ESTUDIOS DE SUELOS Y DISEÑOS DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS DE LAS VÍAS Y ESPACIO PÚBLICO PARA EL MUNICIPIO DE MOSQUERA, CUNDINAMARCA.



TRAMO:
CALLE 14 ENTRE CARRERAS 2 Y 4 PORVENIR RIO

INFORME ELABORADO PARA:
ALCALDÍA MUNICIPAL DE MOSQUERA

FIRMA CONSULTORA:
INGEOTEC N&L SAS

DICIEMBRE DE 2021

Carrera 8 No. 12-32 Centro Tocancipá, Cundinamarca
cel: 3142232920-3208895533
Email: ingeotec.nlsas@gmail.com

TABLA DE CONTENIDO

1 DESCRIPCIÓN GENERAL. 6
1.1 LOCALIZACIÓN GENERAL 6
1.2 GEOGRAFÍA: 7
1.3 GEOLOGÍA REGIONAL 7
1.3.1 Estratigrafía 9
1.4 PRECIPITACIÓN Y CLIMA 13
2. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO 16
2.1 TIPO DE OBRA 16
2.2 OBJETIVO Y ALCANCE DEL ESTUDIO 16
2.3 LOCALIZACION GENERAL DEL PROYECTO 17
2.4 METODOLOGÍA DE ESTUDIO: 18
2.5 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA 20
2.6 ENSAYOS REALIZADOS 20
2.7 LOCALIZACION DEL APIQUE 22
3. CARACTERÍSTICAS DEL SUBSUELO 23
3.1 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA Y COMPORTAMIENTOS ESPERADOS 23
3.2 PERFIL ESTRATIGRÁFICO 23
3.3 RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO 24
4. ANALISIS DE RESULTADOS 25
4.1 Subrasante 25
4.1.1 Calificación Del Potencial De Expansión Del Suelo De La Subrasante 25
4.2 NIVEL FREÁTICO 26
4.3 RESISTENCIA DEL MATERIAL DEL SUELO DE FUNDACIÓN 26
5. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO 28
5.1 METODOLOGÍA ADOPTADA 28
5.2 PARÁMETROS DE ENTRADA 28
5.2.1 TRANSITO: 28
6. PROYECCIÓN DEL TRÁNSITO DE DISEÑO 29
7. EVALUACIÓN DE LA TASA ANUAL DE CRECIMIENTO DEL TRÁNSITO 29
7.1 PERIODO DE DISEÑO 30
7.2 Cálculo del TPD y composición vehicular 31
7.3 TRÁNSITO 31
7.4 CONDICIONES ATMOSFÉRICAS 32
7.5 CARACTERÍSTICAS DE LA SUBRASANTE 32
7.6 PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE 33
8. MÉTODO AASHTO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES 35
8.1 NIVEL DE CONFIANZA: 35
8.2 ERROR NORMAL COMBINADO SO: 35
8.3 NIVEL DE SERVICIABILIDAD Δ IPS: 35
8.4 NÚMERO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO SN: 35

8.5 Calidad del drenaje: 36
8.6 MÓDULOS DINÁMICOS Y COEFICIENTES ESTRUCTURALES (A) CAPAS DEL PAVIMENTO: 37
8.7 Determinación de espesores de la estructura del pavimento. 38
8.8 ANÁLISIS ELÁSTICO MULTICAPA Y MODELACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS PLANTEADAS 39
8.8.1 DEFORMACIÓN RADIAL ADMISIBLE DE TRACCIÓN EN LA BASE DE LA CAPA ASFÁLTICA E_{RADM}. 40
8.8.2 Deformación vertical admisible por compresión sobre la subrasante ε_{zadm} criterio de la Shell 40
8.8.3 ESFUERZO VERTICAL DE COMPRESIÓN ADMISIBLE SOBRE LA SUBRASANTE, Σ_{ZADM} 40
9. MÉTODO AASHTO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS 45
9.1 Método AASHTO para diseño de pavimentos rígidos: 45
9.1.1 VARIABLES DE DISEÑO: 45
9.1.2 Transferencia de cargas 46
9.1.3 Características del concreto 47
9.1.4 Resistencia de la subrasante. 48
9.1.5 Espesor de la losa de concreto: 50
9.1.6 Dimensiones de la Losa. 52
9.1.7 Relación de Esbeltez. 53
9.1.8 Deflexiones en pavimentos rígidos por acción del transito 56
9.1.9 Cálculo de los pasadores 59
9.1.10 Diseño y construcción de juntas 60
9.1.11 Sellado de las juntas: 62
9.1.12 Tipos de sellantes 62
10. Método de diseño: Aashto 93 para Estructura de andenes 64
10.1 Factores que intervienen 64
10.1.1 Periodo de diseño 64
10.1.2 Tránsito 64
10.1.3 Características de la subrasante 65
10.1.4 Metodología de la AASHTO para diseño de pavimentos rígidos 66
10.1.5 Características de la subbase granular: 67
11. CONCLUSIONES 73
12. RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES 76
ANEXOS 78
A. ENSAYOS DE LABORATORIO (GEOTECNIA) 78
B. AFOROS VEHICULARES (ESTUDIO DE TRANSITO) 86
C. REGISTRO FOTOGRAFICO AFOROS VEHICULARES (ESTUDIO DE TRANSITO) 89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización general del municipio de Mosquera dentro de la geografía nacional... 6
Figura 2. Definición de cada uno de los bloques estructurales de acuerdo con el INGEOMINAS. 8
Figura 3. Características geológicas encontradas tanto local como regionalmente en el sitio de estudio. 13
Figura 4. Climograma Mosquera 14
Figura 5. Diagrama de temperatura Mosquera 14
Figura 6. Localización general de la zona de estudio. 17
Figura 7. Localización de apique en la vía de estudio. 18
Figura 8. Fotografías de actividades de exploración y extracción de muestras. 19
Figura 9. Muestreo y procesos de secado en el laboratorio de muestras recuperadas y ejecución de ensayos de laboratorio. 21
Figura 10. Perfil estratigráfico aproximado encontrado para el Apique 1. 24
Figura 11. Localización de puntos de control estructura de pavimento asfáltico. 39
Figura 12. Pavimento flexible alternativa. 44
Figura 13. Función de dovelas en losas de concreto 47
Figura 14. Módulo de reacción efectico de la subrasante (k). 50
Figura 15. Ecuación Aashto 93 51
Figura 16. Estructura en pavimento rígido recomendado. 52
Figura 17. Estructura de pavimento rígido recomendado. 58
Figura 18. Tipos de juntas 61
Figura 19. Recomendaciones construcción de juntas. 61
Figura 20. Modelo estructura de pavimento rígido con ubicación de dovelas y barras de amarre 63
Figura 21. Ecuación Aashto 93 andenes 71
Figura 22. Estructura en pavimento rígido recomendado andenes. 72
Figura 23. Alternativa 1, estructura de pavimento flexible. 73
Figura 24. Alternativa 2, estructura de pavimento Rígido 74
Figura 25. Alternativa 3, estructura de pavimento Rígido andenes 75

LISTA DE TABLAS

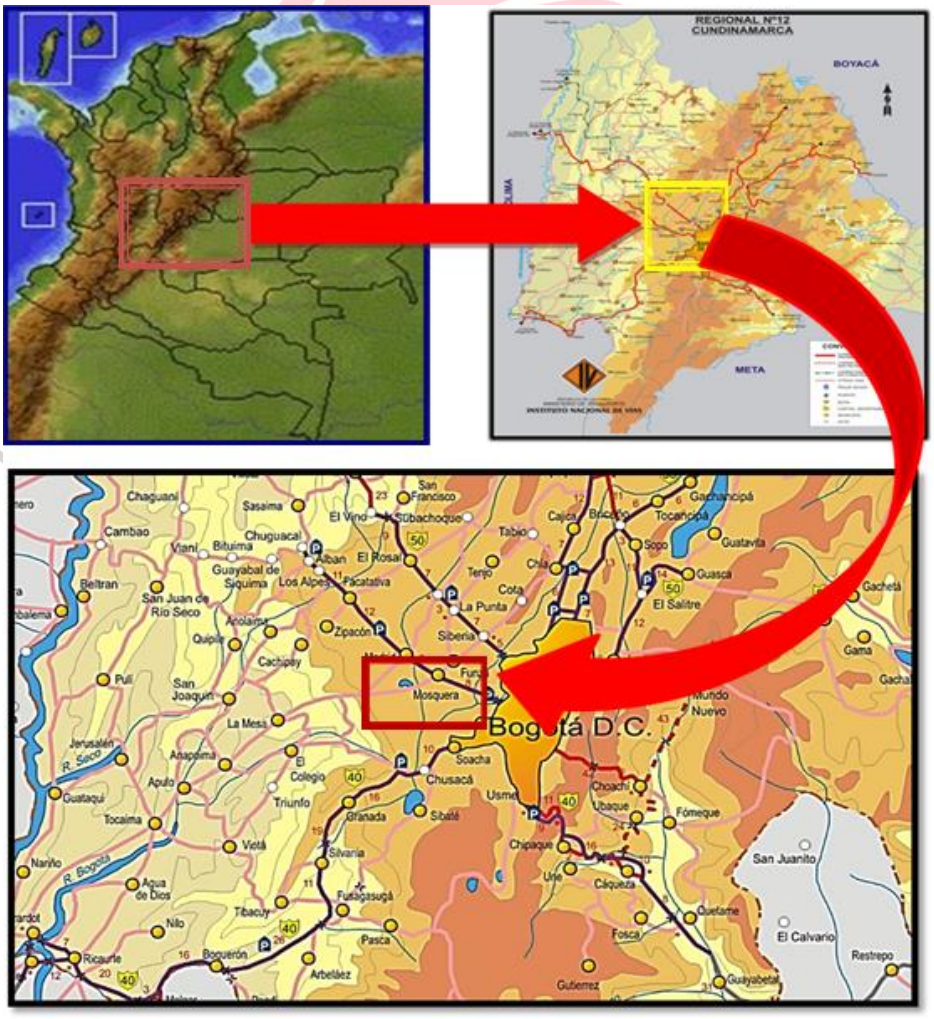
Tabla 1. Tabla climática // datos históricos del tiempo Municipio de Mosquera 15
Tabla 2. georreferenciación de las exploraciones realizadas. 22
Tabla 3. Resumen de resultados de ensayos de laboratorio. 24
Tabla 4. Correlaciones límites de consistencia vs potencial expansivo 25
Tabla 5. Potencial expansivo de la subrasante 25
Tabla 6. valores obtenidos método del CBR inalterado 26
Tabla 7. Clasificación de suelo de acuerdo con el CBR 27
Tabla 8. Periodo de diseño recomendado. 28
Tabla 9 Tasas promedio del crecimiento del tránsito 29
Tabla 10. Categorías de las vías 30
Tabla 11. Periodos de análisis recomendados 30
Tabla 12. Cálculo del TPD y composición vehicular 31
Tabla 13. Numero de ejes equivalentes en el carril de diseño en el periodo de diseño. 32
Tabla 14. Características de la subrasante 33
Tabla 15. Teorema de Ivanov. 34
Tabla 16. Características de la subrasante - Modulo resiliente (Mr) – módulo de reacción (k) de la Subrasante mejorada. 34
Tabla 17. Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes carreteras 35
Tabla 18. Valores de mi recomendada para modificar los coeficientes de las capas de base y Subbase granular. 36
Tabla 19.Espesores estructura de pavimento a proyectar alternativa 1 38
Tabla 20. Reporte programa Bisar 42
Tabla 21 Comparación de valores de servicio vs valores admisibles alternativa 1. 43
Tabla 22. Características de la subrasante - Modulo resiliente (Mr) – módulo de reacción (k) de la Subrasante mejorada 45
Tabla 23 Valores iniciales y de diseño 49
Tabla 24. Espesores de la estructura rígida metodología AASHTO 52
Tabla 25 Esfuerzos de tensión en la losa de concreto. 57
Tabla 26 Deflexiones en la losa de concreto 58
Tabla 27 Requisitos mínimos para las dovelas en las juntas. 59
Tabla 28 Recomendación para las barras de anclaje 60
Tabla 29 Periodos de diseño para estructuras de pavimento 64
Tabla 30. Criterios de diseño para áreas peatonales 65
Tabla 31. Características de la subrasante – Modulo resiliente (Mr) – módulo de reacción (k) de la Subrasante 66
Tabla 32 Valores iniciales y de diseño andenes 69
Tabla 33. Módulo de reacción efectico de la subrasante (k) andenes. 70
Tabla 34 Espesores de la estructura rígida metodología AASHTO andenes 72

1 DESCRIPCIÓN GENERAL.

1.1 LOCALIZACIÓN GENERAL

Mosquera está localizado a los 4°42′28″de latitud norte y 74°13′58″ de longitud oeste. Altura sobre el nivel del mar: 2516 m. Temperatura media: 13°C. Precipitación media anual 1524 mm/año.

Figura 1. Localización general del municipio de Mosquera dentro de la geografía nacional.



Fuente: Propia basada en INVIAS

Mosquera es uno de los 116 municipios del departamento de Cundinamarca, Colombia. Se encuentra ubicado en la Provincia de Sabana Occidente. El municipio está conurbado con Bogotá y con Funza. Forma parte del Área metropolitana de Bogotá, Está atravesado por la autopista Bogotá-Mosquera-Madrid-Facatativá de oriente a occidente.

1.2 *GEOGRAFÍA:*

Límites del municipio:

Por el norte con Funza
Por el sur con Soacha y la Localidad de Bosa
Por el oriente con las Localidades de Fontibón y Kennedy
Por el occidente con Bojacá y Madrid

Extensión total: 107 Km²
Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 2516 msnm
Temperatura media: 13 ºC
Distancia de referencia: 20 Km de distancia a Bogotá.

1.3 GEOLOGÍA REGIONAL

Para describir la estratigrafía del Departamento de Cundinamarca INGEOMINAS (2000) ha dividido el área departamental en cinco cuencas sedimentarias que de occidente a oriente se designan así:

- Cuenca Valle del Magdalena:

- Cuenca Vertiente Occidental de la Cordillera Oriental

- Cuenca Cordillera Oriental

- Bloque Paramos Occidentales

- Bloque Macizo de Sumapaz

- Bloque Altiplano Cundinamarqués

- Bloque Cordón Magistral

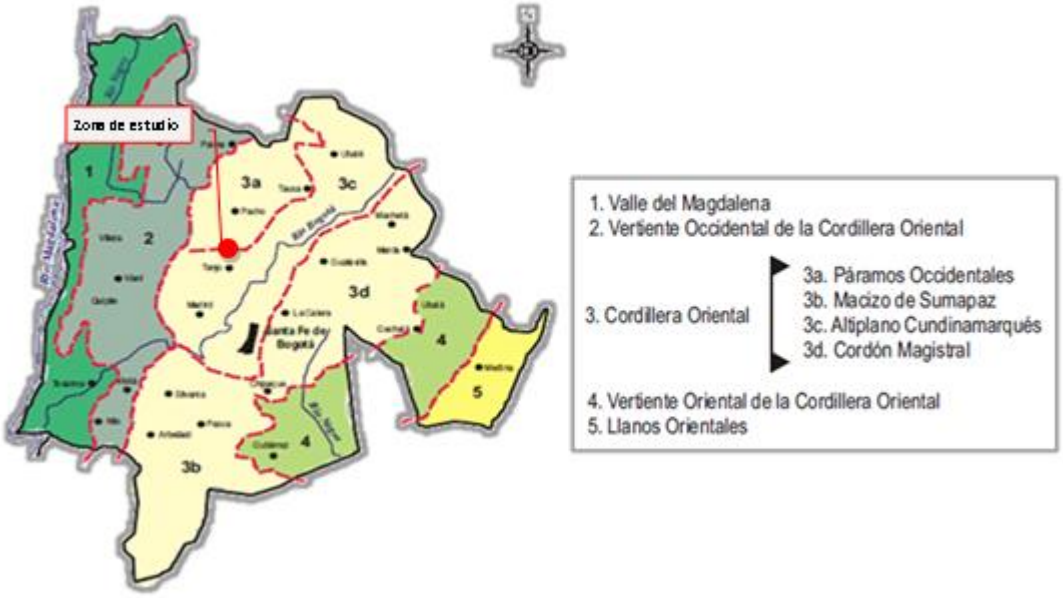
- Cuenca Vertiente Oriental de la Cordillera Oriental

- Cuenca Llanos Orientales

La zona de estudio se encuentra en la Cuenca de la cordillera Oriental dentro del Bloque del Altiplano Cundinamarqués, localizado en las sabanas de Ubaté y Bogotá. Morfológicamente las tres primeras subregiones son quebradas, con pendientes diversas, alturas de difícil acceso (entre 2.000 y 4.000 m.s.n.m.) y profundos cañones; la cuarta, es una zona amplia y plana, levemente ondulada, con alturas variables entre 2.500 y 2.800 m.s.n.m

En la siguiente figura se presenta la definición de cada uno de los bloques en los cuales se encuentra dividido el departamento de Cundinamarca de acuerdo con la información suministrada por el INGEOMINAS.

Figura 2. Definición de cada uno de los bloques estructurales de acuerdo con el INGEOMINAS.



Fuente: Propia basada en INGEOMINAS

1.3.1 Estratigrafía

El sitio de estudio se encuentra ubicado en la cordillera oriental en la sección 3d Cordón magistral el cual está ubicado al oriente de Bogotá, entre Chipaque y Machetá (Figura 2), y El Altiplano Cundinamarqués, localizado en las sábanas de Ubaté y Bogotá. Morfológicamente las tres primeras subregiones son quebradas, con pendientes diversas, alturas de difícil acceso (entre 2.000 y 4.000 m.s.n.m.) y profundos cañones; la cuarta, es una zona amplia y plana, levemente ondulada, con alturas variables entre 2.500 y 2.800 m.s.n.m.

El bloque sabana de Bogotá y anticlinorio de los farallones al cual pertenece el sitio de estudio se localiza entre la base del prominente escarpe que genera el Grupo Guadalupe al occidente de la Sabana de Bogotá, que coincide en la mayoría de los sitios con un sistema de fallas de cabalgamiento entre las que se encuentran las fallas de Fusa-Quininí-Supatá, y por la Falla de Santamaría - Tesalia al oriente.

El límite occidental de este bloque está marcado por fallas cabalgantes, del tipo fuera de secuencia, de muy bajo ángulo, y convergencia hacia el occidente, que en algunos sectores montan a la Formación Arenisca Dura, sobre rocas de las formaciones Conejo, La Frontera y Simijaca, lo cual sugiere que la base del Grupo Guadalupe ha actuado como un importante nivel de despegue.

En esta zona se presentan numerosas fallas inversas asociadas con pliegues anticlinales, algunas veces invertidos, frecuentemente fallados y separados por amplios y extensos sinclinales que constituyen las estructuras de mayor extensión (sinclinales de Fusagasugá, Usme, La Pradera - Subachoque, Rio Frío, Checua - Lenguazaque, Sisga, Guachetá - Cabrera y San Juan). Los pliegues anticlinales invertidos, pueden ser interpretados como producto del desplazamiento del bloque colgante en los sistemas de fallamiento inverso.

La convergencia de las fallas inversas es hacia el oeste en la parte occidental y hacia el este en la parte oriental, lo cual indica que esta zona axial constituye un bloque levantado, a partir de fallas inversas.

La zona oriental de este bloque, se puede dividir en dos regiones con características litológicas y estructurales diferentes:

La primera región está ubicada en el sector norte y central; se caracteriza por presentar rocas del Cretácico inferior, que forman amplios sinclinales y anticlinales como los de Río Blanco, Machetá y Sueva, los cuales generalmente se ven afectados por fallas inversas que tienen convergencia oriental; las principales son las de Machetá y Chorrera - Salinero. Algunos pliegues no tienen evidencia de fallamiento en superficie, aunque pueden ser generados por fallas ciegas o ser resultado de deformación sobre rampas en profundidad. En esta zona también se presentan fallas

con convergencia occidental, que son consideradas como retro cabalgamientos de las fallas principales.

