

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO EN EL MUNICIPIO DE ACACIAS - META

RIGID PAVEMENT STRUCTURE IN THE MUNICIPALITY OF ACACIAS - META

Andrés Mauricio Bejarano Alcántara

Universidad Santo Tomás, facultad de ingeniería Civil, andresbejaranoa@usantotomas.edu.co

Juan Pablo Lozano Céspedes

Universidad Santo Tomás, facultad de ingeniería Civil, juanlozanoc@usantotomas.edu.co

Jessica María Ramírez Cuello

jessicaramirez@usantotomas.edu.co

Directora de trabajo de grado

Resumen: En la presente investigación realizada en el suelo de la calle 10 en la ciudad de Acacias y el material del río Guayuriba en el municipio del Meta, se buscó determinar si el suelo encontrado es conveniente para su uso en el diseño de un pavimento rígido y si el material de río puede llegar a ser utilizado como base o sub-base en la construcción de pavimentos, brindando así mismo, la oportunidad de emplear material proveniente de sectores aledaños a la ciudad de Acacias. Para esto se siguieron los procedimientos de elaboración de ensayos de laboratorio y diseño de pavimentos, analizando detenidamente cada uno de los pasos encontrados en la norma, consiguiendo de esta manera los resultados más acertados para esta investigación.

Palabras clave: CBR, clima, desgaste, pavimento, tránsito

Abstract: In the present research carried out on the floor of 10th Street in the city of Acacias and the material of the Guayuriba river in the municipality of Meta, it was sought to determine whether the found soil is suitable for use in the design of a rigid pavement and whether the material river can be used as a base or sub-base in the construction of pavements, also providing the opportunity to use material from sectors surrounding the city of Acacias. This followed the procedures of laboratory testing and pavement design, carefully analyzing each of the steps found in the standard, thus achieving the most successful results for this research.

Keywords: CBR, pavement, transit, wear, weather.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años las vías en Colombia se han ido mejorando e implementando modelos para que se unan nuevas regiones y se genere un crecimiento económico y un crecimiento poblacional. Existen muchas vías que aún no se han reparado y están en un estado llamado comúnmente “destapadas”, las cuales sus aspectos no son los óptimos para que fluya el tránsito en los diferentes sectores donde está ubicada la vía, generando grandes problemas tanto ambientales, sociales y económicos. La ubicación de este proyecto se encuentra en el municipio de Acacias – Meta, uno de los más importantes del departamento, este se encuentra en crecimiento económico, social y cultural, es por esto que necesita como prioridad vías en buen estado para que contribuyan con su crecimiento. Los barrios Pablo Emilio Riveros, Dorado Alto, Alcaraván, Urbanización Villa del Prado y Urbanización Everest son barrios que se encuentran en una de las entradas al Municipio y lo que los convierten en importantes ya que existen varias zonas de expansión las cuales ayudan con su crecimiento poblacional y son muy complementarios al municipio.

La vía en época de lluvia se encuentra afectada debido a que se logra un gran deterioro a la calzada y alcantarillas y en sequías al pasar el tránsito se levanta polvo lo que puede ocasionar graves enfermedades en las personas residentes. La implementación de una estructura de pavimento determinada en el sector es de vital importancia, ya que daría solución a todas las problemáticas presentadas. Una estructura bien diseñada, cumpliendo con todos los parámetros establecidos daría una mejora en la comunidad que se ve beneficiada por dicha obra civil.

El mejoramiento de las vías es importante ya que genera empleo, directa e indirectamente, reduce el tiempo en el desplazamiento y restablece algunas viviendas que están vulnerables por el mal estado de las vías cercanas. La vía por su cercanía a uno de las entradas del municipio está directamente conectada a la avenida principal del municipio, donde pasa el mayor tránsito del municipio y es necesario que todas las vías que se conectan a la principal estén en óptimo estado para un mejor crecimiento de la ciudad.

Este artículo contiene la respectiva recopilación de las problemáticas existentes en el sector para luego analizarlos y dar su solución; las diferentes definiciones y teorías expuestas para la elaboración del mismo; la metodología a utilizar para su desarrollo; además de un paso a paso respectivo para establecer el proceso adecuado que se debe seguir para el desarrollo del artículo; se exponen los resultados esperados con el fin de proponernos a lograrlos y los impactos que se pueden llegar a lograr con la implementación del proyecto.

2. DESARROLLO DEL ARTÍCULO

La investigación se desarrolló en el departamento del Meta en la calle 10 del municipio de Acacias. Para ello se vio en la necesidad de realizar ensayos al suelo presente en la vía como: límites de consistencia, granulometría, límite plástico e índice de plasticidad, CBR y humedad del suelo (estos ensayos son realizados, con el fin de evaluar si el suelo óptimo para su uso en la estructura de pavimento, o si es necesaria la implementación de un material de mejoramiento del mismo) y analizar los factores climáticos y de tránsito presentes en la vía.

En adición, se efectuó una investigación al material crudo del río Guayuriba, con el fin de determinar si es conveniente el uso de este material para bases o sub-bases en las estructuras de pavimentos.

2.1 Procedimiento ensayos de laboratorio suelo de la vía

Dentro de los estudios requeridos para el diseño y construcción, uno de los más importantes son el ensayo de CBR, en el cual se evidencia la capacidad que soporta el suelo, frente a diferentes deformaciones. Se desarrolló el estudio de las características físicas del suelo en el Municipio de Acacias (Meta), en la calle 10 con el propósito de realizar el diseño del pavimento para el sector.

Para ello, se vio en la necesidad de realizar 3 apiques en la zona a una profundidad de 1.5 metros, con el fin de extraer una muestra inalterada del suelo a dicha profundidad e identificar la capacidad portante del mismo en condiciones críticas (sumergido).

Los materiales que fueron necesarios para realizar los ensayos de laboratorio fueron:

- Cazuela de Casagrande
- Ranurador
- Espátula flexible
- Probeta plástica
- Placa de vidrio esmerilado
- Recipiente de humedad con tapa
- Prensa
- Molde cilíndrico de metal rígido de 6"
- Disco espaciador
- Aparato medidor de expansión
- Trípode
- Sobrecargas metálicas
- Pistón de penetración
- Tanque

- Horno
- Placa de metal perforada
- Horno microondas
- Mortero porcelana
- Tamices
- Tamizadora mecánica

2.1.1 Análisis granulométrico

Principalmente se realizó el análisis granulométrico del suelo, ya que es necesario para lograr clasificar el suelo existente y es de importante uso para ensayos posteriores.

