para el transcurso de la semana 5 de trabajo como estudiante de practica en la empresa suelos y pavimentos limitada tuve la oportunidad de asistir a dos nuevas obra, el objetivo de dichas visitas es básicamente el mismo que mencione en la semana 4, realizar la extracción de una muestra representativa del material con el que fue realizada la pavimentación en ese momento. Una de las obras estaba ubicada en la vía que comunica a san Antonio de Pereira con el municipio de la ceja, allí se realizaron obras de mantenimiento (Ver ilustración 7 y 8) a la red vial debido a que se presentaban zonas con fisuras de tipo piel de cocodrilo las cuales en algunas zonas alcanzaron a generar descascaramiento del pavimento haciendo que este tramo sea peligroso para el tránsito de los vehículos.

Ilustración 7. Tramo fresado.



Fuente. Esteban Torres.

Ilustración 8. Tramo fresado con aplicación de ligante.



Fuente. Esteban Torres.

Luego en el retorno a Medellín en compañía del laboratorista de la empresa, me dirigí a las obras del metro plus ejecutadas en la calle 30, en tal ocasión realizamos una inspección visual sobre los avances de la obra y los procesos de nivelación que se estaban realizando sobre el nuevo puente (Ver ilustración 9) que ejecuta el metro plus para conectar la calle 30 con la carrera 53 en sentido norte-sur y sur-norte. Allí se realizaron obras de nivelación en las juntas con asfalto modificado. Un asfalto modificado es aquel asfalto al que le realizan adiciones de polímeros u otros materiales con el objetivo de mejorar sus propiedades físicas y de resistencia a la humedad.

Ilustración 9. Nivelación en juntas de losas.



Fuente. Esteban Torres.

- Semana 6 (Del 13 al 17 de Octubre).

Vale recalcar que durante el transcurso de todas las semanas de practica he desempeñado las labores que me establecieron desde el inicio de la misma.

Para esta nueva semana, el día martes 14 de octubre, me dieron la oportunidad de realizar una visita a dos de las más grandes productoras de pavimento en Medellín como los son Procopal S.A y Pavimentar S.A. ya que nosotros le realizamos control de calidad a sus materiales y la ingeniera Claudia sanchez asesora de mi practica considero que esta visita era una buena oportunidad para conocer todo el proceso de extracción de materias primas y posterior producción de pavimento. Estando en las plantas realizamos un recorrido por las instalaciones de las mismas, pudiendo conocer sus acopios (Ver ilustración 10), canteras de explotación (Ver ilustración 11) y posteriormente producción de mezcla (ver ilustración 12).

Luego el día miércoles 15, debido a mi buen desempeño en las actividades asignadas por la empresa, me dan la oportunidad de realizar mis primeros cálculos sobre los ensayos de laboratorio. En primera instancia me evalúan el conocimiento sobre la importancia y el uso de los siguientes ensayos: humedades, desgastes y equivalentes de arena. Luego de esto y algunas aclaraciones de conceptos me autorizan para realizar cálculos sobre dichos ensayos y generar informes de los mismos.

Ilustración 10. Acopios procopal S.a.



Fuente. Esteban Torres.

Ilustración 10. Cantera de Explotación Procopal S.a.



Fuente. Esteban Torres.

Ilustración 12. Planta de producción Pavimentar S.a.



Fuente. Esteban Torres.

- Semana 7 (Del 20 al 24 de Octubre).

Durante esta nueva semana mi práctica transcurre normal, realizando las actividades asignadas para mí como lo es el control y seguimientos en los procesos de gestión, programación y elaboración de informes de ensayos de cilindros y densidades de campo, además de realizar los cálculos respectivos sobre ensayos de humedad, desgaste y equivalente de arena. Adicional a esto, inicia un nuevo proceso de inducción sobre el manejo de los programas de cálculo ya que me permiten calcular nuevos ensayos como el de gradación, límites, micro deval, CBR, Índices de forma, densidad de briquetas, 10% de finos y solidez de material granular. Luego de esta inducción me dan la oportunidad de realizar cálculos sobre la gran mayoría de ensayos, realizados en el laboratorio ya que demostré tener conocimiento y buen manejo de los mismo. Cabe aclarar que esta primera etapa de cálculo siempre se realizó de la mano y con acompañamiento continuo de la ingeniera Claudia Sánchez quien es mi jefe inmediata de la práctica.

- Semana 8 (Del 27 al 31 de octubre)

Esta equivale teóricamente a mi última semana de labor como practicante, ya que para el viernes 31 de octubre se cumplen las 320 horas de trabajo exigidas por la universidad.

Para esta semana el proceso laboral es básicamente el mismo al que se ha venido realizando durante todo el proceso de práctica; para la fecha se han adquirido nuevos y se han ampliado los conocimientos adquiridos en el proceso universitario, a tal punto que la ingeniera a depositado un voto de confianza en mí permitiéndome atender algunas llamadas de atención y asesoría técnica sobre algunos clientes. Dichas asesorías fueron aprobadas y bien vistas por la ingeniera, ya que ella regulaba y me apoyaba en este nuevo proceso en mis actividades. Cabe anotar que antes de permitirme brindar dichas asesorías, la ingeniera Claudia me aclaro conceptos y amplio mis conocimientos con respecto al comportamiento mecánico de los materiales y la importancia de algunos ensayos que son primordiales para poder usar un determinado material en cualquier proceso de ejecución de un pavimento.

#### 4. BIBLIOGRAFIA.

Maldonado, A. E. (2013). Pavimentos Flexibles. [En línea].

Recuperado de: <http://www.construaprende.com/docs/trabajos/310-pavimentos-flexibles>.

Instituto nacional de vías. (2006). Manual para el mantenimiento de la red vial secundaria.

Recuperado de: <http://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq>

Instituto nacional de vías. (2006). . Estudio e investigación del estado actual de las obras de red nacional de carreteras. Recuperado de: <http://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq>

Ester, C. M. Jeisy C. G. (2008). Revisión del diseño de la estructura de pavimento para la segunda calzada Niquia Hatillo intersección Girardota. Medellín.

Instituto nacional de vías. (2006). Manual de inspección visual de pavimentos rígidos.

Recuperado de: <http://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq>

Diego, H. C. (2013) Jornadas de actualización técnica. Instituto del cemento portland argentino. Diseño de pavimentos rígidos.

Recuperado de: <http://pavimentosurbanos.icpa.org.ar/publico/Jornada-ICPA/03%20-%20Dise%C3%B1o%20Estructural%20de%20Pavimentos%20R%C3%ADgidos.pdf>

Claudia, G. C. Olga, G. C. Libardo, G. A. Pavimentos. Medellín: Universidad de Medellín, 1997.199 p.

Carlos, R. (2007). Las siete causas de los problemas de la autopista norte. Segunda edición 2005.

Sociedad colombiana de ingenieros. (2004) Informe Troncal Transmilenio autopista norte.

Recuperado de: [http://www.construdata.com/bancomedios/documentos%20pdf/Informe\\_Troncal\\_Transmilenio\\_Autonorte.pdf](http://www.construdata.com/bancomedios/documentos%20pdf/Informe_Troncal_Transmilenio_Autonorte.pdf)