La dirección general de las estructuras es N-S hacia el sur del departamento y cambia a N25E desde la parte central hacia el norte. La segunda región está ubicada en el sector suroriental del departamento y hace parte del Macizo de Quetame; en este sector afloran rocas metamórficas de bajo grado, de edad Cambro - Ordovícico, sobre las que descansan sedimentitas del Ordovícico medio, en discordancia angular. Estas rocas se encuentran afectadas por fallas en dirección SE - NW, SW – NE y E - W.

El Departamento de Cundinamarca se dividió en los siguientes bloques:

- Valle Medio del Magdalena – Guaduas.
- Anticlinorio de Villeta,
- Sabana de Bogotá - Anticlinorio de los Farallones.
- Piedemonte.

A continuación, se hace una descripción de las diferentes formaciones y depósitos geológicos encontrados en el área aferente al sitio de estudio.

- **Formación Guaduas (Kpgg)**

El nombre fue introducido por Hettner (1892), para representar una secuencia estratigráfica que aflora al oriente de la población de Guaduas. Hubach (1957), restringe el término para referirlo a la Unidad de lodolitas y arenitas comprendidas entre el Grupo Guadalupe y la Formación Cacho.

La unidad está conformada, en general, de arcillolitas laminadas a no laminadas, grises claras y abigarradas, con intercalaciones de cuarzo arenitas grises, de grano medio a fino y algunas capas de carbón. Restos de hojas y fragmentos pequeños, de material vegetal carbonizados, son comunes a lo largo de la secuencia. El límite inferior de la unidad se ubicó en techo de la capa más alta de arenitas de cuarzo, la cual infrayace a una secuencia monótona de lodolitas; el contacto superior se trazó en el techo de la capa más alta de lodolitas la cual infrayace a una secuencia de arenitas subfeldespáticas y sublitoarenitas. El espesor estimado para la unidad, en cortes geológicos, es de 700m.

La unidad cambia de facies en el Sinclinal de Usme, se torna más arenosa y desaparecen los mantos de carbón que la caracterizan. Van del Hammen (1957a), le asigna una edad Maastrichtiano-Paleoceno, con base en palinología. Martínez (1990), describe foraminíferos típicos de Maastrichtiano. Ambientes de depósito de una costa

clástica, con subambientes de llanura deltáica fluvial, llanura de marea, albufera y barra paralela, fueron propuestos para la unidad por Sarmiento (1992).

- **Formación Conejo (Kscn)**

Cáceres y Etayo (1969), en el sur del departamento denominan informalmente como "Lodolitas Grises Indenominadas", a una secuencia de lodolitas con algunos bancos de arenisca hacia el tope, que infrayace al Grupo Guadalupe de Renzoni (1962, 1968). Ulloa y Rodríguez (1991), denominan informalmente como Formación Conejo, a la unidad que tiene la misma posición estratigráfica en el área de Ubaté y Chiquinquirá. Por esta razón, se utiliza ese mismo nombre y rango. Conforma amplios valles de relieves suaves y consta, de base a techo de una sucesión de arcillolitas y lodolitas laminadas, a veces calcáreas, con intercalaciones de arcillolitas no calcáreas en capas delgadas a medias, limolitas de cuarzo y cuarzoarenitas de grano fino a medio, especialmente hacia el tope de la unidad. El contacto inferior se ubicó en el techo de una limolita de cuarzo de la Formación La Frontera, mientras que el superior se marcó en la base de la capa más baja de arenita de cuarzo de la Formación Arenisca Dura. El espesor estimado, con cortes geológicos, es de 400 m.

- **Formación Simijaca (Kss)**

Cáceres y Etayo (1969), en la parte sur del departamento, la denominaron informalmente como "Lodolitas Indenominadas"; sin embargo, Ulloa y Rodríguez (1991), asignan informalmente el nombre de Formación Simijaca, para designar a una sucesión de lodolitas y limolitas de color gris oscuro, que se presenta bajo la Formación La Frontera, aflorante en la Quebrada de Don Lope al sur de la población de Simijaca. Por su posición estratigráfica, al estar ubicada debajo la Formación La Frontera y por representar la continuación del tren estructural desde el área de Chiquinquirá, podemos decir que es la misma unidad.

Consta principalmente de arcillolitas laminadas, de color negro a gris oscuro. Su contacto inferior está marcado en el techo de una limolita silícea de la Formación Hiló, en la parte sur y en el techo de una capa de arenita de cuarzo de las Limolitas de Pacho y de la Arenisca de Chiquinquirá. El contacto superior se colocó en el techo de una capa de limolita de cuarzo a cuarzoarenita de grano medio, con laminación ondulosa, paralela a no paralela, bioturbada con moldes de bivalvos, que infrayace a una secuencia de limolitas calcáreas y liditas de la Formación La Frontera. El espesor estimado, con cortes geológicos, es de 550 m.

- **Grupo Guadalupe (Ksg)**

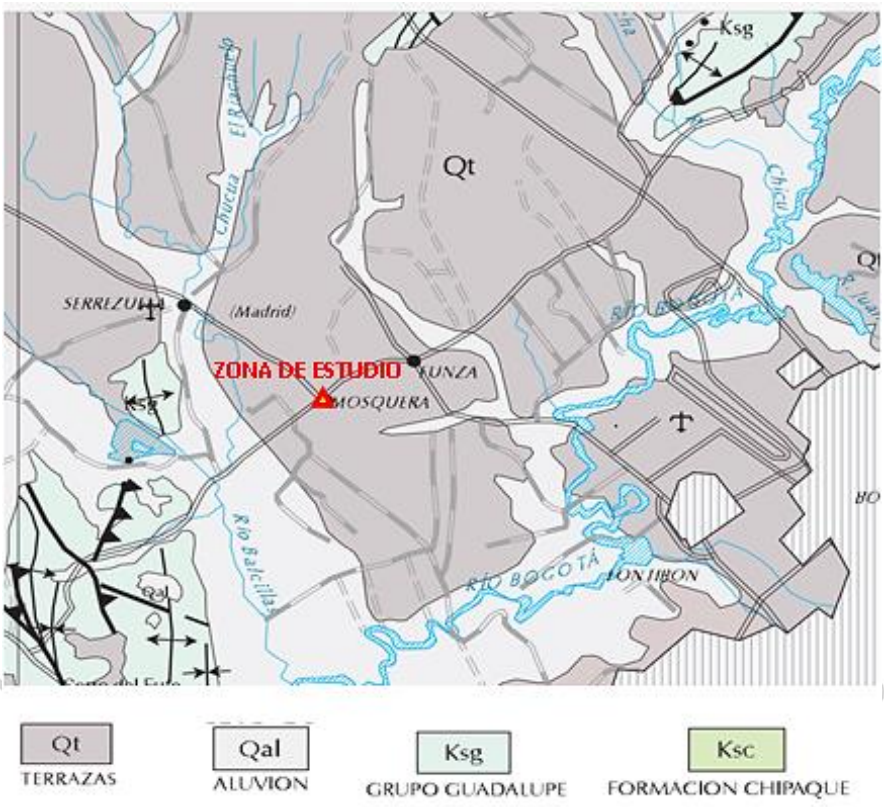
El nombre Guadalupe fue empleado inicialmente por Hettner (1892), quien asignó el rango de Piso del Guadalupe, a las areniscas de la parte alta del Cretácico de Bogotá. Hubach (1931), fija el límite del Guadalupe - Villeta, ubicándolo por encima de un nivel de caliza fosilífera llamado nivel de Exogira mermeti o Conjunto de Chipaque, el cual se observa a lo largo de la carretera Chipaque - Cáqueza. Este mismo autor, divide la unidad en un conjunto inferior arcilloso y uno superior arenoso; posteriormente, eleva el Guadalupe a la categoría de Grupo y a cada conjunto al rango de Formación, denominándolos Guadalupe inferior y Guadalupe superior, además subdivide la Formación superior en tres miembros llamados de base a tope: Arenisca Dura, Plaeners y Areniscas de Labor y Tierna.

Renzoni (1962, 1968), redefine esta unidad estratigráfica, elevando la Formación Guadalupe Superior al rango de Grupo y coloca la base sobre la última ocurrencia de lodolitas negras de la Formación Chipaque y su tope en la primera ocurrencia de las arcillolitas de la Formación Guaduas; además, divide el Grupo Guadalupe en tres formaciones denominadas Arenisca Dura, Plaeners, Labor y Tierna, proponiendo como sección de referencia, la secuencia que aflora a lo largo del carreteable Choachí - Bogotá, entre la Quebrada Raizal y la hoya de la Quebrada Rajadero.

El Grupo Guadalupe presenta muchas variaciones litológicas a lo largo del departamento: desde el sur de La Aguadita hasta el Páramo de Sumapaz, se presenta como un solo paquete monótono de Areniscas; al occidente de Silvania, a lo largo de las Cuchillas de Peñas Blancas y Agua de Dios, se desarrollan dos niveles de limolitas silíceas, liditas y cherts, uno hacia la parte media y otro hacia la base, intercalados con dos unidades de areniscas (que podrían corresponder ya al Grupo Olini). Hacia el norte del departamento, en cercanías de los municipios de Sutatausa y Cucunubá, la Formación Arenisca Dura cambia facialmente a varios niveles de liditas y chert, mientras que la Formación Plaeners, se torna en una secuencia de lodolitas, que han sido denominadas informalmente como Formación Los Pinos, en esta área y en el Departamento de Boyacá.

En la figura 3 se presenta un mapa geológico de la zona de estudio en donde se puede apreciar las diversas formaciones y depósitos geológicos tanto local como regionalmente encontrados en el área aferente al sitio de estudio.

Figura 3. Características geológicas encontradas tanto local como regionalmente en el sitio de estudio.

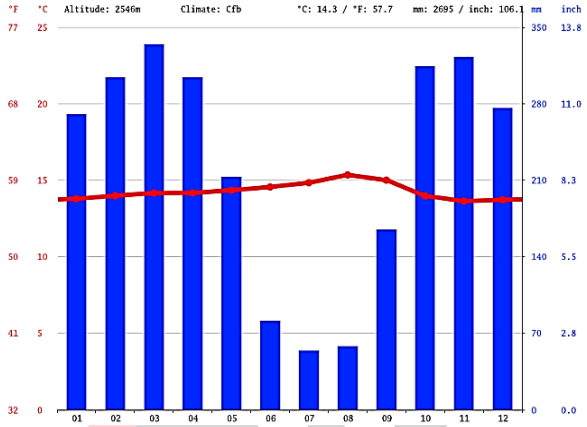


Fuente: Propia basada en INGEOMINAS

1.4 *PRECIPITACIÓN Y CLIMA*

El clima en Mosquera es cálido y templado. Hay precipitaciones durante todo el año en Funza. Hasta el mes más seco aún tiene mucha lluvia. La clasificación del clima de Köppen-Geiger es Cfb. La temperatura promedio en Mosquera es 14.3 °C. La precipitación aproximada es de 2695 mm.

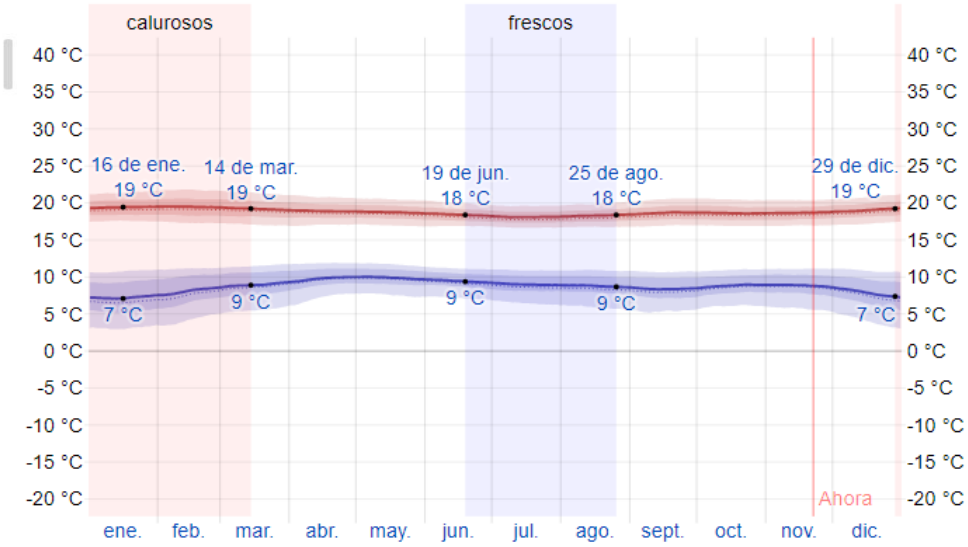
Figura 4. Climograma Mosquera



Fuente: https://es.climate-data.org

El mes más seco es julio, con 54 mm de lluvia. 334 mm, mientras que la caída media en marzo. El mes en el que tiene las mayores precipitaciones del año.

Figura 5. Diagrama de temperatura Mosquera



Fuente: https://es.climate-data.org

agosto es el mes más cálido del año. La temperatura en agosto promedios 15.3 °C. El mes más frío del año es de 13.6 °C en el medio de noviembre.

Tabla 1. Tabla climática // datos históricos del tiempo Municipio de Mosquera

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	13.8	14	14.2	14.2	14.3	14.6	14.8	15.3	15	14	13.6	13.7
Temperatura min. (°C)	10.7	11	11.4	11.6	11.8	11.8	11.8	11.9	11.4	10.9	10.7	10.7
Temperatura máx. (°C)	18.5	18.8	18.7	18.3	18.3	18.7	19.5	20.6	20.3	18.8	18	18.2
Precipitación (mm)	270	304	334	304	213	81	54	58	165	314	322	276
Humedad(%)	81%	82%	83%	84%	81%	72%	66%	61%	68%	82%	86%	84%
Días lluviosos (días)	19	18	20	19	16	9	7	7	14	20	20	19
Horas de sol (horas)	6.3	5.9	6.2	6.6	7.6	8.8	9.1	9.3	8.8	6.5	5.4	6.1

Fuente: https://es.climate-data.org

Hay una diferencia de 280 mm de precipitación entre los meses más secos y los más húmedos. Las temperaturas medias varían durante el año en un 1.7 °C.

El mes con mayor humedad relativa es noviembre (86.44 %). El mes con menor humedad relativa es agosto (61.25 %).

El mes con el mayor número de días lluviosos es noviembre (26.50 días). El mes con el número más bajo es agosto (9.10 días).

INGEOTEC N&L S.A.S.

2. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

2.1 *TIPO DE OBRA*

En el sitio donde se llevó a cabo la exploración se proyecta ESTUDIOS DE SUELOS Y DISEÑOS DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS DE LAS VÍAS Y ESPACIO PÚBLICO PARA LA CALLE 14 ENTRE CARRERAS 2 Y 4 PORVENIR RIO DEL MUNICIPIO DE MOSQUERA, CUNDINAMARCA.

El sector corresponde a suelos típicos los cuales están formados por arena arcillosa y limos de baja a moderada plasticidad y baja expansión, la topografía del sector se caracteriza por ser plana.

2.2 *OBJETIVO Y ALCANCE DEL ESTUDIO*

El objetivo del presente estudio es realizar la exploración, el estudio geotécnico del suelo de subrasante para el proyecto ESTUDIOS DE SUELOS Y DISEÑOS DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS DE LAS VÍAS Y ESPACIO PÚBLICO: TRAMO CALLE 14 ENTRE CARRERAS 2 Y 4 BARRIO PORVENIR RIO DEL MUNICIPIO DE MOSQUERA, CUNDINAMARCA.

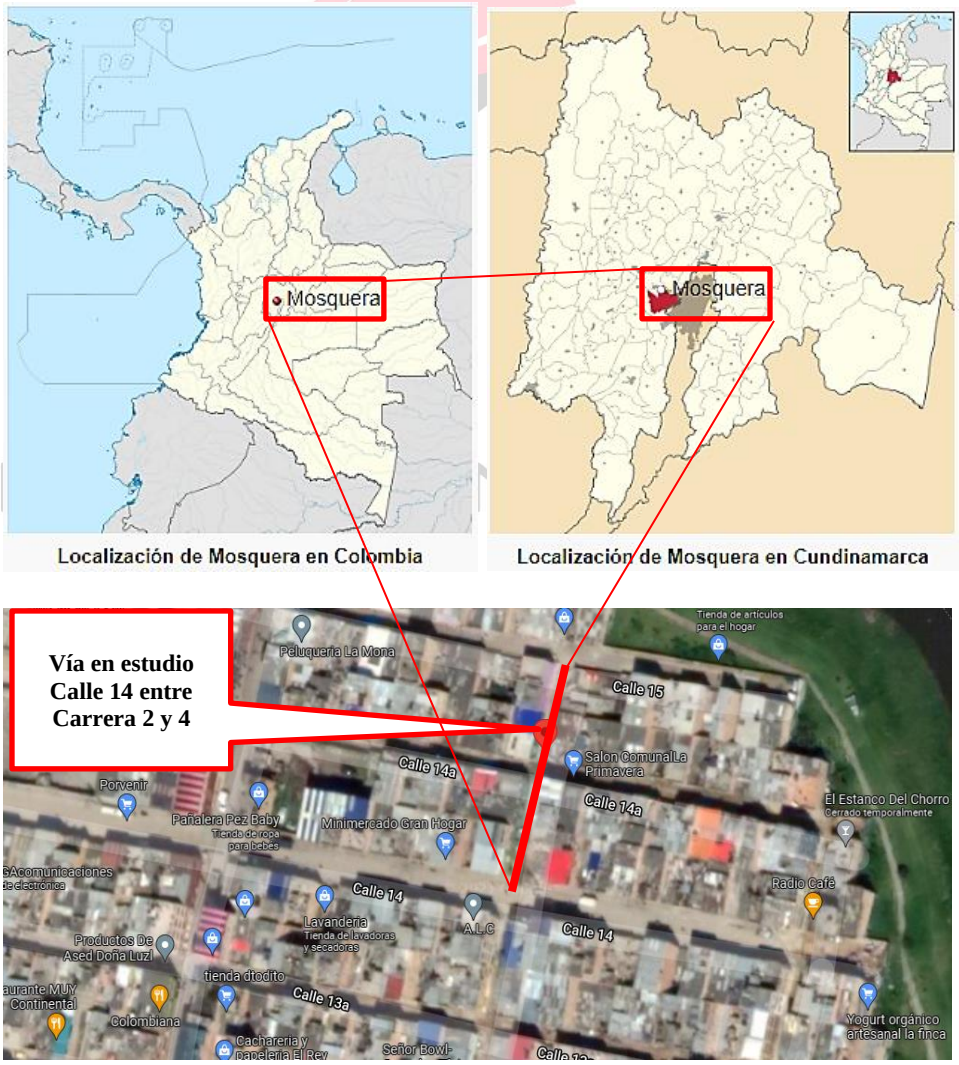
Con base en los resultados del estudio geotécnico, en los resultados de las condiciones climáticas, las condiciones de resistencia de los suelos de la subrasante.

Es importante anotar que los estudios complementarios necesarios para la evaluación como hidráulica, topografía, procesos constructivos no están dentro del alcance del presente estudio sin embargo se darán algunas observaciones.

2.3 *LOCALIZACION GENERAL DEL PROYECTO*

El sitio de estudio se localiza en la calle 14 con carrera 3 Barrio Porvenir Rio en el municipio de Mosquera, ubicado en el departamento de Cundinamarca. En la siguiente figura se muestra la localización del proyecto.

Figura 6. Localización general de la zona de estudio.



Fuente: Propia basado en Google Maps y Google Earth

Figura 7. Localización de apique en la vía de estudio.



Fuente: Propia basado en Google Maps y Google Earth

2.4 *METODOLOGÍA DE ESTUDIO:*

Las actividades contemplan la exploración del subsuelo por medio de un (1) apique de 1.50 metros de profundidad. Del apique se extrajeron muestras representativas alteradas para determinar el contenido de humedad y para clasificación de los diferentes estratos encontrados, se desarrolló la extracción de muestras inalteradas para determinar el CBR y se realizaron pruebas en campo mediante PDC.

En las siguientes fotografías se pude observar el proceso de exploración.