El análisis granulométrico se utiliza para determinar la granulometría de los materiales propuestos que se vayan a emplear para así brindar el cumplimiento de las especificaciones en concordancia con la distribución de las partículas del material.

La muestra obtenida se secó a temperatura ambiente en su totalidad, este se colocó sobre una superficie lisa y nivelada y se mezcló el material completamente volteando en su totalidad la muestra tres veces. Luego de esto, se formó una pila de material y se aplano la pila con un palustre. Este material obtenido se cuarteo, y se obtuvo una muestra representativa para el desarrollo del ensayo.

La muestra obtenida se pasó por el tamiz de 2.0mm (No. 10), obteniendo 2 porciones (una retenida en el tamiz y, la otra, material que pasa el tamiz). La fracción retenida en el tamiz se lavó con el fin de liberarlo de partículas finas adheridas. El material resultante se secó en el horno a una temperatura de 60 °C. Una vez seca la muestra, se mezcló el material con la fracción pasante del tamiz.

Seleccionando los tamices mencionados en la Tabla I, se encajaron los tamices de manera decreciente con respecto al tamaño de sus aperturas, y se procedió a depositar la muestra en los tamices. Se agitaron estos por medio de una tamizadora mecánica por 2 minutos.

Tabla I TAMICES

Tamices	
3/4"	19.0 mm
3/8"	9.5 mm
N° 4	4.75 mm
N°10	2.00 mm
N°20	850 µm
N°40	425 µm
N°60	250 µm
N°140	106 µm
N°200	75 µm

Fuente: Normas INVIA

Los tamices se desmontaron y se comprobó que la operación estuviera terminada al evidenciar que no pasaba más del 1% de la parte retenida al tamizar durante un minuto. Las partículas que quedaban atrapadas en la malla, se separaron usando un cepillo. Por último, se determinó la masa de cada fracción retenida en el tamiz en una balanza y se anotó el valor de cada uno. [7]

2.1.2 Límites de consistencia

Al finalizar el ensayo granulométrico, se procedió a determinar los límites de consistencia el cual se usa

con otras propiedades del suelo con el fin de establecer una correlación en cuanto su comportamiento frente a la compresibilidad, compactibilidad, consistencia y resistencia al corte.

Para cada apique realizado, se tomaron muestras al tener una variación en el tipo de suelo y además cada 50 cm. Las muestras se dejaron secar a temperatura ambiente y de cada una de estas, se sacaron 200 g de material que pasara el tamiz de 425 μm (No. 40).

Al espécimen obtenido, se le agrego una pequeña cantidad de agua, con el fin de mezclar homogéneamente la muestra, y lograr la consistencia necesaria. Para este ensayo se realizaron 3 sub-muestras, de las cuales se requería obtener la consistencia suficiente para cerrar la ranura formada en el suelo a partir de 15-25, 20-30, 25-35 golpes respectivamente.

Para ello se colocó una cantidad adecuada de suelo mezclado con agua en la cazuela encima del punto donde esta descansa en la base. Se comprimió y extendió con la espátula flexible para nivelarla, dejándola a una profundidad de 10 mm en el punto de su máximo espesor “Fig. 1.”.

Fig. 1. CAZUELA DE CASAGRANDE



Fuente: Autores

Al tener el suelo en la cazuela, se dividió este con una pasada firme del ranurador desde la parte más alta a la parte más baja del borde de la cazuela y se procedió a girar la cazuela a una velocidad de 2 revoluciones por segundo “Fig. 2”.

Fig. 2 CAZUELA DE CASAGRANDE CON RANURA



Fuente: Autores

Al entrar en contacto las 2 partes del suelo en el fondo de la ranura a lo largo de 13 mm, se detuvo la cazuela y se tomaron la cantidad de golpes necesarios para cerrar la ranura formada en el suelo. Así mismo se tomó una tajada del suelo utilizado en el ensayo, se colocó en un recipiente con tapa, con masa

conocida, se pesó el recipiente con la porción de suelo y se transfirió al horno a una temperatura constante de 110°C. Pasadas 24 horas, se sacó el recipiente del horno e inmediatamente se anotó el valor de la masa (esto para evitar la absorción de humedad higroscópica). Este procedimiento se realizó para cada una de las muestras y con los golpes necesarios para el ensayo. [7]

2.1.3 Límite plástico e índice de plasticidad

El límite plástico se usa con otras propiedades del suelo con el fin de establecer una correlación en cuanto su comportamiento frente a la compresibilidad, compactibilidad, permeabilidad, expansión y contracción y resistencia al corte.

Para este ensayo se tomó una porción de muestra (20 g) que paso el tamiz de 425 μm (No. 40) y se mezcló junto con agua, hasta conseguir una consistencia adecuada que permitiera enrollar el material sin que este se pegase en las manos. De este espécimen, se tomó una porción de 2.0g, con la cual se formó una masa elipsoidal. Con esta masa se formaron rollos de un diámetro de 3.2 mm (1/8") a una velocidad promedio de 90 recorridos de la palma de la mano por minuto. Al llegar a este diámetro, se dividió en varios trozos y se juntaron comprimiéndolo con los pulgares, para volver a formar la masa elipsoidal y proceder a enrollar nuevamente. Se repitió este procedimiento hasta cuando el rollo de 3.2 mm se desmorono y no permitió nuevamente ser enrollado hasta 3.2 mm de diámetro "Fig.3."

Fig. 3 ROLLO LÍMITE PLÁSTICO



Fuente: Autores

Se recogieron las porciones del suelo desmoronado y se colocaron en un recipiente con masa conocida, para así determinar su humedad con ayuda del horno a una temperatura de 110°C. Todo el procedimiento se repitió para obtener un segundo rollo y comparar los resultados. [7]

2.1.4 Humedad de los suelos usando hornos microondas

El contenido de agua de los materiales es una de las propiedades más significativas de los suelos y es empleado para determinar las correlaciones que tienen los suelos, además que, con suelos con grano fino, su consistencia depende de la cantidad de agua que estos contengan.

Para realizar este procedimiento, se identificó la masa del recipiente limpio en el cual se depositará el material a determinar la humedad. Una vez hecho esto, se colocó el espécimen de suelo en el recipiente y se anotó su masa en conjunto.

