EMPRESA IBAGUEREÑA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO

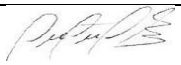
"REHABILITACION, REPOSICION Y MEJORAMIENTO REDES URBANAS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO"
MUNICIPIO DE IBAGUE
DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

VOLUMEN VI. ESTUDIO GEOTÉCNICO Y DISEÑO DE PAVIMENTOS

Complementación, Actualización y Ajuste del Diseño de la Estructura del Pavimento

ING. JORGE ALBERTO SÁNCHEZ
ESPECIALISTA EN INGENIERIA DE PAVIMENTOS

2024

Título Documento N°11-24	**"REHABILITACION, REPOSICION Y MEJORAMIENTO REDES URBANAS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO" MUNICIPIO DE IBAGUE DEPARTAMENTO DEL TOLIMA**					
APROBACION	**Número de Revisión**		**0**	1	2	3
	Responsable por Elaboración	Nombre	Jorge Alberto Sánchez			
		Firma				
		Mat:	IC T.P.2520265630 CND			
	Responsable por Revisión	Nombre				
		Firma				
		Mat:				
	Aprobación y Visto Bueno	Nombre				
		Firma				
Fecha del Documento						

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Índice Capítulo	Revisión Modificado	Fecha de Modificación	Observaciones

CONTENIDO

Pág.

1 INTRODUCCIÓN 7
2 OBJETIVO 7
3 ALCANCE 7
4 INFORMACIÓN EXISTENTE 8
4.1 GEOLOGÍA GENERAL 8
4.2 GEOLOGÍA LOCAL 9
4.3 Estado actual vías - municipio de Ibagué, Departamento del Tolima 9
4.4 CLIMA 11
4.5 TRÁNSITO 11
4.5.1 DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO DE DISEÑO 12
4.5.2 VELOCIDAD DE DISEÑO 13
5 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA 13
5.2.1 CARACTERISTICAS ACTUALES DEL TERRENO 14
5.2.2 PERFIl ESTRATIGRÁFICO 16
5.2.3 CBR DE DISEÑO 18
6 DISEÑO DE PAVIMENTOS 18
6.1 Cálculo de la Deflexión en Tuberías por Efecto de las Solicitaciones por Relleno y Carga Viva 19
Tubería-en-Zanja 19
Datos-Ejemplo-Deflexión en Tubería Ø = 16" 21
6.2 DISEÑO DE ESPESORES DE CAPAS DE PAVIMENTO 22
6.2.1 ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN 22
1ª ALTERNATIVA 22
2ª ALTERNATIVA 23
3ª ALTERNATIVA 23
4ª ALTERNATIVA 23
6.3 MATERIALES 23
RECEBO Artículo 610 – 20 23
GEOTEXTIL SEPARACIÓN DE CAPAS GRANULARES 24
SUBBASE GRANULAR ARTÍCULO 320 – 20 24
BASE GRANULAR ARTÍCULO 330 – 20 25
MATERIAL GRANULAR MEJORADO CON CEMENTO ASFALTICO EN CALIENTE 25
BASE ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA 26
MEZCLA ASFÁLTICA MDC-19 CON ASFALTO NORMALIZADO 60 – 70 ART. 450 -20 INVIAS 26
6.4 Dimensionamiento alternativas de diseño 27
6.4.1 1ª ALTERNATIVA DE DISEÑO 27
C.B.R. DE DISEÑO 27
PARAMETROS DE DISEÑO 1ª ALTERNATIVA 27

Estructura propuesta 1ª alternativa 28
MODELO ESTRUCTURAL EVALUADO 1ª ALTERNATIVA 28
verificacion DEL DISEÑO POR EL MÉTODO RACIONAL 1ª ALTERNATIVA 29
6.4.2 2ª ALTERNATIVA 30
C.B.R. DE DISEÑO 2ª ALTERNATIVA....30
Estructura propuesta 2ª alternativa 31
MODELO ESTRUCTURAL EVALUADO 2ª ALTERNATIVA 32
6.4.3 Estructura propuesta 3ª alternativa 33
C.B.R. DE DISEÑO 3ª ALTERNATIVA....33
Estructura propuesta 3ª alternativa 34
MODELO ESTRUCTURAL EVALUADO 3ª ALTERNATIVA 35
verificacion DEL DISEÑO POR EL MÉTODO RACIONAL 3ª ALTERNATIVA 35
6.4.4 4ª ALTERNATIVA 36
C.B.R. DE DISEÑO 4ª ALTERNATIVA....36
Estructura propuesta 4ª alternativa 37
MODELO ESTRUCTURAL EVALUADO 4ª ALTERNATIVA 38
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.... 39
REFERENCIAS 46
ANEXO 1....47