Figura 8. Fotografías de actividades de exploración y extracción de muestras.



Fuente: Propia

2.5 *CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA*

El trabajo se llevó a cabo el día 24 de noviembre de 2021; las condiciones climatológicas fueron mayormente tiempo seco la temperatura promedio 14°C.

Por el tipo de proyecto a desarrollar en el sitio, se realiza apique en el área que se encuentra destinada para cada una de las estructuras del pavimento a construir. Para establecer la secuencia estratigráfica local y caracterizar cada uno de los materiales reportados para que una vez se establezcan las condiciones de estos, con ello, se determina la capacidad de soporte de la subrasante, ante las condiciones existentes para identificar si el suelo presente en el sitio, se encuentra en la capacidad de soportar las cargas del tránsito que se van a aplicar.

Teniendo en cuenta esta condición, se describe el perfil estratigráfico obtenido, las características físicas de cada uno de los estratos y la valoración de la capacidad de soporte de la subrasante, en términos de CBR y de ensayos de PDC. En esta etapa se identificarán las falencias de los estratos y la necesidad o no de proponer mejoramientos en la estructura existente.

A continuación, se describen en forma específica, los ensayos realizados en el presente estudio, los cuales se describen a continuación.

2.6 *ENSAYOS REALIZADOS*

La determinación de las características del subsuelo, incluye los siguientes ensayos:

- ✓ Contenido de agua (Humedad) INV – E 122.
- ✓ Peso unitario total y seco (ASTEM D4943)
- ✓ Lavado por el tamiz 200 INV – E 214
- ✓ Análisis Granulométrico por tamizado INV – E 123
- ✓ Determinación del Límite Líquido INV – E 125.
- ✓ Determinación del Límite Plástico e Índice de Plasticidad INV – E 126.
- ✓ Relación de soporte del suelo mediante la prueba de CBR inalterado.
- ✓ Relación de soporte del suelo mediante la prueba PDC.

Todos los ensayos se realizaron bajo las especificaciones contempladas en las normas INVIAS, ASTM Y NTC.

Figura 9. Muestreo y procesos de secado en el laboratorio de muestras recuperadas y ejecución de ensayos de laboratorio.



Fuente. Propia

La totalidad de las muestras obtenidas fueron identificadas en campo y laboratorio y sobre un número representativo de ellas se efectuaron los diferentes ensayos.

2.7 *LOCALIZACION DEL APIQUE*

El lugar en estudio se encuentra localizado en la calle 14A No. 3-03 Barrio Porvenir Rio.
En la siguiente tabla se muestra la ubicación y georreferenciación de las exploraciones realizadas.

Tabla 2. georreferenciación de las exploraciones realizadas.

SECTORIZACIÓN PERFORACIONES			
PERFORACIÓN N°	LOCALIZACION	COORDENADAS	
		NORTE	ESTE
APIQUE 1	CALLE 14 3-03	4°41'34.9"	74°10'20.4"

Fuente. Propia

INGEOTEC N&L S.A.S.

3. CARACTERÍSTICAS DEL SUBSUELO

3.1 *CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA Y COMPORTAMIENTOS ESPERADOS*

De acuerdo a los resultados de los ensayos realizados en las actividades de campo y laboratorio, se realiza en primera instancia una identificación de las capas existentes y sus espesores, sobre cada una de estas se adelanta una caracterización de los materiales que las conforman y de esta manera que se puedan establecer las propiedades básicas, índice y mecánicas e hidráulicas para los diferentes estratos encontrados en el subsuelo a ser intervenido con el desarrollo del proyecto; de acuerdo a estas propiedades y la secuencia estratigráfica evaluar el comportamiento de estos materiales ante los usos ya establecidos para los mismos, como son los de suelo de fundación de un terraplén y de esta manera establecer los parámetros geotécnicos representativos para cada estrato, necesarios en los análisis de capacidad portante y deformaciones y de estabilidad con el desarrollo del proyecto.

Este proceso parte de la evaluación de las propiedades básicas e índice halladas para cada uno de los materiales reportados en el desarrollo de la exploración para cada uno de los estratos, información obtenida de los resultados de los ensayos realizados en campo y sobre las muestras seleccionadas para el desarrollo de los ensayos establecidos tanto en el laboratorio como en campo, lo cual permite se establezca la configuración en perfil y en tres dimensiones de los materiales presentes en el sitio, asignando a cada uno de estos materiales su distribución espacial en el sitio, con los valores de sus propiedades entre ellas las propiedades esfuerzo deformación, de resistencia y propiedades hidráulicas de acuerdo a las condiciones observadas y propuestas en los ensayos realizados sobre muestras inalteradas.

Con la caracterización de cada uno de los materiales se adelanta la construcción de los modelos topográficos, geológicos y geotécnicos que son la base para adelantar los análisis.

3.2 *PERFIL ESTRATIGRÁFICO*

A continuación, se hace una descripción del perfil estratigráfico aproximado para el apique realizado, los cuales se trazaron con base en las condiciones geológicas encontradas y los resultados a los ensayos realizados tanto en el campo como en el laboratorio.

APIQUE 1

Figura 10. Perfil estratigráfico aproximado encontrado para el Apique 1.

PERFIL TÍPICO

APIQUE N° 1

Descripción del suelo	*PERFIL*	*Prof*	*Clasificación*					*Perfil de Resistencia*				
		(m)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	PasaNo. 200 (%)	Densidad (g/cm3)	Expansión (%)	PDC CBR%	*C.B.R. No Sumergido (%)*	*C.B.R. Sumergido (%)*
(0,00-0,40) Material antropico compuesto por escombros de construcción de compacidad compacta con potencial de expansión bajo y moderado contenido de humedad.	 *RELLENO ANTRÓPICO*	0,00										
		0,10										
		0,20										
		0,30	11,19									
		0,40										
(0,40-1.10) Material compuesto de Arena arcillosa con grava de baja plasticidad. De color gris con betas negras. de humedad baja, de compacidad compacta, de potencial expansivo bajo.	*SUCS SC AASHTO A-2-4 (0)*	0,45										
		0,50										
		0,60	13,73									
		0,65										
		0,70		25,96	17,71	8,25	31,20					
		0,80										
		0,90	14,68									
		1,00										
		1,10	28,56									
(1,10-1.50) Material compuesto por Limo de moderada plasticidad. color gris oscuro. de humedad alta, de consistencia blanda, de potencial expansivo bajo.	NIVEL FREÁTICO	1,20						1,77	0,50	6,9%	1,5%	0,4%
	SUCS ML AASHTO A-7-6 (24)	1,35		49,97	29,42	20,54	96,96					
		1,40										
		1,50	29,60									

Observaciones : ***Presenta nivel freático a N-1,20m.***

Fuente. Propia

3.3 *RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO*

Tabla 3. Resumen de resultados de ensayos de laboratorio.

APIQUE	*LOCALIZACION*	*PROFUNDIDAD*	*USCS*	*LL (%)*	*LP (%)*	*IP (%)*	*PASA 200 (%)*	*Wn (%)*	*CBR NO SUMERGIDO (%)*	*CBR SUMERGIDO (%)*
1	CALLE 14 3-03	0,40-1,10	SC	25.96	17.71	8.25	31.20	18.99		
		1,10-1,50	ML	49.97	29.42	20.54	96.96	29.60	1.50	0.40

Fuente. Propia

4. ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 *Subrasante*

Se puede concluir, que las capas intermedias del suelo existente, se componen fundamentalmente por arenas arcillosas y limos de baja a moderada plasticidad y de baja expansión (SC, ML); los espesores de estos materiales varían entre los 0.00 y los 1.50 m.

4.1.1 *Calificación Del Potencial De Expansión Del Suelo De La Subrasante*

Según la metodología propuesta por Holtz y Gibbs2, la cual es recomendada por INVIAS, el potencial expansivo de la subrasante puede ser estimado en función de los límites de consistencia de los suelos bajo el siguiente criterio:

Tabla 4. Correlaciones límites de consistencia vs potencial expansivo

LL (%)	IP (%)	Clasificación del hinchamiento potencial
> 60	> 35	Alto
50 - 60	25 - 35	Marginal
50 <	< 25	Bajo

Fuente: Manual De Diseño De Pavimentos Asfálticos Para Vías Con Bajos Volúmenes De Tránsito – 2007

Tabla 5. Potencial expansivo de la subrasante

APIQUE	LOCALIZACION	PROFUNDIDAD	USCS	LL(%)	LP (%)	IP (%)	*PASA 200 (%)*	PONTENCIAL EXPANSIVO
1	CALLE 14 3-03	0,40-1,10	SC	25.96	17.71	8.25	31.20	BAJO
		1,10-1,50	ML	49.97	29.42	20.54	96.96	BAJO

Fuente. Propia

Con base a esta clasificación se observa que los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a las muestras recuperadas del suelo, están en el rango de potencial de expansibilidad bajo; los valores de límite líquido se encuentran entre 25.96% y 49.97% el índice de plasticidad alcanza un valor de 20.54%.

En general, se tiene que para el suelo de subrasante el potencial expansivo es bajo por lo cual es favorable para el tipo de obra planteada.

4.2 *NIVEL FREÁTICO*

Durante las operaciones de exploración subsuperficial se detectó la presencia de nivel freático a N-1.20m, lo cual, si no se maneja de manera adecuada mediante obras de drenaje podría ocasionar la saturación de estos suelos, reduciendo la capacidad de soporte y la compactación de la subrasante.

4.3 *RESISTENCIA DEL MATERIAL DEL SUELO DE FUNDACIÓN*

Una de las variables más influyentes es la resistencia del suelo de subrasante en nuestro medio por factores económicos es habitual el empleo del ensayo del CBR para determinar dicha resistencia, en el presente estudio se adoptó el método del CBR inalterado, por lo cual, se clasifican así:

Tabla 6. valores obtenidos método del CBR inalterado

APIQUE Nº	Profundidad (m)	USCS	CBR %		
			No sumergido	Sumergido	CBR CON PDC %
1	0,40-1,10	SC			
	1,10-1,50	ML	1,5	0,4	6,9

Fuente. Propia

El suelo se puede clasificar de acuerdo con el CBR, tal como se indica en la tabla.

Tabla 7. Clasificación de suelo de acuerdo con el CBR

CBR%	CLASIFICACIÓN GENERAL	USOS
0 - 3	Muy Pobre	Subrasante
3 - 7	Pobre a Regular	Subrasante
7 - 20	Regular	Subbase
20 - 50	Bueno	Subbase y Base
>50	Excelente	Base

Fuente: Manual De Diseño De Pavimentos Asfálticos Para Vías Con Bajos Volúmenes De Tránsito – 2007

De acuerdo a la tabla anterior los suelos que componen la subrasante, se pueden clasificar como **Muy Pobre en condiciones saturadas** al material de 1.10 a 1.50 m **(ML)** lo que indica escenarios desfavorables, por lo cual se requiere realizar algún tipo de Mejoramiento a la subrasante.

INGEOTEC N&L S.A.S.

5. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

5.1 METODOLOGÍA ADOPTADA

Este capítulo contiene el análisis y diseño de la estructura del pavimento realizado con base en los resultados del estudio geotécnico, en los resultados de las condiciones climáticas, las condiciones de resistencia de los suelos de la subrasante, las solicitaciones de tránsito y las características de los materiales definidos para cada una de las capas, y que sea capaz de soportar el tránsito con un buen nivel de confianza para el periodo de diseño, en las condiciones ambientales dadas y un aceptable nivel de servicio, sin importantes fallas estructurales.
Se emplean las siguientes metodologías para el desarrollo de cada una de las estructuras a proyectar:

- Pavimento flexible: Aashto 93 para diseño de pavimentos flexibles.

La estructura del pavimento que se determina, tiene como fin soportar las cargas y disipar esfuerzos a través de las diferentes capas que la componen y el suelo natural no se vea afectado por dichas cargas, de esta forma se obtendrá un pavimento que brinde y garantice el nivel de servicio para el cual es diseñado, brindando seguridad, confiabilidad y confort a los usuarios que por allí transitan.

5.2 *PARÁMETROS DE ENTRADA*

5.2.1 *TRANSITO:*

Numero de ejes equivalentes en el periodo de diseño en el carril de diseño de acuerdo al estudio de transito corresponde a:

Tabla 8. Periodo de diseño recomendado.

TIPO DE PAVIMENTO	PERIODO DE DISEÑO RECOMENDADO
FLEXIBLE	10 AÑOS
RÍGIDO	20 AÑOS

Fuente. Propia

6. PROYECCIÓN DEL TRÁNSITO DE DISEÑO

El tránsito es uno de los parámetros fundamentales para el diseño del pavimento, motivo por el cual se debe conocer el tránsito actual y el proyectado en el periodo de diseño, permitiendo determinar los espesores de las capas que conforman la estructura del pavimento.

Una vez obtenida la situación actual para cada estación representativa de los sectores escogidos, se inicia la proyección del tránsito con base en los factores de crecimiento previamente analizados.

Para el caso del diseño de pavimento, dentro del procesamiento de datos relacionados con el tránsito, es necesario tomar en cuenta como principales factores que inciden en el diseño del pavimento, el número de ejes equivalentes a 8,2 toneladas que se espera pasen por el carril de diseño durante el periodo de diseño.

Para el caso de diseño por el método de la "AASHTO ROAD TEST" es necesario convertir el tránsito proyectado en ejes equivalentes a 8,2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

7. EVALUACIÓN DE LA TASA ANUAL DE CRECIMIENTO DEL TRÁNSITO

El pavimento debe ser diseñado para soportar el tránsito inicial y el tránsito durante su vida de servicio. De esta manera es necesario conocer la tasa anual de crecimiento del tránsito, el cual es indispensable para efectuar proyecciones a mediano y largo plazo, necesarios para el estudio del pavimento, tanto en la etapa de diseño como de funcionamiento.

El INVÍAS presenta una tabla de tasa anual de crecimiento del tránsito, de acuerdo con el TPDS que presentan las vías.

Tabla 9 Tasas promedio del crecimiento del tránsito

TPDS	TASA DE CRECIMIENTO EN %	
	Total Vehículos	Vehículos Comerciales
< 500	6.0 – 6.5	5.5 – 6.0
500 – 1000	5.7 – 6.3	5.5 – 6.0
1000 – 2500	4.5 – 5.5	4.0 – 5.0
2500 – 5000	4.5 – 5.5	4.0 – 5.0
5000 – 10000	4.5 – 5.5	4.0 – 5.0
> 10000	4.0 – 6.0	3.0 – 5.0

Fuente: Tabla 3.8 Manual de diseño de pavimento asfálticos para vías con medios y altos volúmenes de tránsito del INVÍAS.

7.1 *PERIODO DE DISEÑO*

Según los tránsitos promedios diarios establecidos en el estudio de tránsito, y al ser una de las vías locales del municipio de Mosquera, la categoría de la vía es tipo III:

Tabla 10. Categorías de las vías

	I	II	III	ESPECIAL
Descripción	Autopistas Interurbanas, Caminos interurbanos Principales	Colectoras Interurbanas, Caminos rurales e industriales principales	Caminos rurales Con tránsito Mediano, caminos estratégicos	Pavimentos Especiales e Innovaciones
Importancia	Muy importante	Importante	Poco Importante	Importante
Tránsito Promedio diario	> 5000	1000 - 10000	< 1000	< 10000

Fuente: Tabla 2.1, Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito.

Tabla 11. Periodos de análisis recomendados

Categoría de la vía	Periodo de Análisis (P.A) Años		
	Rango	Período Recomendado	
		Geometría fija	Condiciones inciertas
I	20 - 40	30	-
II	15 - 30	30	25
III	10 - 30	30	20
Especiales	10 - 30	30	20 - 25

Fuente: Tabla 2.2, Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito.

Teniendo en cuenta el TPD actual de la vía, se clasifica como una vía categoría III, la metodología INVÍAS recomienda un periodo de diseño de 20 años, en todo caso se presentan los cálculos del tránsito de diseño para diferentes periodos de diseño, para que en el diseño de la estructura de pavimento se tenga la opción de escoger con qué valor realizar los cálculos comprendido en periodos de diseño de 10 a 20 años.

7.2 *Cálculo del TPD y composición vehicular*

En base al resultado de los aforos y a la metodología descrita en este estudio, se realiza el cálculo del tránsito promedio diario semanal TPDS y la composición vehicular.

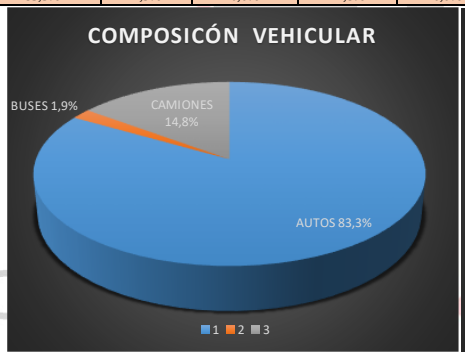
Tabla 12. Cálculo del TPD y composición vehicular

RESUMEN AFORO VEHICULAR									
DÍA	AUTOS	BUSES	BUS-METROP	C-2P	C-2G	C3 - C4	C5	>C5	TOTAL
DÍA NORMAL	89	0	0	13	0	0	0	0	102
DÍA PICO	98	14	0	32	0	1	0	0	145

CÁLCULO DEL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO Y COMPOSICIÓN VEHICULAR									
TIPO DE VEHÍCULO	AUTOS	BUSES	BUS-METROP	C-2P	C-2G	C3 - C4	C5	>C5	TOTAL
TPDs	90	2	0	16	0	0	0	0	108
COMPOSICIÓN	83,3%	1,9%	0,0%	14,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

COMPOSICÓN VEHICULAR
AUTOS 83,3%
BUSES 1,9%
CAMIONES 14,8%
COMERCIALES 16,7%

COMPOSICÓN CAMIONES	
C-2P:	100,0%
C-2G:	0,0%
C3 - C4:	0,0%
C5:	0,0%
>C5:	0,0%





Fuente: El estudio.

7.3 *TRÁNSITO*

La variable tránsito necesaria para determinar la estructura del pavimento, es el número de ejes equivalentes a 8,2 toneladas que circularán por el carril de diseño y que se esperan durante el periodo de diseño.

Tabla 13. Numero de ejes equivalentes en el carril de diseño en el periodo de diseño.

EJES EQUIVALENTES DE 8.2 TONELADAS Carril Diseño /Período Diseño		
No.	**Año**	**Tránsito $N_{80\ Kn}$**
5	2026	0,07×10^6
10	**2031**	**0,15×10^6**
15	2036	0,26×10^6
20	2041	0,41×10^6

Fuente. Propia

7.4 *CONDICIONES ATMOSFÉRICAS*

La temperatura y la precipitación, son variables que influyen de manera significativa en la durabilidad de los materiales que conforman las capas del pavimento y se definieron de acuerdo a la información disponible en el IDEAM.

Temperatura media ponderada anual (TMPA ºC) TMPA = 14 ºC

Precipitación media anual (mm) P(mm) = 900

7.5 *CARACTERÍSTICAS DE LA SUBRASANTE*

Reconociendo la precipitación y temperatura media para el proyecto, se define como criterio de diseño, el CBR en condición natural, siguiendo los lineamientos del Manual para pavimentos de medios y altos volúmenes vehiculares.