Luego de esto, se ubicó el recipiente en el horno microondas por tres minutos a una temperatura de 150°C evitando así el sobrecalentamiento del material. Al pasar los 3 minutos, se retiró el recipiente con el material del horno, se anotó el valor de su masa junto con el recipiente y luego se mezcló cuidadosamente con una espátula para posteriormente volver a calentar el material por 1 minuto. Este procedimiento se realizó hasta que la muestra demostrara un cambio en su masa de 0.1%. [7]

2.1.5 California Bearing Ratio

Este ensayo se utiliza con el fin de determinar la resistencia al esfuerzo cortante de los materiales compactados de subrasante, sub-base y base, para su empleo en pavimentos de carreteras, evaluando su calidad, bajo efectos controlados de humedad y densidad.

Para la preparación de la muestra, se vio en la necesidad de hacer un apique en el suelo de la vía del proyecto a una profundidad de 1.5 m, y allí obtener una muestra inalterada del suelo para su respectivo ensayo "Fig.4."

Fig. 4 OBTENCIÓN MUESTRA INALTERADA A 1.5 M



Fuente: Autores

Se enraso el espécimen, y se cubrió con papel vinipel, con el fin de evitar pérdidas en su humedad. Ubicando un papel filtro sobre la placa base, se procedió a instalar la muestra junto con el molde en su base, de tal manera que el disco espaciador quedara en la parte superior. Se retiró el disco espaciador, y se acomodó la placa perforada con vástago ajustable y sobre esta, las sobrecargas necesarias para producir la presión necesaria en el suelo (5.0 lb). Se sumergió el molde con la placa y las sobrecargas, ubicando sobre este, un trípode con un medidor, el cual midió la expansión de la muestra. El molde se dejó sumergido por un total de 7 días "Fig.5.". [7]

Fig. 5 MOLDE SUMERGIDO



Fuente: Autores

Luego del periodo de inmersión, se sacó el molde del tanque y se retiró el agua retenida en la parte superior de este, sosteniendo firmemente la placa y las pesas de sobrecarga en su posición. Posteriormente, se dejó escurrir el molde durante aproximadamente 15 minutos.

Por último, se situó el molde en la prensa, junto con las sobrecargas, y se aplicó carga a una velocidad uniforme de 1.27 mm (0.05") por minuto. Para obtener la curva de penetración esfuerzo, se hizo necesario obtener los valores de carga en los desplazamientos: 0.64 mm (0.025"), 1.27 mm (0.050"), 1.91 mm (0.075"), 2.54 mm (0.100"), 3.18 mm (0.125"), 3.81 mm (0.150"), 4.45 mm (0.175"), 5.08 mm (0.200"), 7.62 mm (0.300"), 10.16 mm (0.400") y 12.70 mm (0.500"). En el caso de que la maquina estuviera cerca de su límite de carga antes de alcanzar los 12.70 mm se hace la anotación hasta el punto máximo obtenido.

Fig. 6 APLICACIÓN DE CARGA EN LA MUESTRA



Fuente: Autores

2.1.6 Estudio de transito

En cuanto a la variable del tránsito promedio diario, se llevaron a cabo los conteos manuales de vehículos que transitan por la vía de diferentes categorías por 7 días, de 6am a 8 pm, y se realizó un promedio de la cantidad de vehículos que transitan la zona obteniendo los niveles de transito existente Tabla II.

Tabla II TRANSITO PROMEDIO DIARIO

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO											
	Automóvil	Microbús	Buseta	Bus Intermunicipal	C2P	C2G – camión	C2G - volqueta	C3 - camión	C3 - volqueta	C3 S2	C3 - S3
TPD'S	1401	16	11	9	87	26	34	9	3	0	2
Composición vehicular	87.65%	0.98%	0.69%	0.58%	5.44%	1.63%	2.11%	0.58%	0.21%	0.00 %	0.13%
TPD'S	1598										

Fuente: Autores

2.1.7 Factores ambientales y climáticos

Los factores ambientales y climáticos influyen en cuanto al diseño de la estructura de pavimento, por lo cual se vio en la necesidad de solicitar datos a la entidad IDEAM para lograr determinar estas variables. Para la obtención de los datos de temperatura y precipitación media anual de la ciudad de Acacias, se tuvieron en cuenta los datos obtenidos de la estación Unillanos. Se eligió esta estación por contener la mayor cantidad de datos Tabla III Y Tabla IV.

Tabla III TMAP DE DISEÑO

TEMPERATURA MEDIA ANUAL PONDERADA Y TEMPERATURA DE DISEÑO			
AÑO	TMAP °C	FP Promedio	TMAP DE DISEÑO
2009	22.31	1.29	22.45
2010	22.31	1.29	
2011	21.79	1.21	
2012	21.89	1.22	
2013	22.41	1.31	
2014	22.82	1.38	

2015	22.90	1.40	
2016	23.01	1.42	
2017	22.66	1.35	
2018	22.44	1.32	

Fuente: Autores

Tabla IV PMA DE DISEÑO

PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (PMA) DE LA CIUDAD DE ACACIAS ENTRE LOS AÑOS 2009 - 2016	
AÑO	PMA (mm)
2009	4354.0
2010	5488.0
2011	4956.0
2012	3224.5
2013	4517.0
2014	2999.0
2015	4089.0
2016	4249.0
PMA de diseño (mm)	4234.6

Fuente: Autores

2.2 Procedimiento de ensayos de laboratorio material crudo de río.

En cuanto a los ensayos de laboratorio realizados al material crudo de río, se tuvo en cuenta: análisis granulométrico, límites de consistencia, límite líquido e índice de plasticidad, humedad de los suelos usando horno microondas, ensayo modificado de compactación, CBR y degradación de los agregados de tamaño menores de 37.5mm por medio de la máquina de los Angeles. [7]

Los materiales que fueron necesarios para realizar los ensayos de laboratorio fueron:

- Cazuela de Casagrande
- Ranurador
- Espátula flexible
- Probeta plástica
- Placa de vidrio esmerilado
- Recipiente de humedad con tapa
- Prensa
- Molde cilíndrico de metal rígido de 6"
- Disco espaciador
- Aparato medidor de expansión
- Trípode
- Sobrecargas metálicas
- Pistón de penetración
- Tanque
- Martillo de operación manual
- Balanzas
- Horno
- Tamices
- Recipientes
- Placa de metal perforada
- Máquina de los Ángeles
- Esferas de acero

- Horno microondas
- Mortero porcelana

2.2.1 *Análisis granulométrico*

La muestra obtenida se secó a temperatura ambiente en su totalidad, este se colocó sobre una superficie lisa y nivelada y se mezcló el material completamente volteando en su totalidad la muestra tres veces. Luego de esto, se formó una pila de material y se aplano la pila con un palustre. Este material obtenido se cuarteo, y se obtuvo una muestra representativa para el desarrollo del ensayo.

La muestra obtenida se pasó por el tamiz de 2.0mm (No. 10), obteniendo 2 porciones (una retenida en el tamiz y, la otra, material que pasa el tamiz). La fracción retenida en el tamiz se lavó con el fin de liberarlo de partículas finas adheridas. El material resultante se secó en el horno a una temperatura de 60 °C. Una vez seca la muestra, se mezcló el material con la fracción pasante del tamiz.

Seleccionando los tamices mencionados en la Tabla I, se encajaron los tamices de manera decreciente con respecto al tamaño de sus aperturas, y se procedió a depositar la muestra en los tamices. Se agitaron estos por medio de una tamizadora mecánica por 2 minutos.

Los tamices se desmontaron y se comprobó que la operación estuviera terminada al evidenciar que no pasaba más del 1% de la parte retenida al tamizar durante un minuto. Las partículas que quedaban atrapadas en la malla, se separaron usando un cepillo. Por último, se determinó la masa de cada fracción retenida en el tamiz en una balanza y se anotó el valor de cada uno. [7]

2.2.2 *Límites de consistencia*

Para el material de río se dejó secar a temperatura ambiente y de este, se sacaron 200 g de material que pasara el tamiz de 425 μm (No. 40).

Al espécimen obtenido, se le agrego una pequeña cantidad de agua "Fig. 7", con el fin de mezclar homogéneamente la muestra, y lograr la consistencia necesaria. Para este ensayo se realizaron 3 sub-muestras, de las cuales se requería obtener la consistencia suficiente para cerrar la ranura formada en el suelo a partir de 15-25, 20-30, 25-35 golpes respectivamente.

Fig. 7 MATERIAL CRUDO DE RÍO



Fuente: Autores

Para ello se colocó una cantidad adecuada de suelo mezclado con agua en la cazuela encima del punto donde esta descansa en la base. Se comprimió y extendió con la espátula flexible para nivelarla, dejándola a una profundidad de 10 mm en el punto de su máximo espesor.

Al tener el suelo en la cazuela, se dividió este con una pasada firme del ranurador desde la parte más alta

a la parte más baja del borde de la cazuela y se procedió a girar la cazuela a una velocidad de 2 revoluciones por segundo

Al entrar en contacto las 2 partes del suelo en el fondo de la ranura a lo largo de 13 mm, se detuvo la cazuela y se tomaron la cantidad de golpes necesarios para cerrar la ranura formada en el suelo. Así mismo se tomó una tajada del suelo utilizado en el ensayo, se colocó en un recipiente con tapa, con masa conocida, se pesó el recipiente con la porción de suelo y se transfirió al horno a una temperatura constante de 110°C. Pasadas 24 horas, se sacó el recipiente del horno e inmediatamente se anotó el valor de la masa (esto para evitar la absorción de humedad higroscópica). [7]

2.2.3 Límite plástico e índice de plasticidad

Para este ensayo se tomó una porción de muestra (20 g) que paso el tamiz de 425 μm (No. 40) y se mezcló junto con agua, hasta conseguir una consistencia adecuada que permitiera enrollar el material sin que este se pegase en las manos. Sin embargo, el material utilizado no permitió la formación de rollos, ya que el material no presenta plasticidad. [7]

2.2.4 Humedad de los suelos usando horno microondas

El contenido de agua de los materiales es una de las propiedades más significativas de los suelos y es empleado para determinar las correlaciones que tienen los suelos, además que, con suelos con grano fino, su consistencia depende de la cantidad de agua que estos contengan.

Para realizar este procedimiento, se identificó la masa del recipiente limpio en el cual se depositará el material a determinar la humedad. Una vez hecho esto, se colocó el espécimen de suelo en el recipiente y se anotó su masa en conjunto.

Luego de esto, se ubicó el recipiente en el horno microondas por tres minutos a una temperatura de 150°C evitando así el sobrecalentamiento del material. Al pasar los 3 minutos, se retiró el recipiente con el material del horno, se anotó el valor de su masa junto con el recipiente y luego se mezcló cuidadosamente con una espátula para posteriormente volver a calentar el material por 1 minuto. Este procedimiento se realizó hasta que la muestra demostrara un cambio en su masa de 0.1%. [7]

2.2.5 Ensayo modificado de compactación

El ensayo modificado de compactación se emplea con el fin de determinar la relación entre la humedad y el peso unitario seco del suelo. El objetivo de esto es lograr identificar la humedad óptima de compactación y posteriormente realizar el ensayo de CBR.

Para ello se utilizó un molde metálico del diámetro indicado según la granulometría del material y además de la cantidad de golpes y capas necesarias para lograr la compactación necesaria para el ensayo Tabla V, un martillo de 44.48 N con una caída libre de 457.2 mm. [7]

Tabla V ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN

MÉTODO	A	B	C
DÍAMETRO DEL MOLDE	101.6 mm (4")	101.6 mm (4")	152.4 mm (6")
MATERIAL	Pasa tamiz de 4.75 mm (No. 4)	Pasa tamiz de 9.5 mm (3/8")	Pasa tamiz de 19.0 mm (3/4")
CAPAS	5	5	5
GOLPES/CAPA	25	25	56

USO	Si 25% o menos de la masa del material queda retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Sin embargo, si en este tamiz queda retenida entre 5 y 25% de la masa, se puede usar el Método A, pero se requerirá la corrección por sobre tamaños (Ver numeral 1.4) y, en este caso, el uso del Método A no reporta ninguna ventaja	Si 25% o menos de la masa del material queda retenida en el tamiz de 9.5 mm (3/8"). Sin embargo, si en este tamiz queda retenida entre 5 y 25% de la masa, se puede usar el Método B, pero se requerirá la corrección por sobre tamaños. En este caso, la única ventaja de usar el Método B en lugar del Método C, es que se necesita menos cantidad de muestra y el molde pequeño es más fácil de usar	Si 30% o menos de la masa del material queda retenida en el tamiz de 19.0 mm (3/4")
OTRO USO	Si este requisito de granulometría no se puede cumplir, se deben usar los Métodos B o C	Si este requisito de granulometría no se puede cumplir, se debe usar el Método C	

Fuente: Norma INVIAS [7]

En este caso, el material cumple con el método B ya que menos del 25% del material queda retenido en el tamiz de 9.5 mm (3/8"), sin embargo, se empleó el método C, ya que el molde utilizado para la realización de este método (152.4 mm de diámetro) es el mismo empleado para el ensayo CBR.