El valor adoptado para el CBR de diseño del proyecto es de 0.4%, y se presentan las características de la subrasante en la siguiente tabla:

Tabla 14. Características de la subrasante

	UD 1
CBR (%)	0,4
Mr (kg/cm²)	40
Mr (lb/pulg²)	600
Mr (N/m²)	4,00E+06
Mr (Mpa)	4
K (kg/cm³)	-1,80
K (lb/pulg³)	-64,87
K (Mpa/m)	-18,0

Fuente. Propia

7.6 *PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE*

Teniendo en cuenta que el CBR de diseño de la subrasante es menor al 3%, requiriendo labores de estabilización, y teniendo en cuenta la facilidad de encontrar agregados pétreos cercanos a la zona del proyecto, se proyecta la implementación de 60 cm de material mejoramiento de la subrasante, y podrán emplearse materiales granulares que se encuentren acorde con la normatividad existente, y que al compactarlos, se obtenga un valor mínimo de CBR del 10%. Se mencionan algunos de los materiales posibles a implementar para el mejoramiento de subrasante:

- Pedraplén

Se evalúa, por lo tanto, el aporte estructural al implementar un material de mejoramiento, que combine los CBR'S del material de subrasante y el mejoramiento. La formulación se realiza mediante el teorema de módulos equivalentes, propuesta por Ivanov:

$$h_1 = \frac{2a}{n} * \mathrm{Tan}\left[\frac{\left(1-\frac{E_{inferior}}{E_{equivalente}}\right)}{\frac{2}{\pi}*\left(1-\frac{1}{n^{3.5}}\right)}\right] \qquad n = \left(\frac{E_{superior}}{E_{inferior}}\right)^{1/2.5}$$

Donde:

a: radio de la huella en mm
$E_{inferior}$: módulo de la subrasante (kg/cm^2)
$E_{superior}$: módulo dl material de remplazo (kg/cm^2)
$E_{equivalente}$: módulo equivalente (kg/cm^2)
h_1: espesor del reemplazo en cm
n: relación de módulos.

Aplicando el teorema, se obtiene un valor de 3.42%, por lo tanto, el CBR de la Subrasante mejorado estimado, se trabajará para efectos del diseño de la estructura.

Tabla 15. Teorema de Ivanov.

ESTIMACIÓN MÓDULO EQUIVALENTE SUBRASANTE MEJORADA SEGÚN FORMULACIÓN DE IVANOV													
CBR		$E_{INFERIOR}$	$E_{SUPERIOR}$	n	$n^{3.5}$	h_1(cm)	h_1 / 2a	$\tan^{-1}(n*h_1/2a)$	$1-(1/n^{3.5})$	2/p	2/p*J*I	E_{equiv}	CBR
SUBRASANTE NATURAL	MATERIAL GRANULAR	kg/cm^2		3,17	56,55	60,00	1,97	(rad)	0,98	0,64	0,88	kg/cm^2	3,42
0,4	10,0	40	714					1,41				342	

Fuente. Propia

Los parámetros de la subrasante mejorada son:

Tabla 16. Características de la subrasante - Modulo resiliente (Mr) – módulo de reacción (k) de la Subrasante mejorada.

	UD 1
CBR (%)	3,42
Mr (kg/cm^2)	342
Mr (lb/pulg^2)	5130
Mr (N/m^2)	3,42E+07
Mr (Mpa)	34,2
K (kg/cm^3)	3,00
K (lb/pulg^3)	108,16
K (Mpa/m)	30,0

Fuente. Propia

8. MÉTODO AASHTO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

8.1 *NIVEL DE CONFIANZA:*

De acuerdo al tipo de vía que corresponde a una arteria principal se considera implementar un Zr mínimo del **80%,** de acuerdo a la clasificación de la AASHTO.

Tabla 17. Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes carreteras

Clasificación	Nivel de confiabilidad recomendado	
	Urbana	Rural
Autopistas	85 - 99,9	80 - 99,9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras de tránsito	80 - 95	75 - 95
Carreteras locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993. p II-9.

8.2 *ERROR NORMAL COMBINADO SO:*

Se tiene en cuenta en la desviación del diseño, de las variaciones de las propiedades de los materiales, la variación de las propiedades de la subrasante, la variación de la estimación del tránsito, las condiciones climáticas y ambientales, y la calidad de la construcción. Se recomienda un valor de **0.45**.

8.3 *NIVEL DE SERVICIABILIDAD Δ IPS:*

Se parte de un valor inicial de **4.2** y el valor donde ocurre la falla es 2.0, la pérdida de serviciabilidad es de **2.0.**

8.4 *NÚMERO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO SN:*

Se emplea la fórmula básica de la Aashto como se observa acontinuación:

$$Log(N_{8.2ton}) = Zr \times So + 9.36 \times Log(SNf + 1) - 0.20 + \left[\frac{Log\left(\frac{\Delta IPS}{4.2 - 1.5}\right)}{\left(0.40 + \left(\frac{1094}{(SNf + 1)^{5.19}}\right)\right)}\right] - 2.32 \times Log(Mr) - 8.07$$

Dónde:

$N_{8.2ton}$ = Número de ejes equivalentes de 8.2 ton cd/pd.

Zr = Desviación normal estándar

S_o = Error normal combinado de la previsión del tránsito y del comportamiento.

Δ IPS = Nivel de Serviciabilidad

Mr = Módulo resiliente de la subrasante, en p.s.i.

SNf = Número estructural futuro, pulgadas.

8.5 *Calidad del drenaje:*

De acuerdo con la calidad del drenaje y el tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel de humedad próximos a la saturación, se determina los valores de m_i para cada una de las capas de la estructura del pavimento:

Tabla 18. Valores de mi recomendada para modificar los coeficientes de las capas de base y Subbase granular.

Calidad de Drenaje	% de tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1 - 5%	5 - 25%	>25%
Excelente	1.4 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.2
Buena	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1	1
Aceptable	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1 - 0.80	0,8
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.8 - 0.60	0,6
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0,4

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.c., 1993. p II-5

- Base granular: 1.0
- Subbase granular: 0.8

8.6 *MÓDULOS DINÁMICOS Y COEFICIENTES ESTRUCTURALES (A) CAPAS DEL PAVIMENTO:*

✓ **CAPA ASFÁLTICA**:

Se estima que el módulo elástico del concreto asfáltico MDC-2 es 20394 Kg/cm^2, 290000 Psi, 2000 MPa.

= 0.0052 E $^{0.555}$, E módulo dinámico de la mezcla asfáltica, MPa. a_1= 0.0052*2000$^{0.555}$ = 0.35.

✓ **Base granular BG-1:**

Ésta capa como mínimo debe presentar un CBR 80%, de esta manera el módulo será de 1964 Kg/cm^2, 28000 psi, 192,6 MPa.

a_2 = 0.249 log (E_{bg}) -0.977, E_{bg} Módulo del material de base granular, lb/pul^2.

a_2 = 0.249 log (28000) -0.977 = 0.13

✓ **Sub-base Granular:**

Esta capa como mínimo debe presentar un CBR 30%, así el módulo será de 14991 psi, 1054 Kg/cm^2, 103.4 MPa.

a_3 = 0.227 log (E_{sbg}) - 0.839, E_{sbg} Módulo del material de subbase granular, lb/pul^2.

a_3 = 0.227 log (14991) - 0.839 = 0.11

✓ **Base estabilizada con emulsión Asfáltica:**

Se estima un módulo elástico de la base estabilizada de 160000 PSI, 1103 Mpa y una estabilidad Marshall de 2800 N.

a2=0.0074EM0.415, EM Estabilidad Marshall Newton (N)

a2=0.0074 (2800)0.415=0.20

8.7 *Determinación de espesores de la estructura del pavimento.*

Con la información de las variables anteriormente descritas, se procede a implementar la metodología de la Aastho para la determinación de espesores.

- ✓ El número estructural del tránsito.
- ✓ Espesores de las capas del pavimento.
- ✓ Número estructural del pavimento.

Tabla 19.Espesores estructura de pavimento a proyectar alternativa 1

PARÁMETRO		SÍMBOLO	VALOR
Tránsito de diseño		N_{80KN}	$0{,}15\times10^6$
Nivel de confiabilidad		R	80,00%
Nivel de serviciabilidad	Inicial	Po	4,2
	Final	Pt	2,0
Error normal combinado		So	0,45
Capacidad de soporte subrasante		CBR	3,4%

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR
Rango de tránsito acumulado	-	T1*
Desviación normal estándar	Zr	-0,841
Pérdida de serviciabilidad	ΔIPS	2,2
Módulo resiliente de la subrasante	Mr	5100 psi
Relación Poisson subrasante	μ	0,50
Número Estructural Tránsito	**SN_T**	**2,67**

**Manual para vías con bajos volúmenes de tránsito - INVIAS.*

CAPA	MÓDULO DE ELASTICIDAD E_i(psi)	RELACIÓN DE POISSON μ	COEFICIENTE ESTRUCTURAL a_i (/plg)	COEFICIENTE DE DRENAJE m_i	ESPESOR di (cm)	SN
Capa Asfáltica	290000	0,35	0,35	-	7	0,96
Base granular	28000	0,4	0,13	1,00	20	1,02
Subbase granular	15000	0,4	0,11	0,80	25	0,87
					SN Diseño	**2,85**

La estructura de pavimento propuesta satisface el Numero Estructural (SN) requerido por el tránsito.

Fuente. Propia

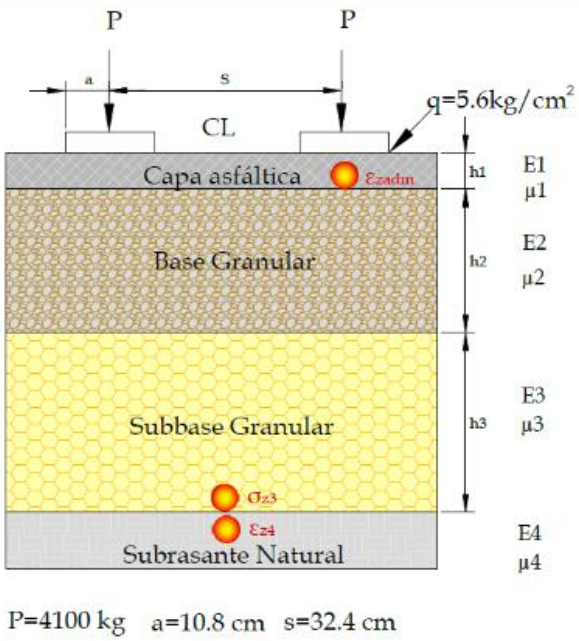
8.8 *ANÁLISIS ELÁSTICO MULTICAPA Y MODELACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS PLANTEADAS*

Una vez definida la estructura se deben establecer los valores de servicio y los valores admisibles para efectuar la modelación que permita evaluar la estructura, con el fin de validar y optimizar los espesores definidos anteriormente.

El cálculo se realiza a través de la teoría para medios elásticos estratificados, en donde el material se caracteriza por su módulo de elasticidad y por la relación de Poisson. Para la mezcla asfáltica, el módulo que se debe emplear es el dinámico, y para suelos y materiales granulares, el módulo resiliente.

Para el cálculo de esfuerzos, deformaciones y deflexiones en el pavimento flexible, se evalúan puntos críticos dentro de la estructura, que permitan evaluar el estado de funcionamiento dinámico. Dichos puntos son:

Figura 11. Localización de puntos de control estructura de pavimento asfáltico.



Fuente. Propia

Los valores de servicio se determinan con ecuaciones que se han probado y establecido y son las siguientes:

8.8.1 *DEFORMACIÓN RADIAL ADMISIBLE DE TRACCIÓN EN LA BASE DE LA CAPA ASFÁLTICA E_{RADM}.*

Para determinar la deformación que se producirá en la base de la capa asfáltica se emplea el criterio de fatiga de Shell:

$$\varepsilon_{radm}=(0.856Vb+1.08)E_1^{-0.36}(N/K)^{-0.20}$$

Porcentaje de asfalto Vb = 11%

Módulo elástico del asfalto E_1 = 2000 Mpa

Tránsito de diseño: Ndis. = ($0.15x\ 10^6$ ee 8.2 ton cd/pd)

K = coeficiente de Calage: 10

8.8.2 *Deformación vertical admisible por compresión sobre la subrasante* ε_{zadm} *criterio de la Shell*

Se basa en la confiabilidad del diseño, para este caso tomamos un 85% como nivel de confianza.

$$\varepsilon_{zadm} = 2.8\ E\text{-}02 * N^{0.25}\ (50\%\ \text{de confiabilidad})$$

$$\varepsilon_{zadm} = 2.1\ E\text{-}02 * N^{0.25}\ (85\%\ \text{de confiabilidad})$$

$$\varepsilon_{zadm} = 1.8\ E\text{-}02 * N^{0.25}\ (85\%\ \text{de confiabilidad})$$

Se manejará un nivel de confianza del 85%.

8.8.3 *ESFUERZO VERTICAL DE COMPRESIÓN ADMISIBLE SOBRE LA SUBRASANTE, Σ_{ZADM}.*

Se determina con base en los criterios de Dormon – Kerhoven y la CRR de Bélgica, se tomará el crítico para observar el comportamiento de la estructura:

Criterio de Dormon – Kerhoven.

$$\sigma z_{adm}=(0.007E_{sub}/1+0.7*\text{Log } N)$$

Criterio de la CRR de Bélgica.

$$\sigma z_{adm}=((0.9607\ CBR^{1,2})/(N^{0,229})\ )$$

Deflexión admisible del modelo estructural

Siguiendo la recomendación de Yang H. Huang tenemos:

$$\Delta_{adm}= 26.32202\ N^{-0.2438}$$

Posteriormente se determinan los valores de servicio para verificar racionalmente los espesores propuestos. Se emplea el programa Bisar 3.0 desarrollado

INGEOTEC N&L S.A.S.

Tabla 20. Reporte programa Bisar

BISAR 3.0 - Block Report

A14 MOSQUERA

System 1: A 14 PLANADAS

Structure

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
1	0,070	2,000E+03	0,35
2	0,200	1,930E+02	0,40
3	0,250	1,060E+02	0,40
4		3,420E+01	0,50

Loads

Load Number	Vertical Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
1	2,012E+01	5,490E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,080E-01	0,000E+00	-1,620E-01	0,000E+00
2	2,012E+01	5,490E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,080E-01	0,000E+00	1,620E-01	0,000E+00

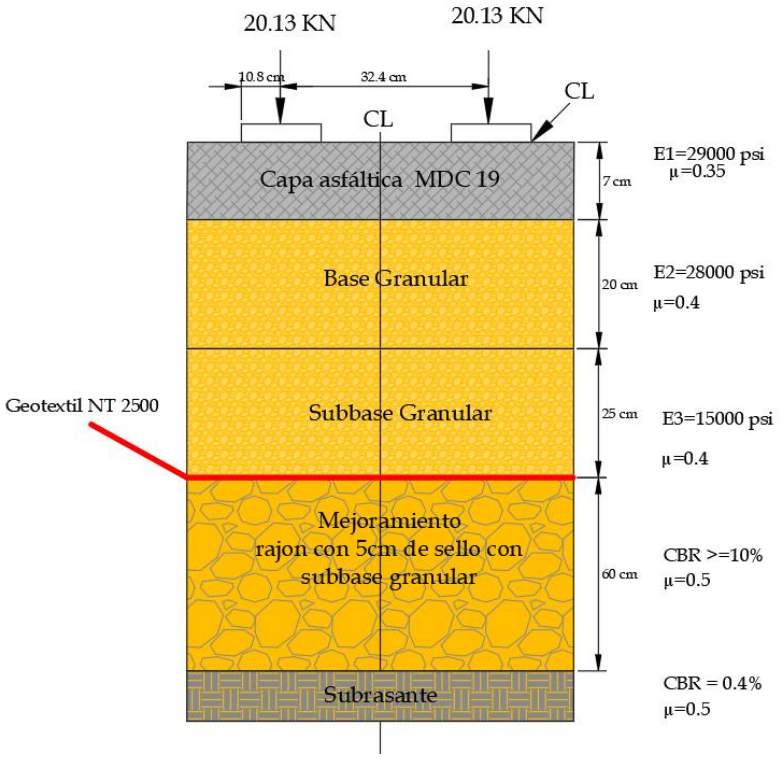
Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	Stresses ZZ (MPa)	Strains XX µstrain	Strains YY µstrain	Strains ZZ µstrain	Displacements UX (µm)	Displacements UY (µm)	Displacements UZ (µm)
1	1	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	-9,331E-01	-1,666E-01	0,000E+00	-4,374E+02	7,998E+01	1,925E+02	0,000E+00	0,000E+00	8,945E+02
2	1	0,000E+00	1,620E-01	7,000E-02	1,003E+00	8,471E-01	-2,739E-01	4,014E+02	2,959E+02	-4,608E+02	0,000E+00	1,039E+01	9,069E+02
3	3	0,000E+00	1,620E-01	5,200E-01	4,079E-02	3,474E-02	-2,348E-02	3,423E+02	2,624E+02	-5,065E+02	0,000E+00	4,677E+01	6,151E+02
4	4	0,000E+00	1,620E-01	5,200E-01	-1,889E-03	-3,710E-03	-2,348E-02	3,423E+02	2,624E+02	-6,047E+02	0,000E+00	4,677E+01	6,151E+02

Tabla 21 Comparación de valores de servicio vs valores admisibles alternativa 1.

CRITERIO	VALOR ADMISIBLE			VALOR DE SERVICIO	(VS/VA)*100%	% reserva	CUMPLE O NO CUMPLE
DEFORMACIÓN RADIAL ADMISIBLE POR TRACCIÓN EN LA BASE DE LA CARPETA ASFÁLTICA	εr Admisible=		6.62E-04	4.01E-04	60.66	39.34	CUMPLE
DEFORMACIÓN VERTICAL ADMISIBLE POR COMPRESIÓN SOBRE LA SUBRASANTE	εz Admisible (NC=85%)		1.07E-03	6.05E-04	56.67	43.33	CUMPLE
ESFUERZO VERTICAL ADMISIBLE DE COMPRESIÓN SOBRE LA	σz Admisible=	Criterio de DORMON-KERHOVEN,(Kg/cm^2)=	0.52	0.023	4.53	95.47	CUMPLE
		Criterio de CRR de BELGICA,(Kg/cm^2)=	0.274	0.023	8.56	91.44	CUMPLE
DEFLEXIÓN ADMISIBLE DEL MODELO ESTRUCTURAL	Δ Admisible, (mm)=		1.440	0.895	62.11	37.89	CUMPLE

Los espesores de la estructura planteada, cumple con todos los criterios de chequeo para el funcionamiento normal considerando el tránsito de diseño en el periodo proyectado y las condiciones de subrasante del subsuelo.

Figura 12. Pavimento flexible alternativa.



Fuente. Propia

9. MÉTODO AASHTO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

El diseño del pavimento rígido se realiza mediante el **MÉTODO AASHTO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS,** adicionalmente se realiza un análisis del tipo de juntas para el pavimento rígido. Por medio del método de Ivanov, se calcula el mejoramiento de la subrasante para un espesor de adición de 60 cm:

Tabla 22. Características de la subrasante - Modulo resiliente (Mr) – módulo de reacción (k) de la Subrasante mejorada

	UD 1
CBR (%)	3,42
Mr (kg/cm²)	342
Mr (lb/pulg²)	5130
Mr (N/m²)	3,42E+07
Mr (Mpa)	34,2
K (kg/cm³)	3,00
K (lb/pulg³)	108,16
K (Mpa/m)	30,0

9.1 *Método AASHTO para diseño de pavimentos rígidos:*

La metodología AASHTO considera la vida útil de un pavimento relacionada con el número de repeticiones de carga que podrá soportar el pavimento antes de llegar a las condiciones de servicio final predeterminadas para la vía. El método AASHTO utiliza en su formulación el número de repeticiones esperadas de carga de Ejes Equivalentes, es decir, transforma los Ejes de Pesos Normales de los vehículos que circularán por la vía, en Ejes Sencillos Equivalentes de 18 kips (8.2 Ton) también conocidos como ESAL's.

En este método se consideran los siguientes parámetros:

9.1.1 *VARIABLES DE DISEÑO:*

a. Periodo de diseño: Se desarrolla el diseño del pavimento para un Periodo de diseño: N = 20 años, de la estructura sin que se produzca alguna rehabilitación.

b. Tránsito de diseño: 0.41XE6

c. Nivel de confiabilidad: Para vías urbanas de categoría colectora se sugiere valores de nivel de confianza entre el 80,0 % - 95 % (ver cuadro 3). Para el diseño se adopta un valor del 80 %.

d. Error normal combinado: Para pavimentos rígidos el error normal combinado de la predicción del tránsito y comportamiento para construcciones nuevas es S_0= **0,35.**

9.1.2 *Transferencia de cargas*

Según el criterio de la AASHTO el coeficiente de transferencia de carga J, para pavimentos rígidos con dispositivos de transmisión de cargas no reforzados o reforzados por juntas, varía entre 2,5 – 3,1 (ver cuadro (6). Para el diseño de la estructura de pavimento se adopta un valor de 2.8.