Determinado el método a utilizar, se determinó la masa del molde junto con la placa y se prepararon las muestras reduciendo su contenido de humedad al aire libre, con el fin de realizar el ensayo por vía seca. Una vez seco el material, se procesó el material por el tamiz correspondiente (3/4") para así realizar la compactación del mismo. Se prepararon 6 muestras con variación de 2% en su contenido de humedad. No se vio en la necesidad de realizar curado en la muestra ya que según la clasificación de la USCS (GW) no se requiere este procedimiento Tabla VI.

Tabla VI CLASIFICACIÓN DEL SUELO

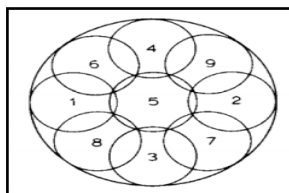
CLASIFICACIÓN DEL SUELO	TIEMPO DE CURADO (h)
GW, GP, SW, SP	No requiere
SW, SP	3
Todos demás suelos	16

Fuente: Norma INVIAS [7]

Preparada cada una de las muestras, se dio paso al proceso de compactación, para el cual se requerían 5 capas de muestra, la primera de estas capas se esparció una quinta parte de la cantidad utilizada para el ensayo (6 kg) vertiendo uniformemente y oprimiendo suavemente la superficie utilizando el martillo de operación manual, con el fin de obtener un suelo que no presentara un estado esponjoso. Para cada una de las capas se efectuaron 56 golpes realizados verticalmente con el martillo de operación manual manteniéndolo firmemente sin superar los 5° de tolerancia. Estos golpes se llevaron a cabo a una velocidad aproximada de 25 golpes por minuto.

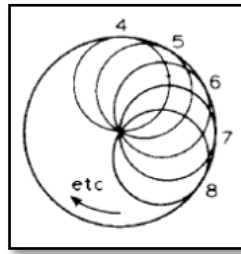
En cuanto a los golpes, estos fueron efectuados según el patrón "Fig. 8" en los primeros 9 golpes, y posteriormente se realizaron los golpes sistemáticamente "Fig. 9 SISTEMATIZACIÓN DE GOLPES"

Fig. 8 SECUENCIA DE GOLPES



Fuente: Norma INVIAS

Fig. 9 SISTEMATIZACIÓN DE GOLPES



Fuente: Norma INVIAS

Una vez terminada la compactación, se removi6 el collar del molde, se procedi6 a enrasar la muestra y finalmente determinar la masa del molde junto con la muestra compactada “Fig 10.”. Para este caso no se removi6 la placa base para determinar la masa de la muestra, ya que, se puede perder suelo o agua cuando la muestra es muy h6meda. [7]

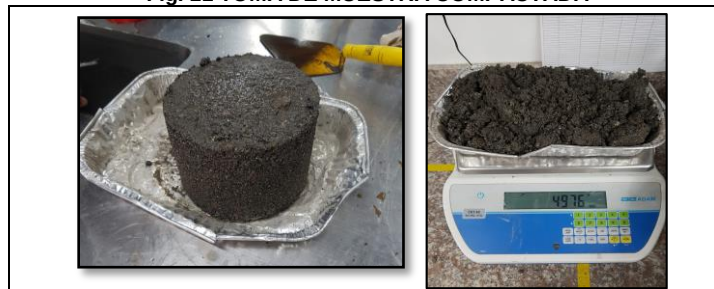
Fig. 10 MUESTRA ENRASADA COMPACTADA



Fuente: Autores

Como paso final del ensayo, se extrajo del molde la probeta compactada, se tom6 la totalidad o una parte representativa de la muestra para lograr determinar su humedad. En el caso que se obtuvo la totalidad de la muestra, esta se desboron6 para conseguir una facilidad en el proceso de secado “Fig. 11”

Fig. 11 TOMA DE MUESTRA COMPACTADA



Fuente: Autores

2.2.6 CALIFORNIA BEARING RATIO

Para la preparaci6n de la muestra, se tuvo en cuenta la granulometría y la Tabla 5 del ensayo modificado de compactaci6n, para el cual, en este caso, se utiliz6 el m6todo C, el cual requiri6 de 6 kg de material pasante del tamiz $\frac{3}{4}$ ” (19.0 mm) y 5 capas compactadas. Cada muestra se prepar6 con el contenido de humedad 6ptimo, obtenido en el ensayo modificado de compactaci6n. Sin embargo, el molde utilizado en este ensayo, es de mayor altura (177,8 mm), debido a que se debe emplear un disco espaciador, el cual

permitirá la colocación de las 2 sobrecargas metálicas y una placa de metal perforada, en el caso que el ensayo de CBR sea sumergido.

Se ajustó el molde a la placa base y se unió junto al collar de extensión. Posteriormente se insertó el disco espaciador dentro del molde y encima de este se colocó papel filtro. Una vez hecho esto se procedió a la compactación.

En este caso, la compactación de cada capa se realizó de manera diferente para cada muestra. Para la primera muestra, se efectuaron 10 golpes con el martillo de operación manual a cada una de las capas, la segunda muestra, con un total de 25 golpes y finalmente la tercera muestra, con un total de 56 golpes. Esto se llevó a cabo, con el fin de obtener el CBR al 95% de compactación.

Terminada la compactación, se quitó el collar de extensión y se enrasó el espécimen. El molde se desmontó de la placa base, se anotó el valor de su masa y se volvió a montar en la placa base, pero de manera inversa. Se retiró el disco espaciador, y se acomodó en el espacio las sobrecargas necesarias para producir la presión necesaria en el suelo (5.0 lb).