La transferencia de carga es la capacidad que tiene una losa del pavimento de transmitir fuerzas cortantes con sus losas adyacentes, con el objeto de minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura del pavimento, mientras mejor sea la transferencia de cargas mejor será el comportamiento de las losas del pavimento.

El método AASHTO considera la transferencia de cargas mediante el factor de transferencia de cargas J.

INGEOTEC N&L S.A.S.

La efectividad de la Transferencia de Carga entre losas adyacentes depende de varios factores:

- Cantidad de Tráfico

- Utilización de Pasadores

- Soporte Lateral de las Losas

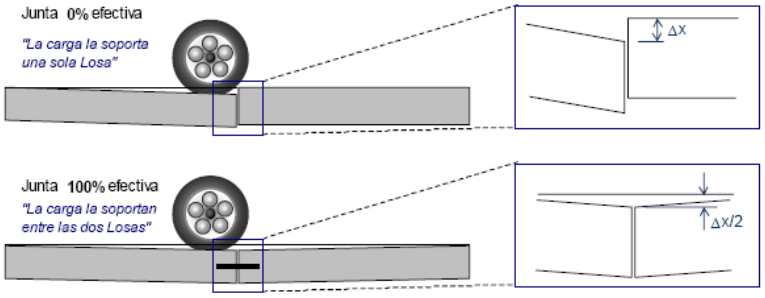
La utilización de pasadores es la manera más conveniente de lograr la efectividad en la transferencia de cargas. Utilizar pasadores cuando:

a) El tráfico pesado sea mayor al 25% del tráfico total.

b) El número de Ejes Equivalentes de diseño sea mayor de 5,0 millones de Esal's.

El Coeficiente de Transferencia de Carga considera el esfuerzo de transferencia a través de la junta o grieta.

Figura 13. Función de dovelas en losas de concreto



9.1.3 *Características del concreto*

Son dos las propiedades del concreto que influyen en el diseño de un pavimento de concreto y en su comportamiento a lo largo de su vida útil:

Se plantea un módulo de rotura mínimo de 3.8 MPa según las consideraciones tenidas en cuenta en las especificaciones generales de construcción del INVIAS en el artículo INV-500-13, donde se define el módulo de rotura mínimo según las características del tránsito. Entonces:

$$3.8\ MPa = 0.8*(f´c)0.5$$

$$f´c = (3.8/0.8)^2$$

$$f´c = 3.8\ MPa,\ 230\ Kg/cm2,\ 553.6\ lb/pulg^2.$$

- Módulo de elasticidad del concreto: como no se conoce el tipo de materiales a empelar en la mezcla se emplea la siguiente ecuación:

  Ec = 12500(f'c) 0.5 resistencia a la compresión del concreto (kg/cm²)

9.1.4 *Resistencia de la subrasante.*

Se deberá instalar una subbase granular compactada al 95% de su peso seco volumétrico máximo. El módulo resiliente de la subbase granular, se determina con base a la metodología de la Shell:

$$\mathbf{Esbg(kg/cm^2) = 0.206xhsbg^{0.45}xMr(kg/cm^2)}$$

Donde:

Esbg (kg/cm²): módulo resiliente de la subbase granular

hsbg: espesor de la subbase granular (mm)

Mr: módulo resiliente de la subbase granular

Factor de pérdida de soporte: con el tipo de material de subbase granular se tiene un valor de Ls = 1.5.

Módulo de reacción del Conjunto (Kc): utilizando el programa ASMOD desarrollado por el ING. GIOVANNI EDGAR RINCÓN OCHOA, programa que determina dicho valor a partir del módulo Resiliente de la subrasante, módulo de reacción de la subrasante, espesor de la subbase granular, modulo dinámico de la subbase granular, espesor estimado de la losa de concreto y pérdida de soporte.

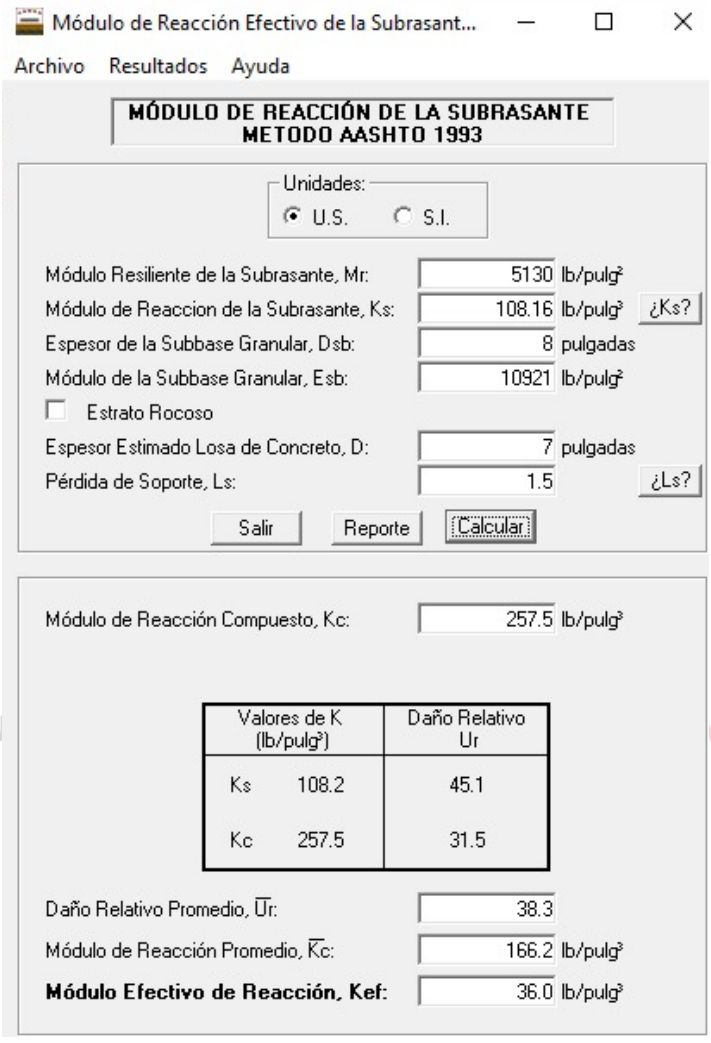
Se suponen dimensiones de subbase granular (20cm) y losa de concreto (7pulg), los cuales se chequean mediante la mecánica de pavimentos, verificando esfuerzos en la esquina, borde, y al interior de la losa.

Tabla 23 Valores iniciales y de diseño

Módulo de rotura del concreto	
Sc (f'c en Mpa)	$0.8(f'c)^{0.5}$
f'c (kg/cm²)	230
Sc (kg/cm²)	38,8
Sc (psi)	553,6
Sc (Mpa)	3,80
Módulo de elasticidad del concreto **Ec 12500(f'c) $^{0.5}$**	
Ec (kg/cm²)	189572
Ec (psi)	2708170
Ec (Mpa)	18585
El módulo resiliente de la subbase granular *Esbg (kg/cm²) = 0.206xhsbg $^{0.45}$ xMr(kg/cm²)*	
Unidad de Diseño 1	
CBR	**3,4**
hsbg (mm)	**200**
Mr (kg/cm²)	342
Mr (MPa)	34,2
Esbg (kg/cm²)	764
Esbg (psi)	10921
Esbg (MPa)	74,9
Espesor losa cm	**18**

Se procede a calcular el módulo de reacción efectivo de la subrasante (k_{ef}) de acuerdo al espesor asumido de subbase, módulo de reacción de la subrasante, espesor estimado de la losa de concreto, y el factor de pérdida de soporte.

Figura 14. Módulo de reacción efectico de la subrasante (k).



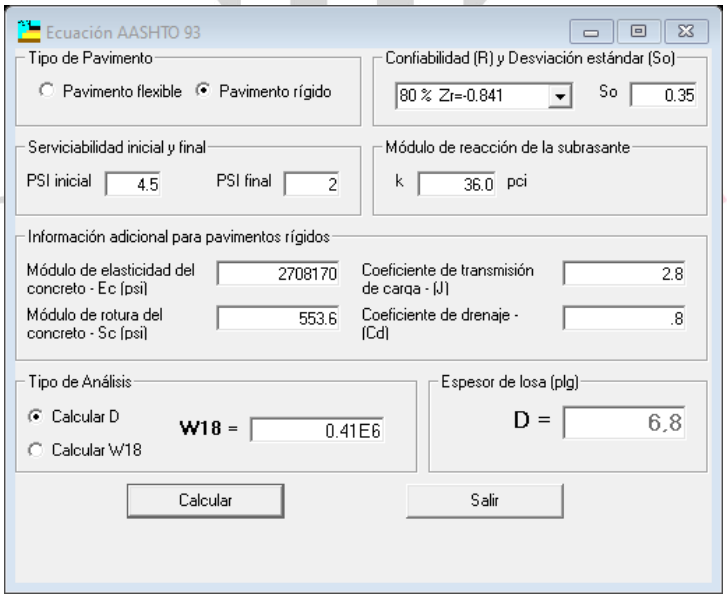
9.1.5 *Espesor de la losa de concreto:*

Reemplazando las variables de los numerales anteriores en la ecuación básica de diseño se obtiene un espesor de la losa de concreto el cual se toma teniendo en cuenta el tránsito de diseño, las características del concreto, y los coeficientes de drenaje. Utilizando la fórmula de la AASHTO para pavimentos rígidos, obtenemos los siguientes espesores requeridos:

$$Log N_{80KN} = ZrSo + 7.35Log(D+25.4) - 10.39 + \frac{Log\left[\frac{\Delta IPS}{4.5-1.5}\right]}{1+\frac{1.25x10^{19}}{(D+25.4)^{8.46}}} + (4.22-0.32Pt)Log\left[\frac{ScCd(0.09D^{0.75}-1.132)}{1.51J\left(0.09D^{0.75}-\frac{7.38}{\left(\frac{Ec}{k}\right)^{0.25}}\right)}\right]$$

Donde:	
N_{80KN}	Número de ejes equivalentes de 80 KN
Zr	Desviación normal estándar
So	Error combinado
D	Espesor del pavimento de concreto, mm
ΔIPS	Pérdida de serviciabilidad
Pt	Serviciabilidad final
Sc	Módulo de rotura del concreto, MPa
Cd	Coeficiente de drenaje
J	Coeficiente de transferencia de carga
Ec	Módulo de elasticidad del concreto, MPa
K	Módulo del conjunto de soporte, MPa/m

Figura 15. Ecuación Aashto 93



El espesor de la losa de concreto es de 6.8 pulg ≈ 17.272 cm.

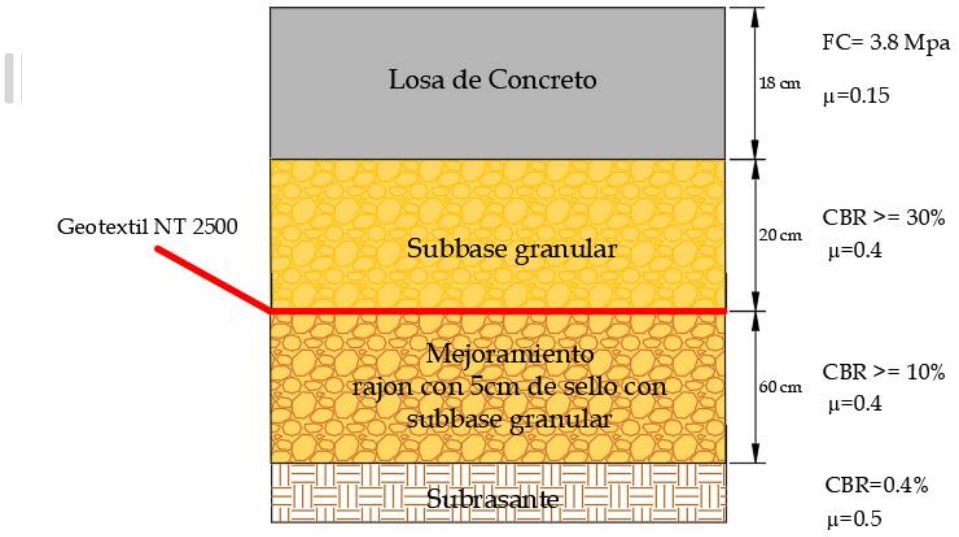
Ahora bien, a consideración de diseño, se opta por establecer un espesor de **18 cm**, ya que espesores inferiores a este parámetro podrán incurrir en un comportamiento de la estructura poco eficiente.

La siguiente tabla muestra el resumen de los espesores obtenidos por la metodología de diseño de pavimentos por la metodología AASHTO.

Tabla 24. Espesores de la estructura rígida metodología AASHTO

SIMBOLO	CÓDICO	MATERIAL	ESPESOR (cm)
	Losa en concreto	Concreto Hidráulico INV 500-13 MR 3.8 Mpa	18
	SBG-C	Sub Base Granular INV 320-13 CBR > 30%	20
	RAJ	RAJON CBR > 10%	60

Figura 16. Estructura en pavimento rígido recomendado.



9.1.6 *Dimensiones de la Losa.*

Para el dimensionamiento de la losa de concreto, se tiene dos criterios importantes los cuales son:

- Criterio del Espesor:

$$L=25\ D$$

- Criterio de la AASHTO:

$$L=1.25\ A$$

El ancho de la losa corresponde al ancho de la calzada en cada situación, pero no debe exceder 1.25 la relación de esbeltez.

9.1.7 *Relación de Esbeltez.*

La relación de esbeltez se define mediante la siguiente expresión y debe ser menor a 1.25.

$$Esbeltez = \frac{Largo}{Ancho} \prec 1.25$$

Finalmente, las dimensiones definitivas de la losa de concreto son:

- Espesor: 0.18 m
- Ancho: 3.0 m
- Largo:

  0.18*25 = 4.5 m. Longitud máxima de la losa teniendo en cuenta el criterio del espesor de la losa

  3.0 * 1.25 = 3.75 m. Longitud máxima de la losa teniendo en cuenta el ancho de la losa.

Basado en lo anterior, la longitud de la losa por ningún motivo deberá ser mayor a 3.75 m.

Chequeo de Esfuerzos

- **Esfuerzos debidos a las cargas del tránsito**

  Esfuerzo de tensión en la esquina de la losa, σe

$$\sigma_e = \frac{3P}{h^2}\left(1-\left(\frac{a\sqrt{2}}{l}\right)^{0.6}\right)$$

Dónde:

σe = Esfuerzo de tensión en la esquina de la losa, Lb/pulg^2

h = Espesor de la losa, pulg

P = Carga aplicada, Lbs

l = Radio de rigidez relativa, pulg

a = Radio del área cargada, pulg

$$I = \left[\frac{E\,h^3}{12\left(1-\mu^2\right)k}\right]^{0.25}$$

Dónde:

l = Radio de rigidez relativa en pulgadas.

E= Módulo de elasticidad del concreto en libras/pulgada^2.

h= Espesor de la losa en pulgadas.

μ= Relación de Poisson del concreto.

k= Módulo de reacción de la subrasante en libras/pulgada^3.

Esfuerzo de tensión en el interior de la losa, σ_i

$$\sigma_i = 0.316\frac{P}{h^2}\left[4xLog\left(\frac{l}{b}\right)+1.069\right]$$

Dónde:

σ_i = Esfuerzo de tensión en el interior de la losa, Lb/pulg2

P = Carga aplicada, Lbs

h = Espesor de la losa, pulg

l = Radio de rigidez relativa, pulg

$$b = \left(1.6a^2 + h^2\right)^{1/2} - 0.675h$$

Si a<1.724h

b = a

Si a >=1.724h

a = Radio del área cargada, pulg

Esfuerzo de tensión en el borde de la losa, σ_b

$$\sigma_b = 0.572\frac{P}{h^2}\left[4Log\left(\frac{l}{b}\right) + 0.359\right]$$

Dónde:

σ_b = Esfuerzo de tensión en el borde de la losa, Lb/pulg^2

P = Carga aplicada, Lbs

h = Espesor de la losa, pulg

l = Radio de rigidez relativa, pulg

$$b = \left(1.6a^2 + h^2\right)^{1/2} - 0.675h$$

Si a<1.724h

b = a

Si a >=1.724h

a = Radio del área cargada, pulg

9.1.8 *Deflexiones en pavimentos rígidos por acción del transito*

Deflexiones en esquina de la losa. Δ_e

$$\Delta_e = \frac{P}{kl^2}\left[1.1 - 0.88\left(\frac{a\sqrt{2}}{l}\right)\right]$$

Dónde:

Δ_e = Deflexión en la esquina de la losa, pulg

P = Carga aplicada, Lbs

l = Radio de rigidez relativa, pulg

a = Radio del área cargada, pulg

k = Módulo de reacción de la subrasante, lbs/pulg^3

Deflexión en el borde de la losa, Δ_b

$$\Delta_b = \frac{0.413P}{kl^2}\left[1 - 0.82\left(\frac{a}{l}\right)\right]$$

Dónde:

Δ_b = Deflexión en el borde de la losa, pulg

P = Carga aplicada, Lbs

l = Radio de rigidez relativa, pulg

a = Radio del área cargada, pulg

k = Módulo de reacción de la subrasante, lbs/pulg^3

Deflexión en el interior de la losa, Δ_i

$$\Delta_i = \frac{P}{8Kl^2}\left[1+\frac{1}{2\pi}\left(Ln\left(\frac{a}{2l}\right)-0.673\right)\left(\frac{a}{l}\right)^2\right]$$

Dónde:

Δ_i = Deflexión en el interior de la losa, pulg

P = Carga aplicada, Lbs

l = Radio de rigidez relativa, pulg

a = Radio del área cargada, pulg

k = Módulo de reacción de la subrasante, lbs/pulg^3

Cálculo de los esfuerzos de tensión en la losa de concreto: El resumen del cálculo de los esfuerzos de tensión en la losa de concreto, se presenta a continuación y de la información contenida en este se aprecia que los esfuerzos actuantes de tensión en la losa son menores al esfuerzo a la flexotracción del concreto, por lo tanto la losa está bien diseñada.

Tabla 25 Esfuerzos de tensión en la losa de concreto.

Posición en la losa	Esfuerzo de tensión (psi)	Módulo de rotura del concreto, Sc (psi)	(σ/Sc) * 100%
Esquina	294,88	557,8	52,9
Interior	232,68		41,7
Borde	346,59		62,1

La anterior tabla permite apreciar que en la alternativa diseñada con barras de transferencia de carga los puntos más débiles de la losa son los bordes por la magnitud de los esfuerzos actuantes lo cual se puede traducir en fracturas si los esfuerzos actuantes son mayores a los admisibles.

Cálculo de las deflexiones en la losa de concreto: El resumen del cálculo de las deflexiones en la losa de concreto, se presenta en la siguiente tabla

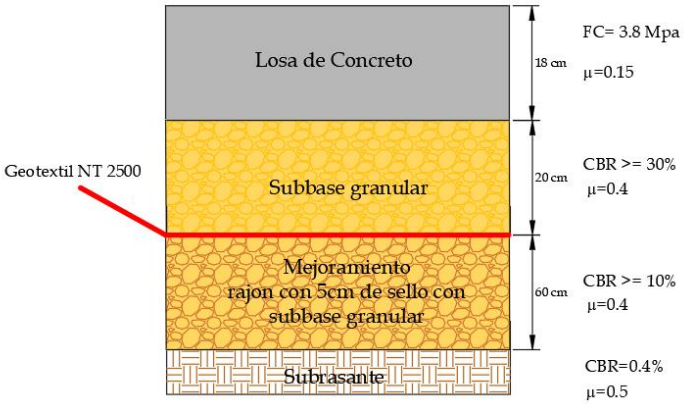
Tabla 26 Deflexiones en la losa de concreto.