Por último, se situó el molde en la prensa, junto con las sobrecargas, y se aplicó carga a una velocidad uniforme de 1.27 mm (0.05") por minuto. Para obtener la curva de penetración esfuerzo, se hizo necesario obtener los valores de carga en los desplazamientos: 0.64 mm (0.025"), 1.27 mm (0.050"), 1.91 mm (0.075"), 2.54 mm (0.100"), 3.18 mm (0.125"), 3.81 mm (0.150"), 4.45 mm (0.175"), 5.08 mm (0.200"), 7.62 mm (0.300"), 10.16 mm (0.400") y 12.70 mm (0.500"). En el caso de que la máquina estuviera cerca de su límite de carga antes de alcanzar los 12.70 mm se hace la anotación hasta el punto máximo obtenido "Fig 12.". [7]

Fig. 12 ENSAYO CBR MATERIAL CRUDO DE RÍO



Fuente: Autores

2.2.7 Prueba de desgaste en la máquina de los Ángeles

Este tipo de ensayo se realiza con el fin de conocer la degradación que tiene un agregado como resultado a la combinación de la abrasión, impacto y molienda en un tambor de acero rotatorio y una cantidad de esferas metálicas las cuales estarán definidas con respecto a la granulometría del material.

Para el caso del material de río, se escoge la más similar a la granulometría obtenida, y así mismo, las cantidades de material necesarias para la realización del ensayo Tabla VII.

Tabla VII GRANULOMETRÍAS DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO

TAMAÑOS DE TAMIZ		MASAS DE LAS DIFERENTES FRACCIONES, g			
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	GRANULOMETRIA			
		A	B	C	D
37.5 (1 1/2")	25.0 (1")				
25.0 (1")	19.0 (3/4")	1250 +- 25			
19.0 (3/4")	12.5 (1/2")	1250 +- 25			
12.5 (1/2")	9.5 (3/8")	1250 +- 10	2500 +- 10		

9.5 (3/8")	6.3 (1/4")	1250 +- 10	2500 +- 10	2500 +- 10	
6.3 (1/4")	4.75 (No. 4)			2500 +- 10	
4.75 (No. 4)	2.36 (No. 8)				5000 +-10
Total		5000 +-10	5000 +-10	5000 +-10	5000 +-10

Fuente: Norma INVIAS [7]

En el caso del material de río, la granulometría que más se adapta a la obtenida es el tipo A. En el caso de la granulometría tipo A, la cantidad de esferas de acero necesarias para el ensayo es de 12 Tabla VIII.

Tabla VIII TIPOS DE GRANULOMETRÍA PARA EL ENSAYO

GRANULOMETRIA	NÚMERO DE ESFERAS	MASA DE LA CARGA, g
A	12	5000 +- 25
B	11	4584 +-25
C	8	3330 +-20
D	6	2500 +- 15

Fuente: Norma INVIAS [7]

Conociendo la cantidad de esferas necesarias para el ensayo y la cantidad de material necesario, se procedió a lavar y secar el material durante 24 horas a 110°C de cantidades necesarias de material tamizado para el ensayo. Se comprobó que el tambor de acero rotatorio estuviera limpio en su totalidad, y se procedió a la colocación del material junto con las 12 esferas de acero.

El tambor se hizo girar a una velocidad constante de 200 rad/minuto hasta completar las 500 revoluciones en total. Se descargó el material en el tambor y se realizó una separación del material utilizando el tamiz No. 12. El material retenido en el tamiz se lavó y se secó durante 24 horas a una temperatura constante de 110°C. El material seco se pesó y se anotó su valor correspondiente "Fig. 13."

Fig. 13 MATERIAL DESCARGADO DE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES



Fuente: Autores

2.3 Diseños de pavimento rígido por la metodología AASHTO 93 y PCA 84.

2.3.1 Metodología IVANOV

Para poder emplear estas metodologías debemos tener un parámetro fundamental como es el CBR de la subrasante existente, como se pudo observar anteriormente el CBR arrojó un valor de 4,40% corresponde a un suelo en un mal estado, lo que corresponde realizar un mejoramiento a la plataforma de soporte (Subrasante). Para lo anterior se decidió emplear la metodología propuesta por IVANOV, esta consiste en un mejoramiento empleando piedra rajón. En la actualidad este tipo de mejoramiento es muy común y muy confiable.

La ecuación 4 se emplea para el cálculo del CBR requerido por la metodología IVANOV, esta especifica el espesor necesario de mejoramiento (piedra rajón) para poder cumplir con el CBR mínimo. [4]

$$E_{eq} = \frac{E_{SR}}{1 - \frac{2}{\pi} \left[1 - \frac{1}{n^{3.5}} \right] \tan^{-1} \left[n \times \frac{h_{rajón}}{2a} \right]}$$

$$n = \sqrt[2.5]{\frac{E_{rajón}}{E_{SR}}}$$

Ecuación 1. Metodología IVANOV.

2.3.2 Metodología AASHTO 93

El presente diseño se sustenta en lo establecido por la metodología AASHTO 93, en lo cual establece parámetros como los siguientes:

- Número de ejes equivalentes
- CBR
- Módulo de reacción de la subrasante
- Módulo elástico
- Módulo de rotura del concreto
- Módulo de reacción combinado de la plataforma
- Coeficiente de drenaje
- Coeficiente de transferencia de carga
- Índice de serviciabilidad final
- Confiabilidad
- Desviación
- Error estándar
- Logaritmo de la variable de transito
- Índice de serviciabilidad
- Ancho de la calzada
- Número de Días de Lluvia al Año
- Porcentaje de Número de Días de Lluvia al Año

Lo anterior son parámetros necesarios para poder emplear la ecuación 2 que se sustenta en calcular el espesor mínimo que debe tener la estructura de pavimento bajo las condiciones dadas. [3]

$$\log(W_{18}) = Z_r \times S_o + 7.35 \times \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 \times P_f) \times \log\left(\frac{MR \times C \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times \left(D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{K}\right)^{0.25}}\right)}\right)$$

Ecuación 2. Cálculo espesor estructura de pavimento rígido.