Posición en la losa	Deflexión (pul)	Deflexión (mm)
Esquina	0,0768	1,952
Interior	0,0110	0,28
Borde	0,0311	0,791

Las anteriores tablas permiten apreciar que los puntos más débiles de la losa son las esquinas por las elevadas magnitudes de las deflexiones lo cual se puede traducir en fracturas si los esfuerzos actuantes son mayores a los admisibles. Se debe verificar mediante ensayos de módulo de rotura de vigas prismáticas la deflexión máxima permitida por el concreto que se use en obra, en todo caso, se espera que las deflexiones en estos puntos sean asumidas por las barras de transferencia de carga de las losas. El criterio de la calidad del concreto la rige el módulo de rotura del concreto, por lo anterior se deberá garantizar en obra este valor como mínimo (3.8 MPa).

Las losas de concreto rígido diseñadas por la metodología, cumple con todos los criterios de diseño, por lo tanto, es una estructura que va a tener un buen comportamiento tanto de la estructural como funcional durante el periodo de servicio. Además, es una estructura adecuada para las condiciones previstas de tránsito, las características de los materiales constitutivos de las capas, las condiciones de la fundación, climáticas y ambientales; a continuación se presentan los espesores de las estructuras recomendadas.

Figura 17. Estructura de pavimento rígido recomendado.



9.1.9 *Cálculo de los pasadores*

Para una losa de 15 cm de espesor, entrando con este valor se tiene:

Tabla 27 Requisitos mínimos para las dovelas en las juntas.

ESPESOR PAVIMENTO, (mm)	DIAMETRO DEL PASADOR		LONGITUD TOTAL (mm)	SEPARACION ENTRE CENTROS (mm)
	mm	Pulgadas		
0 - 100	13	½	250	300
110 - 130	16	5/8	300	300
140 - 150	19	¾	350	300
160 - 180	22	7/8	350	300
190 - 200	25	1	350	300
201 - 230	29	1 1/8	400	300
240 - 250	32	1 1/4	450	300
260 - 280	5	1 3/8	450	300
290 - 300	38	1 1/2	500	300

Fuente: MINISTERIO DE TRANSPORTE – ICPC. Manual de diseño de pavimento de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. Bogotá D.C.

- Diámetro del pasador = 3/4 pulg
- Longitud del pasador = 350 mm.
- Separación entre centros = 300 mm.

Cálculo de las barras de anclaje: para una losa de 15 cm de espesor, entrando a la siguiente tabla tenemos:

Tabla 28 Recomendación para las barras de anclaje

ESPESOR DE LA LOSA, cm	BARRAS DE ϕ 9.5 mm (3/8")				BARRAS DE ϕ 12.7 mm (1/2")				BARRAS DE ϕ 15.9 mm (5/8")			
	Longitud, mm	Separación entre barras, m			Longitud, mm	Separación entre barras, m			Longitud, mm	Separación entre barras, m		
		Carril de 3.05 m	Carril de 3.35 m	Carril de 3.65 m		Carril de 3.05 m	Carril de 3.35 m	Carril de 3.65 m		Carril de 3.05 m	Carril de 3.35 m	Carril de 3.65 m
Acero de fy = 187.5 MPa (40,000 lb/pulg^2)												
15.0	450	0.80	0.75	0.65	600	1.20	1.20	1.20	700	1.20	1.20	1.20
17.5		0.70	0.60	0.55		1.20	1.10	1.00		1.20	1.20	1.20
20.0		0.60	0.55	0.50		1.05	1.00	0.90		1.20	1.20	1.20
22.5		0.55	0.50	0.45		0.95	0.85	0.80		1.20	1.20	1.20
25.0		0.45	0.45	0.40		0.85	0.80	0.70		1.20	1.20	1.10
Acero de fy = 280 MPa (60,000 lb/pulg^2)												
15.0	650	1.20	1.10	1.00	850	1.20	1.20	1.20	1000	1.20	1.20	1.20
17.5		1.05	0.95	0.85		1.20	1.20	1.20		1.20	1.20	1.20
20.0		0.90	0.80	0.75		1.20	1.20	1.20		1.20	1.20	1.20
22.5		0.80	0.75	0.65		1.20	1.20	1.20		1.20	1.20	1.20
25.0		0.70	0.65	0.60		1.20	1.15	1.10		1.20	1.20	1.20

Fuente: MINISTERIO DE TRANSPORTE – ICPC. Manual de diseño de pavimento de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. Bogotá D.C.

Se adoptan los siguientes valores:

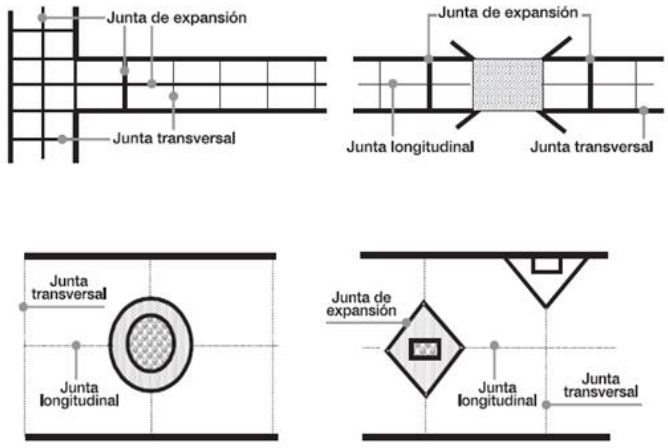
- Diámetro de la barra = ½" o 12.7 mm.
- Acero de f´y = 60 000 psi.
- Longitud de la barra = 850 mm.
- Separación entre centros = 1.2 m.

9.1.10 *Diseño y construcción de juntas*

Las juntas del pavimento rígido van a ser las responsables del control del agrietamiento, así como de mantener la capacidad estructural del pavimento y su calidad de servicio en los más altos niveles al menor costo anual. Las juntas cumplen funciones como: control del agrietamiento transversal y longitudinal, dividir el pavimento en incrementos prácticos para la construcción, absorber los esfuerzos provocados por los movimientos de las losas, proveer una adecuada transferencia de carga, darle forma al depósito para el sellado de la junta.

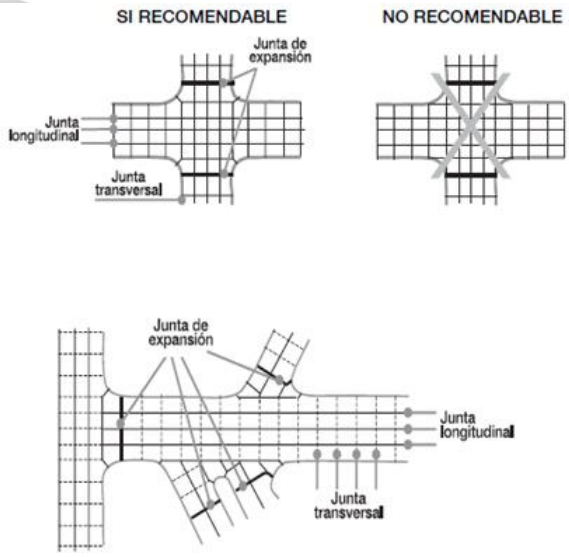
Los tipos de juntas a usar en el pavimento rígido son las siguientes:

Figura 18. Tipos de juntas



Fuente: Manual de diseño de pavimentos en concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.

Figura 19. Recomendaciones construcción de juntas.



Fuente: Manual de diseño de pavimentos en concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.

El corte deberá ser de al menos un tercio del espesor de la losa (D/3) y tener un ancho mínimo de 1/8 de pulgada (3 mm).

Recomendaciones para el diseño de las juntas.

- Evite losas de forma irregular.
- La separación máxima entre juntas transversales deberá ser de 24 veces el espesor ó 5.0 metros, la que sea menor.
- Mantenga losas tan cuadradas como sea posible, ya que losas angostas y largas tienden a agrietarse en mayor cantidad que las cuadradas.
- Todas las juntas de contracción transversales deberán ser continuas a través de la guarnición y tener una profundidad igual a 1/3 del espesor del pavimento.
- En las juntas de aislamiento, el relleno deberá ser a toda la profundidad y extenderse por la guarnición.
- Si no se cuenta con guarniciones, las juntas longitudinales deberán amarrarse con barras de amarre.
- Cuando el área pavimentada cuenta con estructuras de drenaje, colocar las juntas de manera que coincidan con las estructuras.

9.1.11 *Sellado de las juntas:*

La ranura entre juntas debe sellarse, tanto para impedir la entrada de agua a la Subrasante como para evitar la penetración de cuerpos extraños dentro de la junta, como también evitar que se produzca el bombeo. Adicionalmente, el sello mejora la calidad del rodamiento.

El material sellante ideal debe cumplir con los siguientes requisitos:

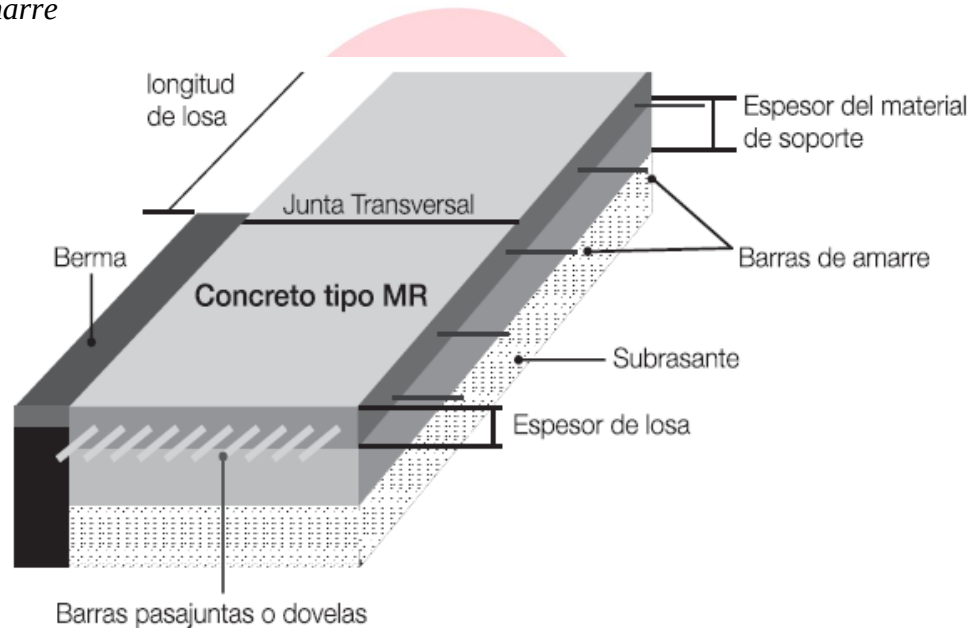
- Ser impermeable.
- Deformarse sin rotura, de acuerdo con los movimientos que ocurran en la junta.
- Recuperar su forma original después de repeticiones cíclicas de la deformación.
- Permanecer en contacto con las caras de la junta.
- No fluir con la gravedad.
- No reblandecerse excesivamente a las mayores temperaturas de servicio.

9.1.12 *Tipos de sellantes*

- Masillas: (asfalto) con materiales llenantes, como fibras de asbesto.

- Sellantes Termoplásticos: EL GRAYDIN EE, y el GRAYDIN ASCAS IMPERSEL.
- Sellantes de curado Químico: SIKAFLEX-T 68 y el COLMA JOINT SEALER, ambos de Sika.

Figura 20. Modelo estructura de pavimento rígido con ubicación de dovelas y barras de amarre



Fuente: Manual de diseño de pavimentos en concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.

10. MÉTODO DE DISEÑO: AASHTO 93 PARA ESTRUCTURA DE ANDENES

La estructura del pavimento que se determina, tiene como fin soportar las cargas y disipar esfuerzos a través de las diferentes capas que la componen y el suelo natural no se vea afectado por dichas cargas, de esta forma se obtendrá un pavimento que brinde y garantice el nivel de servicio para el cual es diseñado, brindando seguridad, confiabilidad y confort a los usuarios que por allí transitan.
Teniendo en cuenta que este capítulo considera el planteamiento de la construcción de andenes peatonales, el diseño se rige a las recomendaciones y parámetros dados en la cartilla de andenes de la secretaria distrital de Bogotá, la cual establece parámetros mínimos de capacidad de soporte, y variables asociadas a un diseño de pavimento rígido por el método AASHTO 93 como se observa en la tabla 30.

10.1 *Factores que intervienen*

10.1.1 Periodo de diseño

La estructura del pavimento, considera los siguientes períodos de diseño de acuerdo al tipo de pavimento a construir

Tabla 29 Periodos de diseño para estructuras de pavimento

TIPO	PERIODO DE DISEÑO (Años)
Rígido	20

10.1.2 *Tránsito*

La variable tránsito necesaria para determinar la estructura del pavimento, es el número de ejes equivalentes a 8,2 toneladas que circularán por el carril de diseño (ton cd/pd) y que se esperan pasen durante el periodo de diseño. Tomando como referencia lo descrito en la cartilla de andenes desarrollada por la secretaria distrital de planeación de Bogotá, los parámetros de diseño de zonas peatonales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 30. Criterios de diseño para áreas peatonales

Período de diseño	20 años (andenes y superficies menores) 50 años (plazas y grandes superficies)
Carga Vehicular	
Tipo de camión	C2 G
Carga por eje	8,2 toneladas
Eje	simple
Llantas por eje	cuatro (dos por lado)
Ejes de diseño	6 diarios 35.000 en el período de diseño
CBR	variable
Reliability	50%
Desviación	0,45
Módulo Elástico	4118,2 psi
Indice de serviciabilidad inicial	4,5
Indice de serviciabilidad final	2,0
Delta del Indice de Servicio	2,5

Fuente: Cartilla de andenes, secretaria distrital de planeación, Bogotá DC.

Con base a lo anterior para un periodo de diseño de 20 años se adoptan 35000 ejes equivalentes para el cálculo de la estructura de pavimento.

10.1.3 *Características de la subrasante*

Con base en los resultados de laboratorio y las características del subsuelo, se determinó 1 zona de diseño homogénea para el tramo en estudio, con un CBR de 0,4%. Teniendo en cuenta que el CBR de diseño de la subrasante es menor al 3%, requiriendo labores de estabilización, y teniendo en cuenta la facilidad de encontrar agregados pétreos cercanos a la zona del proyecto, se proyecta la implementación de 45 cm de material mejoramiento de la subrasante, y podrán emplearse materiales granulares que se encuentren acorde con la normatividad existente, y que al compactarlos, se obtenga un valor mínimo de CBR del 15%.

De acuerdo a la cartilla de andenes de la secretaria distrital de Bogotá, recomienda la implementación de un mejoramiento para subrasantes menores a 3%, se tendrá en cuenta la subrasante mejorada de 45 cm de espesor con recebo común tipo 1 norma INVIAS articulo 610 -2013, parámetros que se enuncian a continuación:

Se evalúa, por lo tanto, el aporte estructural al implementar un material de mejoramiento, que combine los CBR'S del material de subrasante y el mejoramiento. Aplicando el teorema, se obtiene un valor de 3.0%, por lo tanto, el CBR de la Subrasante mejorado estimado, se trabajará para efectos del diseño de la estructura.

Tabla 31 Teorema de Ivanov.

ESTIMACIÓN MÓDULO EQUIVALENTE SUBRASANTE MEJORADA SEGÚN FORMULACIÓN DE IVANOV													
CBR		$E_{INFERIOR}$	$E_{SUPERIOR}$	n	$n^{3,5}$	h_1(cm)	h_1 / 2a	$\tan^{-1}(n*h_1/2a)$	$1-(1/n^{3,5})$	2/p	2/p*J*I	E_{equiv}	CBR
SUBRASANTE NATURAL	MATERIAL GRANULAR	kg/cm^2		3,37	70,61	45,00	1,48	(rad)	0,99	0,64	0,86	kg/cm^2	3
0,4	15,0	40	837					1,37				289	

Fuente. Propia

Tabla 32. Características de la subrasante – Modulo resiliente (Mr) – módulo de reacción (k) de la Subrasante

	UD 1
CBR (%)	3
Mr (kg/cm^2)	300
Mr (lb/pulg^2)	4500
Mr (N/m^2)	3,00E+07
Mr (Mpa)	30
K (kg/cm^3)	2,71
K (lb/pulg^3)	97,59
K (Mpa/m)	27,1

INGEOTEC N&L S.A.S.

10.1.4 *Metodología de la AASHTO para diseño de pavimentos rígidos*

La metodología AASHTO considera la vida útil de un pavimento relacionado con el número de repeticiones de carga que podrá soportar el pavimento antes de llegar a las condiciones de servicio final predeterminadas para la vía. El método utiliza en su formulación el número de repeticiones esperadas de carga de Ejes Equivalentes, es decir, transforma los ejes de pesos normales de los vehículos que circularán por la vía, en ejes sencillos equivalentes de 18 kips (8,2 Ton) también conocidos como ESAL's.

En este método se consideran los siguientes parámetros:

- Nivel de confiabilidad 50%
- Desviación normal estándar Zr = 0.00
- Módulo de ruptura del concreto Mr (Sc, resistencia a la flexión)

- $Sc = 0.8\ (f'c)^{0.5}$; (f'c, resistencia a la compresión del concreto (MPa))

Se plantea un módulo de rotura mínimo de 20.68 MPa según las consideraciones tenidas en cuenta en las especificaciones generales de construcción del INVIAS en el artículo INV-500-13, donde se define la módulo de rotura mínimo según las características del tránsito. Entonces:

$$f´c = 3000\ lb/pulg^2.$$

- Módulo de elasticidad del concreto: como no se conoce el tipo de materiales a empelar en la mezcla se emplea la siguiente ecuación:
  $Ec = 12500(f'c)^{0.5}$ resistencia a la compresión del concreto (kg/cm^2)
- Error normal combinado: S_0= 0.35 (construcciones nuevas)
- Nivel de Serviciabilidad: $\Delta IPS = 4.5 – 2.0 = 2.5$
- Coeficiente de drenaje: Cd: 0.8
- Coeficiente de transferencia de cargas: J = 2.8 para losas con transferencia de carga.

La utilización de pasadores es la manera más conveniente de lograr la efectividad en la transferencia de cargas. Utilizar pasadores cuando:

a) El tráfico pesado sea mayor al 25% del tráfico total.
b) El número de Ejes Equivalentes de diseño sea mayor de 5,0 millones de Esal's.

El coeficiente de transferencia de carga considera el esfuerzo de transferencia a través de la junta o grieta.

10.1.5 *Características de la subbase granular:*

Se deberá instalar una subbase granular compactada al 95% de su peso seco volumétrico máximo. El módulo resiliente de la subbase granular, se determina con base a la metodología de la Shell:

$$\mathbf{Esbg(kg/cm^2) = 0.206xhsbg^{0.45}xMr(kg/cm^2)}$$

Donde:

Esbg (kg/cm^2): módulo resiliente de la subbase granular

hsbg: espesor de la subbase granular (mm)

Mr: módulo resiliente de la subbase granular

- **Factor de pérdida de soporte:** con el tipo de material de subbase granular se tiene un valor de Ls = 1.5.

- **Módulo de reacción del Conjunto (Kc):** utilizando el programa ASMOD desarrollado por el ING. GIOVANNI EDGAR RINCÓN OCHOA, programa que determina dicho valor a partir del módulo Resiliente de la subrasante, módulo de reacción de la subrasante, espesor de la subbase granular, modulo dinámico de la subbase granular, espesor estimado de la losa de concreto y pérdida de soporte.