2.3.3 Metodología PCA 84

Algunos de los datos iniciales que se deben tener en cuenta para iniciar a diseñar con esta metodología son los siguientes:

- CBR (%)
- CBR Mejorado (%)
- TPD (Veh/Día)
- r (%)
- MR (Mpa)
- FSC (Vías residenciales o con bajo volumen de tránsito).
- Pasadores y Confinamiento
- Cantidad de Carriles de la Vía
- Tasa de crecimiento (años)
- Ancho de carril (m)
- Base granular
- Espesor base (cm)
- Espesor Mejoramiento Rajón(cm)

Esta metodología nos brinda un análisis del comportamiento de la estructura de pavimento, arrojando el espesor mínimo de la losa teniendo en cuenta la erosión y la fatiga que puede tener. Esta metodología es la más confiable. [4]

3. RESULTADOS

Para determinar el espesor de la losa se hizo con la ayuda del programa suministrado por la plataforma TOPO3, llamado BS-PCAA, en este se deben incluir por cada eje el número de ejes, establece el factor de seguridad, e ingresar todos los demás datos anteriormente descritos. El objetivo del manejo de este programa es variar el espesor de la losa de concreto con el fin de que su comportamiento tanto por fatiga y por erosión sean menores al 100%, esto para garantizar que el desempeño y comportamiento sea el óptimo.

Para este diseño se realizaron diferentes variaciones del espesor de la losa, dando como resultado final un espesor de 21 cm, un consumo de erosión del 6.3851% y consumo de esfuerzo del 14.2987%, con esto se garantiza que las losas de concreto se comportarán de manera óptima. Lo anterior se puede observar de forma resumida en la Tabla IX:

Tabla IX DATOS OBTENIDOS- METODOLOGÍA PCA 84

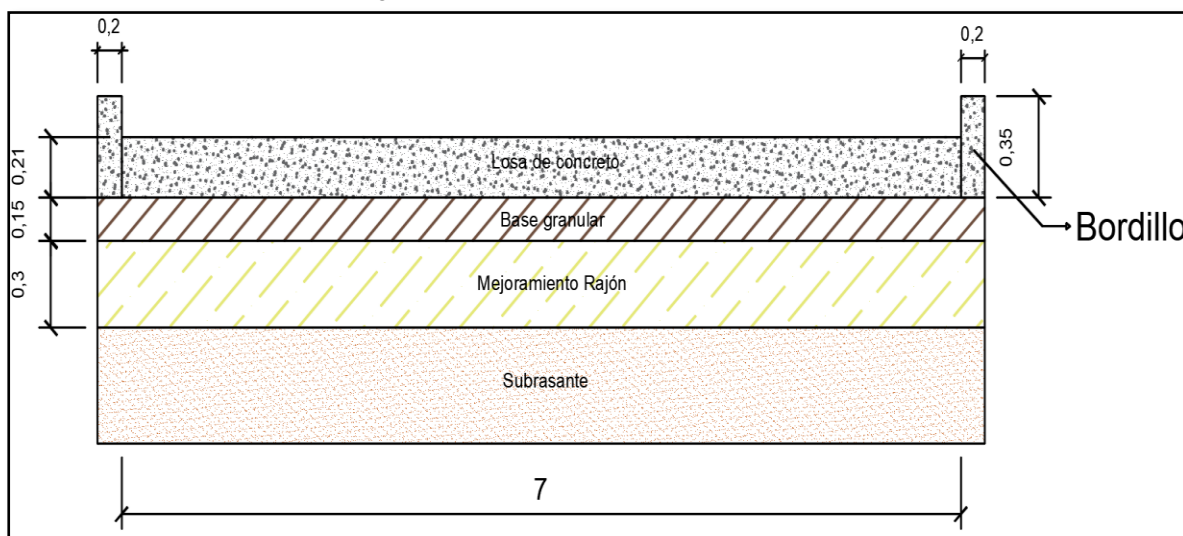
Datos Obtenidos Metodología PCA 84		
Espesor de la losa (cm)	21,00	
Ancho de Berma (cm)	20,00	
Análisis de Fatiga (%)	14,2987	
Análisis de Erosión (%)	6,3851	
Lmáx (m)	5,25	
	4,38	4,38
	6,00	
Relación de esbeltez	1,25	CUMPLE
Diámetro del pasador (Pulgadas)	1 1/8	
Longitud pasador (Cm)	40,00	
Separación entre centros de barras (Cm)	30,00	
Longitud barra de anclaje (cm)	85,00	

Acero de $f_y = 420$ Mpa (Psi)	60000,00	
Diámetro de la barra de anclaje (Pulgadas)	1/2	
Espaciamiento del acero (cm)	120,00	

Fuente: Autores

La estructura de pavimento se puede observar en la “Fig. 14.”

Fig. 14 ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO



Fuente: Autores

Una vez analizado el suelo existente del tramo de estudio, se evidencia que el material del primer estrato de cada uno de los apiques (material granular grueso) cierra el surco con un número de golpes inferior a los 25 golpes, lo cual nos indica que el material no presenta plasticidad. En cuanto al resto de estratos presentes, se logró determinar el límite líquido de cada uno de estos sin mayor dificultad en el desarrollo del ensayo, y según los resultados obtenidos, los límites líquidos y de plasticidad son de gran similitud comparándolos entre sí, por lo que se puede afirmar que el suelo presente en todo el trayecto de la vía, no presenta cambios importantes en su comportamiento y se podría reutilizar como material de mejoramiento teniendo en cuenta las normas INVIAS.

En cuanto al estudio de tránsito, se evidencio que los automóviles o vehículos livianos son los más frecuentes en el tramo de estudio con un 87.65%, seguido del C2P (camión pequeño) solo con un 5.44%, esto quiere decir que actualmente la vía no requiere de una estructura de pavimento muy robusta, cabe resaltar que el crecimiento poblacional (obtenido del DANE) se proyecta a 20 años.

De los resultados obtenidos de los factores climáticos se pudo evidenciar que las precipitaciones de la ciudad están alrededor de los 4000mm, lo cual quiere decir que el suelo se debe considerar en condiciones saturadas, por lo que el CBR se determinó sumergido y lo importante de usar obras de drenaje a lo largo del tramo, como sumideros y bordillos.