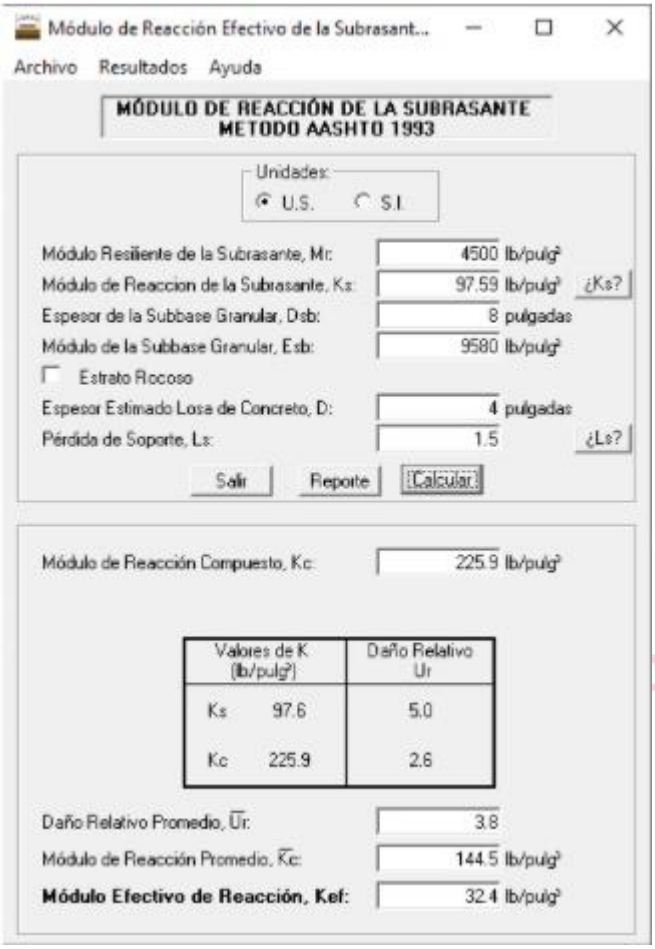
Se suponen dimensiones de subbase granular (20 cm) y losa de concreto (4 pulg), los cuales se chequean mediante la mecánica de pavimentos, verificando esfuerzos en la esquina, borde, y al interior de la losa.

Se procede a calcular el módulo de reacción efectivo de la subrasante (k_{ef}) de acuerdo al espesor asumido de subbase, módulo de reacción de la subrasante, espesor estimado de la losa de concreto, y el factor de pérdida de soporte.

Tabla 33 Valores iniciales y de diseño andenes

Módulo de rotura del concreto	
Sc (f'c en Mpa)	$0.8(f'c)^{0.5}$
f'c (kg/cm²)	210
Sc (kg/cm²)	37,0
Sc (psi)	529,0
Sc (Mpa)	3,63
Módulo de elasticidad del concreto **Ec 12500(f'c) $^{0.5}$**	
Ec (kg/cm²)	181142
Ec (psi)	2587746
Ec (Mpa)	17759
El módulo resiliente de la subbase granular *Esbg (kg/cm²) = 0.206xhsbg $^{0.45}$ xMr(kg/cm²)*	
Unidad de Diseño 1	
CBR	**3,0**
hsbg (mm)	**200**
Mr (kg/cm²)	300
Mr (MPa)	30
Esbg (kg/cm²)	671
Esbg (psi)	9580
Esbg (MPa)	65,7
Espesor losa cm	**10**

Tabla 34. Módulo de reacción efectico de la subrasante (k) andenes.



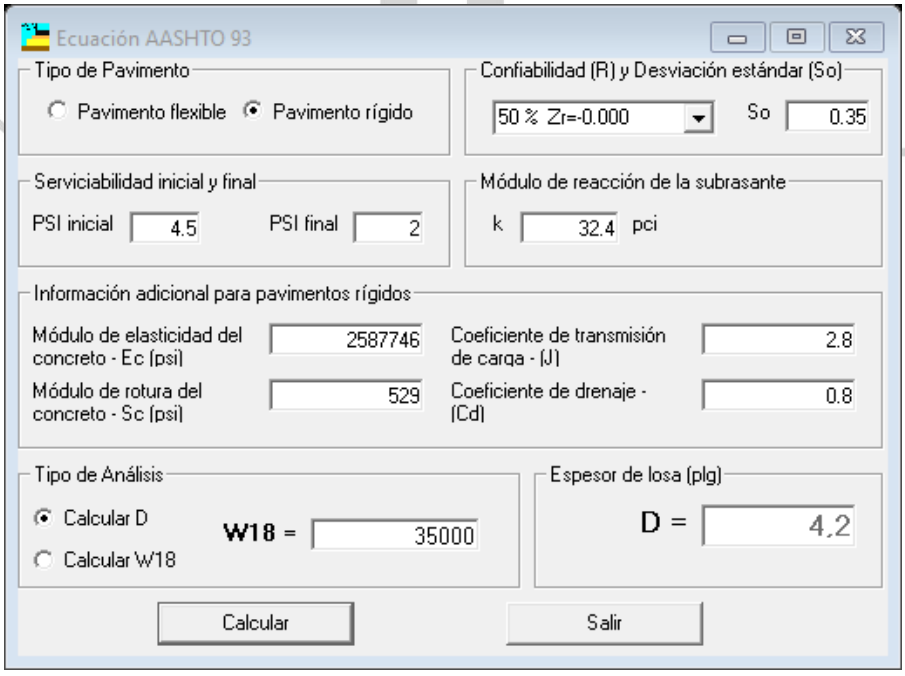
- **Espesor de la losa de concreto:** reemplazando las variables de los numerales anteriores en la ecuación básica de diseño se obtiene un espesor de la losa de concreto el cual se toma teniendo en cuenta el tránsito de diseño, las características del concreto, y los coeficientes de drenaje.

Utilizando la fórmula de la AASHTO para pavimentos rígidos, obtenemos los siguientes espesores requeridos:

$$Log N_{80KN} = ZrSo + 7.35Log(D+25.4) - 10.39 + \frac{Log\left[\frac{\Delta IPS}{4.5-1.5}\right]}{1+\frac{1.25x10^{19}}{(D+25.4)^{8.46}}} + (4.22-0.32Pt)Log\left[\frac{ScCd(0.09D^{0.75}-1.132)}{1.51J\left(0.09D^{0.75}-\frac{7.38}{\left(\frac{Ec}{k}\right)^{0.25}}\right)}\right]$$

Donde:	
N_{80KN}	Número de ejes equivalentes de 80 KN
Zr	Desviación normal estándar
So	Error combinado
D	Espesor del pavimento de concreto, mm
ΔIPS	Pérdida de serviciabilidad
Pt	Serviciabilidad final
Sc	Módulo de rotura del concreto, MPa
Cd	Coeficiente de drenaje
J	Coeficiente de transferencia de carga
Ec	Módulo de elasticidad del concreto, MPa
K	Módulo del conjunto de soporte, MPa/m

Figura 21. Ecuación Aashto 93 andenes



El espesor de la losa de concreto es de 4.1 pulg ≈ 10 cm.

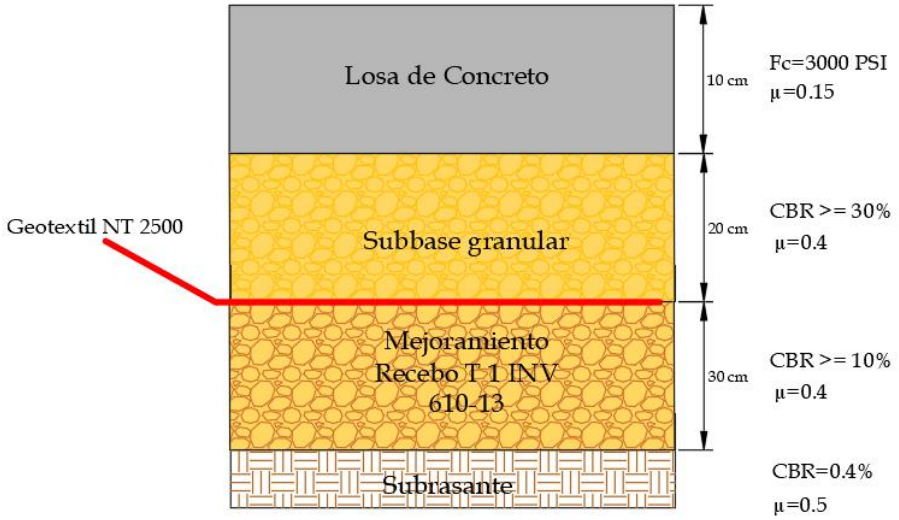
Ahora bien, a consideración de diseño, se opta por establecer un espesor de **10 cm**.

La siguiente tabla muestra el resumen de los espesores obtenidos por la metodología de diseño de pavimentos por la metodología AASHTO.

Tabla 35 Espesores de la estructura rígida metodología AASHTO andenes

SIMBOLO	CÓDICO	MATERIAL	ESPESOR (cm)
	Losa en concreto	Concreto Hidráulico 3.000 PSI	10
	SBG-C	Sub Base Granular INV 320-13 CBR > 30%	20
	RCB T1	Recebo T 1 INV 610-13 CBR > 10%	30

Figura 22. Estructura en pavimento rígido recomendado andenes.

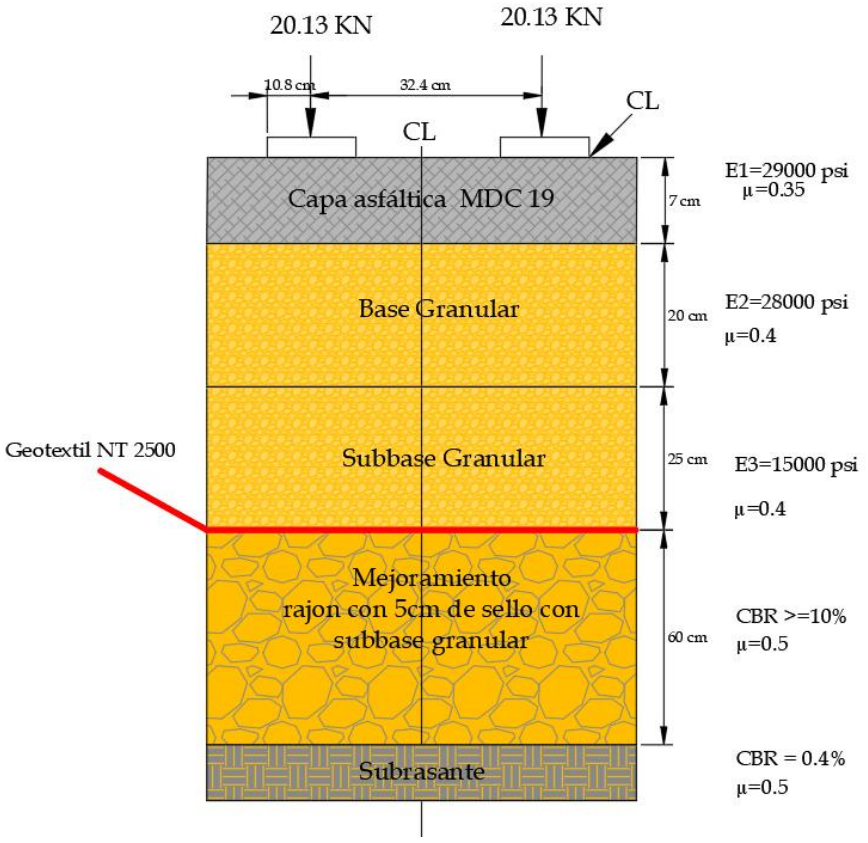


11. CONCLUSIONES

- Dentro del presente informe se presentan dos alternativas de pavimento (flexible) de tal forma que por medio de un análisis beneficio, costo sea implementada la opción más acertada a las necesidades del proyecto.

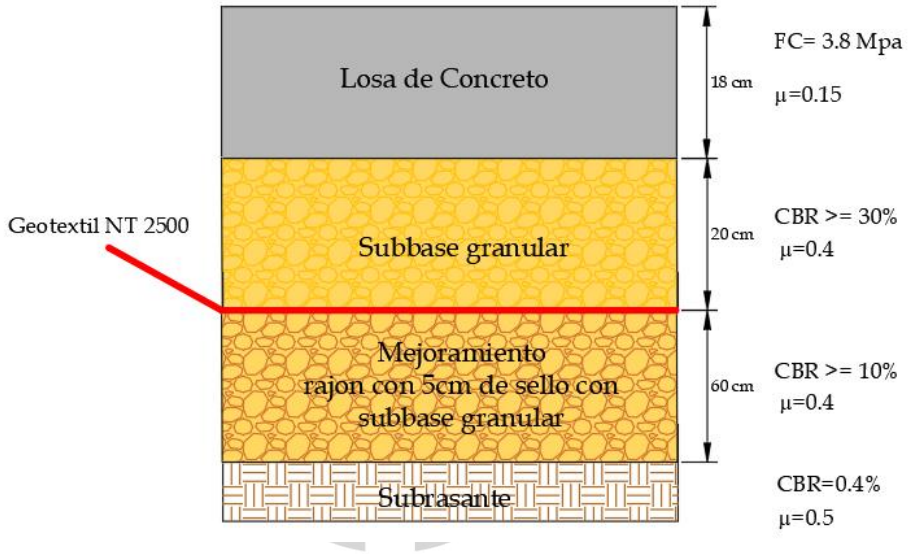
- Las estructuras de pavimento recomendadas son:

Figura 23. Alternativa 1, estructura de pavimento flexible.



Fuente. Propia

Figura 24. Alternativa 2, estructura de pavimento Rígido

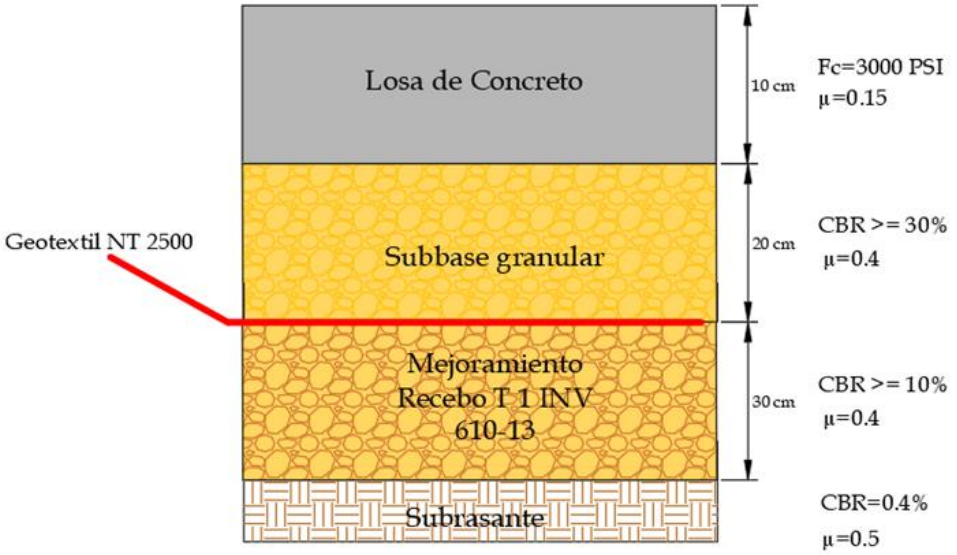


Fuente. Propia

INGEOTEC N&L S.A.S.

- Para la estructura de pavimento vehicular se recomienda que debido a la zona climática de ejecución de la estructura de pavimento, se recomienda la implementación de una malla electrosoldada de 6 mm de diámetro en el centro de la losa para contrarrestar efectos de contracción y retracción de la losa por cambios de temperatura

Figura 25. Alternativa 3, estructura de pavimento Rígido andenes



- Para la estructura de pavimento del andén se recomienda se recomienda una malla electrosoldada de 5 mm en el centro de la losa, de igual forma debe dilatarse por medio de juntas longitudes no superiores a 2 metros, esto de acuerdo a la propuesta de urbanismo que se desarrolle.

- La estructura de andenes se recomienda la separación de la subrasante con un mejoramiento con recebo T1 y de un geotextil no tejido NT 2500 entre el mejoramiento de recebo T1 Y la Subbase Granular

12. RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES

- ✓ De acuerdo a las características encontradas en los suelos se hacen las siguientes observaciones y recomendaciones.

- ✓ La correlación de la capacidad de soporte del suelo se desarrolló por medio de CBR inalterado y CBR de laboratorio realizando penetración en muestras inalteradas sometidas a 4 días de inmersión y en estado de humedad natural tomadas de los apiques. por otra parte también se obtuvieron resultados de CBR obtenidos de los ensayos de Penetración con Cono Dinámico.

- ✓ De acuerdo a los valores de los límites plásticos, humedades de equilibrio, humedad natural y las condiciones propias de la región se debe diseñar la estructura del pavimento, preferiblemente con el valor de CBR en condición saturada,
- ✓ El tipo de estructura a implementar en el proyecto debe obedecer al análisis técnico y económico de cada alternativa según estudios de fuentes de materiales.

- ✓ las capas intermedias del suelo existente, se componen fundamentalmente por arenas arcillosas y limos de baja a moderada plasticidad y de baja expansión (SC, ML); los espesores de estos materiales varían entre los 0.00 y los 1.50 m.

- ✓ Durante las operaciones de exploración sub-superficial no se detectó la presencia del nivel de aguas freáticas, pero si se aprecian algunas filtraciones de agua que pueden ocasionar la saturación de estos suelos, reduciendo la capacidad de soporte y la compactación de la subrasante.

- ✓ Si en el material de subrasante se evidencia la posibilidad de verse afectado por agua, ya sea de niveles freáticos o de infiltración, se deberá emplear el geotextil tipo NO TEJIDO, en caso contrario, cuando definitivamente no exista esta posibilidad se deberá emplear geotextil TEJIDO.

- ✓ Para garantizar la recolección y evacuación de las aguas de escorrentía tipo pluviales, se debe contemplar un adecuado sistema de drenaje dentro de la nueva estructura, que permita el manejo óptimo de estas aguas

- ✓ Es importante que los materiales que se utilicen cumplan con las especificaciones del INVIAS 2013 dadas, para garantizar su buen comportamiento, efectividad y

estabilidad de la estructura de pavimento, ya que el diseño parte de condiciones de materiales que cumplen con estas características.

- ✓ Durante la etapa constructiva los materiales deberán someterse a controles de calidad en cuanto a plasticidad. durabilidad. gradación. estabilidad. compactación y demás que estipulen las normas vigentes. para así garantizar el buen desempeño en conjunto con la estructura del pavimento.

- ✓ Los análisis, conclusiones y recomendaciones indicados en este informe están basados en las observaciones de campo, exploración del suelo a nivel puntual y resultados de laboratorio obtenidos de las muestras ensayadas, por lo que cualquier cambio en las condiciones del subsuelo no previstas en el presente documento deben ser informadas al ingeniero de suelos quien modifique o recomiende los ajustes necesarios acordes con la situación.

- ✓ El diseño de la estructura de anden se presenta principalmente para ser desarrollada en concreto, si se desea hacer intercalaciones menores con pavimento articulado, se debe garantizar que el conjunto arena adoquín, tenga el mismo espesor de la placa en concreto proyectada para el andén.

- ✓ Para la instalación del mejoramiento en pedraplén, se debe considerar una capa de 5 cm de material tipo Subbase Granular como sello que harán parte de la capa de mejoramiento

GERMAN ANDRES GARCIA GRANADOS
Ingeniero en Transporte y vías
M.P. 01110-10465 CPITV
Esp. Geotecnia vial y pavimentos

ANEXOS
A. ENSAYOS DE LABORATORIO (GEOTECNIA)

INGEOTEC N&L S.A.S.