Analizando los ensayos realizados al material crudo de río, se evidencio que cumple con las características físicas y mecánicas del INVIAS para ser utilizado como material de sub-base. A continuación, se relaciona lo expuesto:

Tabla X REQUISITO MÍNIMOS SEGÚN INVÍAS SUB-BASE GRANULAR

RIGIDO	1,21,E+06	Nivel de Tránsito (Invías)	NT2
Material Crudo de Río		Sub-Base Granular	Base Granular
Descripción visual del material en Terreno	Material granular grueso	-	-
Material	MG	-	-
% Grava	43,20	-	-
% Arena	56,05	-	-
% Finos	0,75	-	-
LL %	NP	Cumple	-
LP %	NP	-	-
IP %	NP	Cumple	Cumple
Máquina de los Ángeles	11,25	Cumple	Cumple
Densidad Óptima	2,165	-	-
Humedad Óptima	7,60%	-	-
CBR 10 Golpes	54,80	-	-
CBR 25 Golpes	56,57	-	-
CBR 56 Golpes	80,38	-	-
CBR 100%	76,00%	Cumple	No Cumple
CBR 98% (Base Granular)	74,60%	-	No Cumple
CBR 95% (Sub-base Granular)	72,60%	Cumple	-
Estado		Cumple	No Cumple

Fuente: Autores

4. CONCLUSIONES

- Los diseños realizados por la metodología PCA son más precisos dado que se hace un análisis evaluando la erosión y la fatiga, parámetros fundamentales en el correcto comportamiento de la estructura de pavimento.
- De acuerdo a que la vía es de tipo urbana se requiere la construcción de drenajes superficiales (sumideros) garantizando la salida de aguas lluvia y evite daños representativos a la estructura de pavimento.
- Se realizaron los diseños de acuerdo a las diferentes metodologías (AASHTO y PCA) con la capacidad portante en sus condiciones más desfavorables (sumergido) con el fin de que la estructura de pavimento rígido tenga un comportamiento óptimo en todas las condiciones.
- El tránsito existente en el sector es considerable para una estructura de pavimento con espesores considerables y que puedan prestar su servicio a lo largo de su periodo de diseño.
- El espesor escogido como diseño final de la losa de concreto es 0.21m de acuerdo a la metodología PCA, base granular de 0.15m, mejoramiento con piedra rajón de 0.30m y bordillos de 0.2m.
- Al momento de la ejecución de estos diseños se verifique el cumplimiento de los materiales, teniendo en cuenta los requisitos estipulados por el INVÍAS para su correcto comportamiento de la estructura de pavimento.
- El tránsito empleado para la determinación del número de repeticiones de cada tipo de eje que circularán por los tramos de vía fue obtenido a partir de un conteo realizado durante tres días en el tramo de estudio.
- La finalidad de la exploración geotécnica para el diseño del pavimento consistió en precisar las características físicas y geo mecánicas de los estratos existentes, característicos del subsuelo, además se realizó la determinación del CBR de los suelos examinados in situ comparando la resistencia del suelo a la penetración con la del material patrón. Este método evalúa la calidad relativa de las subrasantes de los suelos, evaluándose las condiciones “in situ” y bajo condiciones de inmersión, correspondiente a la norma INVÍAS.
- La exploración geotécnica para el Diseño del Pavimento se orientó al conocimiento del material de Subrasante y de las capas de Material Granular existente con base en una serie de ensayos de

laboratorio convencionales tales como Granulometrías, Humedad Natural, límites de Atterberg, CBR (sumergido), que permiten clasificar la Subrasante y los Materiales Granulares encontrados y de esta forma determinar la calidad relativa del material encontrado y por ende correlacionar de forma general la clasificación realizada con el comportamiento ingenieril de dicho material.

- Para el análisis de las propiedades y características de los Materiales Granulares y de la Subrasante existente se llevaron a cabo tres apiques a una profundidad promedio de 1.50 metros.
- De acuerdo con los perfiles estratigráficos obtenidos a partir de los apiques realizados se evidencia que el material es uniforme en su mayoría en los diferentes tramos, generalmente corresponde a arena limosa, con características plásticas que cumplen con las características de material relleno tipo INVIAS.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo de grado realizado fue posible por todas aquellas personas que aportaron su apoyo y dedicación para cumplir con el fin de este. Primero que todo agradecer a Dios por guiarnos y permitirnos llegar a concluir el objetivo.

Agradecimientos a nuestros padres por todo el amor, la confianza, dedicación que mostraron a lo largo de estos años, generando motivación, inspiración y respaldo en todas las metas propuestas y cumplidas.

A la ingeniera Jessica María Ramírez Cuello, quien con su apoyo, guía, conocimiento y experiencia pudimos hacer posible la realización de este trabajo de grado.

Y por último a la Universidad Santo Tomas, por permitirnos concluir esta etapa de nuestras vidas, por la orientación y guiarnos en la realización de este trabajo de grado.

REFERENCIAS

- [1] A. M. Fonseca, Ingeniería de pavimentos para carreteras - Tomo 1, 2015.
- [2] VISE, «VISE,» 2016. [En línea]. Available: <http://blog.vise.com.mx/para-qu%C3%A9-sirve-un-estudio-de-suelo>. [Último acceso: ENERO 2019].
- [3] H. A. R. Q. y. F. A. R. Lizcano, Pavimentos: Materiales, construcción y diseño., ECOE.
- [4] Metodología PCA.
- [5] I. A. D. M. C. -. I. C. A. A. SAENZ, «DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO PARA LA URBANIZACION CABALLERO Y GONGORA, MUNICIPIO DE HONDA - TOLIMA,» 2015. [En línea]. Available: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2687/1/dise%C3%B1o%20de%20pavimento%20rigido%20para%20la%20urbanizaci%C3%B3n%20Caballero%20Gongora%2C%20Municipio%20de%20Honda-Tolima.pdf>. [Último acceso: Enero 2019].
- [6] L. L. N. B. -. J. A. G. H. -. D. F. G. CÁRDENAS, «CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL DE ARRASTRE DEL RIO GUAYURIBA A LA ALTURA DEL PUENTE EL PALMAR EN LA VÍA QUE CONDUCE AL MUNICIPIO DE SAN CARLOS DE GUAROA – DEPARTAMENTO DEL META,» 2014. [En línea]. Available: http://repository.ucc.edu.co/bitstream/ucc/5105/1/2014_caracterizacion_material_arrastre.pdf. [Último acceso: Enero 2019].
- [7] INVIAS, «Especificaciones generales para la construcción de carreteras,» 2013.
- [8] A. d. A. -. Meta, «POT - Acacias - Meta,» [En línea]. Available: <http://www.acacias.gov.co/documentos/91/plan-de-ordenamiento-territorial/>. [Último acceso: Enero 2019].
- [9] G. E. Pro, «Google Earth Pro,» [En línea]. Available: <https://www.google.com>. [Último acceso: Enero 2019].