PROYECTO:	ESTUDIOS DE SUELOS Y DISEÑOS DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS DE LAS VÍAS Y ESPACIO PÚBLICO DEL MUNICIPIO DE MOSQUERA, CUNDINAMARCA.		
LOCALIZACIÓN:	CALLE 14 CON CRA 3 -CALLE 15 CON CRA 3	APIQUE	1
MUNICIPIO:	MOSQUERA - CUNDINAMARCA	PROFUNDIDAD	INDICADA
DIRIGIDO A:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE MOSQUERA	FECHA DE ENSAYO	25/11/2021
LABORATORISTA:	YESID RIAÑO		

ENSAYO CONTENIDO DE AGUA EN LOS SUELOS (HUMEDAD) INV E-122

APIQUE **1**

PROF. (m)	No Cápsula	W Cáp.(g)	W Cáp. + Mh (g)	W Cáp. + Ms (g)	HUMEDAD (%)
0.30	A67	5.23	85.54	76.55	11.19
0.60	B16	5.01	70.57	61.57	13.73
0.90	B74	5.40	83.62	72.14	14.68
1.20	B57	4.48	76.62	56.02	28.56
1.50	A53	4.36	75.67	54.56	29.60

W Cáp. = Peso de Cápsula (g)
W Cáp. + Mh = Peso de Cápsula + Muestra Húmeda (g)
W Cáp. + Ms = Peso de Cápsula + Muestra Seca (g)

ING. GERMAN ANDRES GARCIA GRANADOS
M.P. 01110-10465 CPITV
ESP. EN GEOTECNIA Y PAVIMENTOS

PROYECTO:	ESTUDIOS DE SUELOS Y DISEÑOS DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS DE LAS VÍAS Y ESPACIO PÚBLICO DEL MUNICIPIO DE MOSQUERA, CUNDINAMARCA.		
LOCALIZACIÓN:	CALLE 14 CON CRA 3 -CALLE 15 CON CRA 3	APIQUE	1 A 1
MUNICIPIO:	MOSQUERA - CUNDINAMARCA	PROFUNDIDAD	INDICADA
DIRIGIDO A:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE MOSQUERA	FECHA DE ENSAYO	27/11/2021
LABORATORISTA:	YESID RIAÑO		

GRANULOMETRÍA POR MÉTODO DEL LAVADO

APIQUE **1**

		ANTES DE LAVADO		DESPUÉS DE LAVADO	
PROF.(m)	No Platón	W Platón (g)	Wplatón + M.S.L (g)	W Platón + M.D.L.(g)	% Pasa #200
0,40-1,10	C11	110.4	1009.2	728.8	31.20
1,10-1,50	F5	40.3	372.4	50.4	96.96

$$\%Pasa\#200 = 100 - \frac{(WPlatón + M.D.L. - WPlatón)}{(WPlatón + M.S.L. - WPlatón)} x100$$

Wplatón + M.S.L = Peso del platón más la muestra sin lavar (g)
W Platón + M.D.L. = Peso del platón más muestra después de lavar (g)
% Pasa #200 = Porcentaje que pasa el tamiz No 200.

ING. GERMAN ANDRES GARCIA GRANADOS
M.P. 01110-10465 CPITV
ESP. EN GEOTECNIA Y PAVIMENTOS

PROYECTO:	ESTUDIOS DE SUELOS Y DISEÑOS DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS DE LAS VÍAS Y ESPACIO PÚBLICO DEL MUNICIPIO DE MOSQUERA, CUNDINAMARCA.		
DIRIGIDO A:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE MOSQUERA	**SONDEO**	1
LOCALIZACIÓN:	CALLE 14 CON CRA 3 -CALLE 15 CON CRA 3	**PROF (m)**	0,40-1,10
LABORATORISTA:	YESID RIAÑO	**FECHA ENSAYO**	22/11/2021
DESCRIPCIÓN:	Material compuesto de Arena arcillosa con grava de baja plasticidad. De color gris con betas negras.		

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO INV E-123.

ANTES DE LAVADO

No. PLATÓN	C11
PESO PLATÓN (g)	110
PESO PLATÓN + MUESTRA (g)	1009
PESO MUESTRA (g)	899

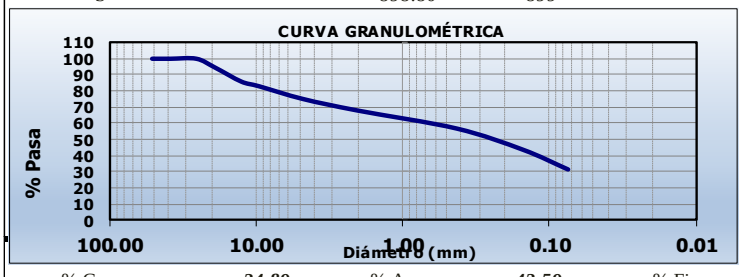
DESPUÉS DE LAVADO

PESO PLATÓN (g)	110
PESO PLATÓN + MUESTRA (g)	729
PESO MUESTRA SECA (g)	618
PASA TAMIZ Nº 200 (%)	31.20

CORRECCIÓN

PESO TT DE LA MUESTRA (g)	899
S PESOS RETENIDOS (g)	899
ERROR (g)	0.0
ERROR (%)	0.00

TAMIZ Nº	DIÁMEITRO (mm)	PESO REIENIDO (g)	PESO CORR (g)	%RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
11/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	48.50	48.50	5.40	5.40	94.60
1/2"	12.50	79.00	79.00	8.79	14.19	85.81
3/8"	9.51	25.30	25.30	2.81	17.00	83.00
4	4.76	70.90	70.90	7.89	24.89	75.11
10	2.00	64.80	64.80	7.21	32.10	67.90
40	0.425	99.70	99.70	11.09	43.19	56.81
100	0.150	117.80	117.80	13.11	56.30	43.70
200	0.074	109.50	109.50	12.18	68.48	31.52
FONDO		283.30	283.30	31.52	100.00	0.00
S		898.80	899			



D60	
D30	
D10	

Cc	no identificado
Cu	no identificado

% Gravas ***24.89*** % Arenas ***43.59*** % Finos ***31.52***

REVISO ***ING. GERMAN ANDRES GARCIA GRANADOS***
M.P. 01110-10465 CPITV
ESP. EN GEOTECNIA Y PAVIMENTOS

FECHA:	**27/11/2021**		
PROYECTO:	ESTUDIOS DE SUELOS Y DISEÑOS DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS DE LAS VIAS Y ESPACIO PÚBLICO DEL MUNICIPIO DE MOSQUERA, CUNDINAMARCA.		
LOCALIZACIÓN:	CALLE 14 CON CRA 3 -CALLE 15 CON CRA 3	APIQUE	1
MUNICIPIO:	MOSQUERA - CUNDINAMARCA	PROFUNDIDAD	0,40-1,10
DIRIGIDO A:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE MOSQUERA	MUESTRA	
LABORATORISTA:	YESID RIAÑO		

LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD INV E-125-126

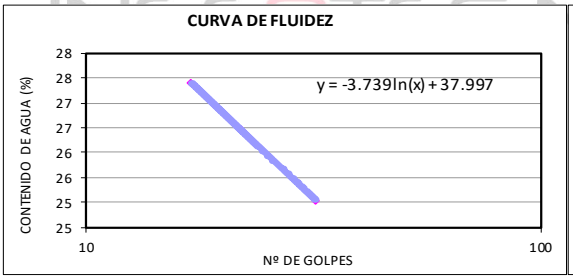
DESCRIPCIÓN: Material compuesto de Arena arcillosa con grava de baja plasticidad. De color gris con betas negras.

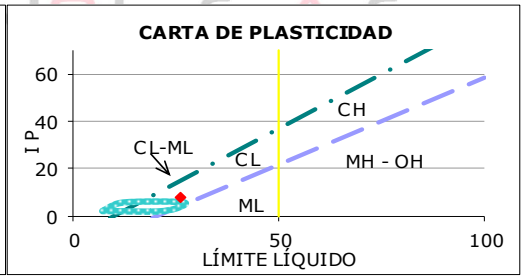
LÍMITE LÍQUIDO

DETERMINACIÓN Nº	1	2	3
NÚMERO DE GOLPES	32	22	17
RECIPIENTE Nº	L22	L6	L34
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)	40.79	43.49	46.85
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	35.34	37.35	39.82
PESO RECIPIENTE (g)	13.57	14.14	14.16
CONTENIDO DE AGUA (%)	25.03	26.45	27.40

LÍMITE PLÁSTICO

DETERMINACIÓN Nº	1	2
RECIPIENTE Nº	P26	P41
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)	17.51	17.22
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	16.16	15.84
PESO RECIPIENTE (g)	8.38	8.20
CONTENIDO DE AGUA (%)	17.35	18.06





LÍMITE LÍQUIDO:	***25.96***	% PASA 200	***31.20***
LÍMITE PLÁSTICO:	***17.71***	% ARENAS	***43.91***
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	***8.25***	% GRAVAS	***24.89***
ÍNDICE DE LIQUIDEZ:	***0.22***		

CLASIFICACIÓN

SUCS		AASHTO	
SC	Arena arcillosa con grava de baja plasticidad.	***A-2-4 (0)***	Principalmente suelos limosos
		ÍNDICE DE GRUPO	**27**

ING. GERMAN ANDRES GARCIA GRANADOS
M.P. 01110-10465 CPITV
ESP. EN GEOTECNIA Y PAVIMENTOS

FECHA:	**27/11/2021**		
PROYECTO:	ESTUDIOS DE SUELOS Y DISEÑOS DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS DE LAS VIAS Y ESPACIO PÚBLICO DEL MUNICIPIO DE MOSQUERA, CUNDINAMARCA.		
LOCALIZACIÓN:	CALLE 14 CON CRA 3 -CALLE 15 CON CRA 3	APIQUE	1
MUNICIPIO:	MOSQUERA - CUNDINAMARCA	PROFUNDIDAD	1,10-1,50
DIRIGIDO A:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE MOSQUERA	MUESTRA	
LABORATORISTA:	YESID RIAÑO		

LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD INV E-125-126

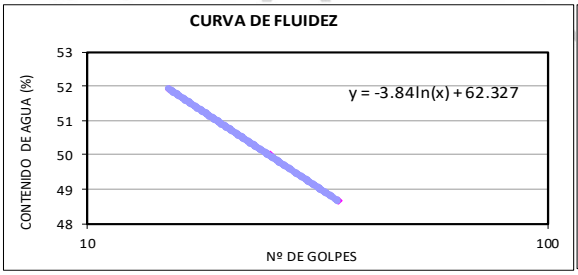
DESCRIPCIÓN: Material compuesto por Limo de moderada plasticidad. color gris oscuro.

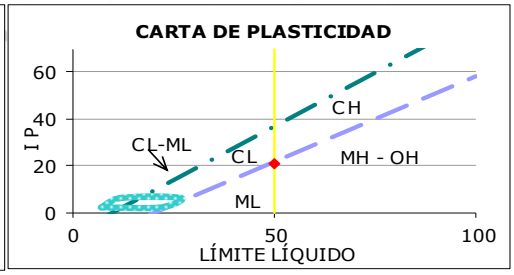
LÍMITE LÍQUIDO

DETERMINACIÓN Nº	1	2	3
NÚMERO DE GOLPES	35	25	15
RECIPIENTE Nº	36	68	69
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)	40.36	43.56	46.58
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	31.68	33.52	35.33
PESO RECIPIENTE (g)	13.84	13.44	13.66
CONTENIDO DE AGUA (%)	48.65	50.00	51.92

LÍMITE PLÁSTICO

DETERMINACIÓN Nº	1	2
RECIPIENTE Nº	69	121
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)	17.10	17.05
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	15.12	15.14
PESO RECIPIENTE (g)	8.50	8.54
CONTENIDO DE AGUA (%)	29.91	28.94





LÍMITE LÍQUIDO:	***49.97***	% PASA 200	***96.96***
LÍMITE PLÁSTICO:	***29.42***	% ARENAS	***3.04***
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	***20.54***	% GRAVAS	***0.00***
ÍNDICE DE LIQUIDEZ:	***-0.48***		

CLASIFICACIÓN

SUCS		AASHTO	
ML	Limo de moderada plasticidad	***A-7-6 (24)***	Principalmente suelos limosos
		ÍNDICE DE GRUPO	***24***

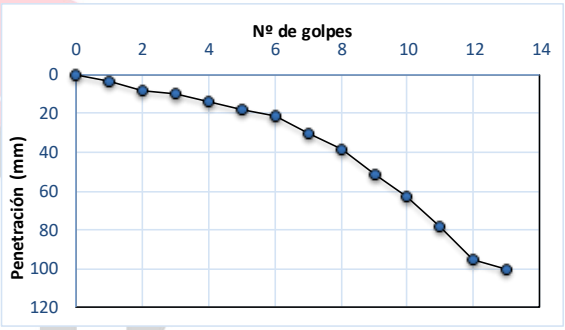
ING. GERMAN ANDRES GARCIA GRANADOS
M.P. 01110-10465 CPITV
ESP. EN GEOTECNIA Y PAVIMENTOS

PROYECTO:	ESTUDIOS DE SUELOS Y DISEÑOS DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS DE LAS VÍAS Y ESPACIO PÚBLICO DEL MUNICIPIO DE MOSQUERA, CUNDINAMARCA.						
LOCALIZACIÓN:	CALLE 14 CON CRA 3 -CALLE 15 CON CRA 3						
Apique:	1	**Abscisa:**		**Margen:**	-	**Prof. (m):**	0.1
Laboratorista:	YESID RIAÑO					**Fecha:**	24/11/2021

Datos del Ensayo

Nº de Golpes	Penetración (mm)	I.P.D. (mm/golpe)	CBR (%)
0	0.0	3.0	10.1
1	3.0	5.0	7.4
2	8.0	2.0	13.0
3	10.0	4.0	8.5
4	14.0	4.0	8.5
5	18.0	3.0	10.1
6	21.0	9.0	5.1
7	30.0	8.0	5.5
8	38.0	13.0	4.1
9	51.0	12.0	4.3
10	63.0	15.0	3.7
11	78.0	17.0	3.5
12	95.0	5.0	7.4
13	100.0	5.0	7.4

Curva de Penetración Vs Nº de golpes

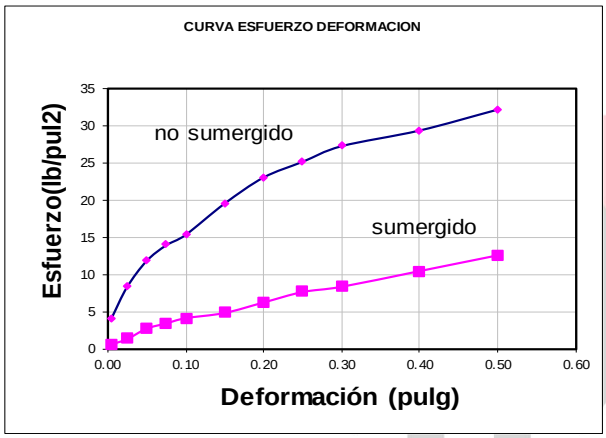


PENEIRACION(mm)	PENDIENTE	I.P.D(mm/golpe)	CBR%
100-500	P1	3.5	9.2%
1290-1500	P2	12.3	4.2%
500-1100	P2	5.0	7.4%

Ecuación de Correlación: CBR =20.0*(I.P.D.)^0,62

ING. GERMAN ANDRES GARCIA GRANADOS
M.P. 01110-10465 CPITV
ESP. EN GEOTECNIA Y PAVIMENTOS

PROYECTO:	ESTUDIOS DE SUELOS Y DISEÑOS DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS DE LAS VÍAS Y ESPACIO PÚBLICO DEL MUNICIPIO DE MOSQUERA, CUNDINAMARCA.		
LOCALIZACIÓN:	CALLE 14 CON CRA 3 -CALLE 15 CON CRA 3	**APIQUE**	1
MUNICIPIO:	MOSQUERA - CUNDINAMARCA	**PROFUNDIDAD**	1.00-1.20
DIRIGIDO A:	ALCALDÍA MUNICIPAL DE MOSQUERA	**FECHA DE ENSAYO**	28/11/2021
LABORATORISTA	YESID RIAÑO	**MUESTRA**	
DESCRIPCIÓN:	Material compuesto por limo negro de baja plasticidad		



DENSIDAD DE LA MUESTRA	
Volumen(cm^3) =	2883
Peso(g) =	5110
Densidad(g/cm^3)	1.77
Densidad(lb/pie^3)	110.60
EXPANSION	
Lect. inicial (mm)	0.52
Lect.final (mm)	1.16
EXPANSION(%)	0.50

RELACION DE SOPORTE DEL SUELO (CBR INALTERADO)

LOCALIZACION	CALLE 14 CON CRA 3 -CALLE 15 CON CRA 3			CALLE 14 CON CRA 3 -CALLE 15 CON CRA 3		
Muestra Nº	1			2		
	NO SUMERGIDO			SUMERGIDO		
Penetración (pg)	Lect dial (Kgf)	carga (lbf)	Esfuerzo (lb/pulg2)	Lect dial (Kgf)	carga (lbf)	Esfuerzo (lb/pulg2)
0.005	6	13	4	1	2	1
0.025	12	26	8	2	4	1
0.050	17	37	12	4	9	3
0.075	20	44	14	5	11	4
0.100	22	49	15	6	13	4
0.150	28	62	20	7	15	5
0.200	33	73	23	9	20	6
0.250	36	79	25	11	24	8
0.300	39	86	27	12	26	8
0.400	42	93	29	15	33	11
0.500	46	101	32	18	40	13
HUMEDAD DE PENETRACION(%)	38			44		
CBR corr 0.1	1.5			0.4		
CBR corr 0.2	1.5			0.4		

OBSERVACIONES:

ING. GERMAN ANDRES GARCIA GRANADOS
M.P. 01110-10465 CPITV
ESP. EN GEOTECNIA Y PAVIMENTOS

B. AFOROS VEHICULARES (ESTUDIO DE TRANSITO)

INGEOTEC N&L S.A.S.

	FORMATO DE CAMPO PARA AFORO VEHICULAR CÓDIGO: VH 1 - 14 VERSION 02

LOCALIZACIÓN	CALLE 14 CON CARRERA 3 - CALLE 15 CON CARRERA 3 PORVENIR RIO SECTOR 1	**HORA INICIO**	6:00 a. m.
FEHCA	25 DE NOVIEMBRE 2021	**HORA FIN**	6:00 p. m.
AFORADOR	GINNA TATIANA CASTAÑEDA GARCIA	**HOJA**	1 DE 1
SUPERVISOR	Ing OMAR NAUSAN		
SENTIDO	AMBOS		

PERIODO	AUTOS	BUSES	BUS-METRO	C-2P	C-2G	C3 - C4	C5 >C5
06:00 AM - 07:00 AM	4			1			
07:00 AM - 08:00 AM	5	1					
08:00 AM - 09:00 AM	7			3			
09:00 AM - 10:00 AM	4	2					
10:00 AM - 11:00 AM	5			3			
11:00 AM - 12:00 PM	8						
12:00 PM - 01:00 PM	9	4		3			
01:00 PM - 02:00 PM	5						
02:00 PM - 03:00 PM	6	1		2			
03:00 PM - 04:00 PM	8			3			
04:00 PM - 05:00 PM	5	3					
05:00 PM - 06:00 PM	4			3			
06:00 PM - 07:00 PM							

Observaciones:	

VEHICULO	AUTOS	BUSES	BUS-METRO	C-2P	C-2G	C3 - C4	C5 >C5
TOTAL	70	11	0	18	0	0	0
AJUSTE 20.0%	84	13	0	22	0	0	0

	FORMATO DE CAMPO PARA AFORO VEHICULAR CÓDIGO: VH 1 - 14 VERSION 02

LOCALIZACIÓN	CALLE 14 CON CARRERA 3 - CALLE 15 CON CARRERA 3 PORVENIR RIO SECTOR 1	**HORA INICIO**	6:00 a. m.
FEHCA	26 DE NOVIEMBRE 2021	**HORA FIN**	6:00 p. m.
AFORADOR	GINNA TATIANA CASTAÑEDA GARCIA	**HOJA**	1 DE 1
SUPERVISOR	Ing OMAR NAUSAN		
SENTIDO	AMBOS		

PERIODO	AUTOS	BUSES	BUS-METRO	C-2P	C-2G	C3 - C4	C5 >C5
06:00 AM - 07:00 AM	3			1			
07:00 AM - 08:00 AM	3						
08:00 AM - 09:00 AM	7	1		2			
09:00 AM - 10:00 AM	5						
10:00 AM - 11:00 AM	6	2		1			
11:00 AM - 12:00 PM	2			4			
12:00 PM - 01:00 PM	2	3					
01:00 PM - 02:00 PM	5						
02:00 PM - 03:00 PM	4			2			
03:00 PM - 04:00 PM	3	1					
04:00 PM - 05:00 PM	4						
05:00 PM - 06:00 PM	4			1			
06:00 PM - 07:00 PM							

Observaciones:	

VEHICULO	AUTOS	BUSES	BUS-METRO	C-2P	C-2G	C3 - C4	C5 >C5
TOTAL	48	7	0	11	0	0	0
AJUSTE 20.0%	58	8	0	13	0	0	0

C. REGISTRO FOTOGRAFICO AFOROS VEHICULARES (ESTUDIO DE TRANSITO)