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 TABLA CLIMÁTICA // DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO IBAGUÉ 11
Tabla 2 Categorías de tránsito de diseño para la Guía....11
Tabla 3 Configuraciones de vehículos de carga, según la Resolución 1782 de 2009 12
Tabla 4 Categoría de tránsito de diseño 12
Tabla 5 Ubicación de las exploraciones a cielo abierto 13
Tabla 6 Descripcion Apique N°1 COMUNAS - MUNICIPIO DE IBAGUÉ....14
Tabla 7 Descripcion Apique N°2 COMUNAS - MUNICIPIO DE IBAGUÉ....15
Tabla 9. Características de las muestras obtenidas COMUNAS - MUNICIPIO DE IBAGUÉ - Departamento del Tolima 18
Tabla 10 Valores recomendados de K y μ, de acuerdo con el tipo de suelo 20
Tabla 11 Valores recomendados Carga de Cobertura con respecto a la altura para un camion C2G20
Tabla 12 Franja granulométrica del material de Recebo Art. 610 INVIAS 2022 24
Tabla 13 Requerimientos mínimos de las propiedades mecánicas....24
Tabla 14. Granulometría Subbase granular INVIAS – Art. 320 – 2.022 Clase "B".... 25
. Tabla 15Franjas granulométricas del material de base granular 25
Tabla 16Franja granulométrica de los materiales granulares mejorados con asfalto en caliente 25

Tabla 17. Franja granulométrica de los agregados para construcción de bases estabilizadas con emulsión asfáltica 26
Tabla 18Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua 26
Tabla 19. Parámetros de diseño para el método AASHTO 1ª ALTERNATIVA 27
Tabla 20. Cálculo Numero Estructural Requerido (Snrequerido) 27
Tabla 21. Espesores propuestos Primera Alternativa de Diseño de Pavimento Asfaltico 28
Tabla 22. Modelo Estructural AASHTO 83 Evaluado con criterios racionales - 1ª Alternativa de Diseño. 28
Tabla 23. Parámetros admisibles Metodología Racional de acuerdo con los parámetros de diseño 29
Tabla 24 Verificación de criterios racionales de diseño 30
Tabla 25. Parámetros de diseño para el método AASHTO 2ª ALTERNATIVA 30
Tabla 26. Cálculo Numero Estructural Requerido (Snrequerido) 2ª ALTERNATIVA 31
Tabla 27. Espesores propuestos 2ª Alternativa de Diseño de Pavimento Asfaltico 31
Tabla 28. Modelo Estructural AASHTO 83 Evaluado con criterios racionales - 2ª Alternativa de Diseño. 32
Tabla 29. Parámetros admisibles Metodología Racional de acuerdo con los parámetros de diseño 2ª ALTERNATIVA 32
Tabla 30 Verificación de criterios racionales de diseño 33
Tabla 31. Parámetros de diseño para el método AASHTO 2ª ALTERNATIVA 33
Tabla 32. Cálculo Numero Estructural Requerido (Snrequerido) 3ª ALTERNATIVA 34
Tabla 33. Espesores propuestos 3ª Alternativa de Diseño de Pavimento Asfaltico 34
Tabla 34. Modelo Estructural AASHTO 83 Evaluado con criterios racionales - 3ª Alternativa de Diseño. 35
Tabla 35. Parámetros admisibles Metodología Racional de acuerdo con los parámetros de diseño 3ª ALTERNATIVA 35
Tabla 36 Verificación de criterios racionales de diseño 36
Tabla 37. Parámetros de diseño para el método AASHTO 4ª ALTERNATIVA 36
Tabla 38. Cálculo Numero Estructural Requerido (Snrequerido) 4ª ALTERNATIVA 37
Tabla 39. Espesores propuestos 4ª Alternativa de Diseño de Pavimento Asfaltico 37
Tabla 40. Modelo Estructural AASHTO 83 Evaluado con criterios racionales - 4ª Alternativa de Diseño. 38
Tabla 41. Parámetros admisibles Metodología Racional de acuerdo con los parámetros de diseño 4ª ALTERNATIVA 38
Tabla 42 Verificación de criterios racionales de diseño 39

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura: N° 1. Localización general del proyecto - Municipio de Ibagué – Departamento del Tolima 8
Figura: N° 2. Geología proyecto Plancha 244 Ibagué 9
Figura: N° 3 Registro Fotográfico Apique N°1 Apique N°1 COMUNAS- MUNICIPIO DE IBAGUÉ 15
Figura: N° 4 Registro Fotográfico Apique 2 COMUNAS - MUNICIPIO DE IBAGUÉ 16

Figura: N° 6 Perfil Estratigráfico COMUNAS 17
Figura: N° 7 Deflexión en Tuberías por Efecto de las Solicitaciones por Relleno y Carga Viva..... 19
Figura: N° 8 Diagrama de Cimentación COMUNAS - MUNICIPIO DE IBAGUÉ - Departamento del Tolima 21
Figura: N° 9 Estructura de Pavimento Asfaltico 30
Figura: N° 10 Estructura de Pavimento Asfaltico 2ª Alternativa 33
Figura: N° 11 Estructura de Pavimento Asfaltico..... 36
Figura: N° 12 Estructura de Pavimento Asfaltico 4ª Alternativa 39
ANEXOS
Anexo 1. Memorias de diseño de pavimentos

1 INTRODUCCIÓN

En el desarrollo del Plan 'Combo 3×1', la Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado, IBAL, hará el cambio de tuberías de acueducto, modernización de redes de alcantarillado y pavimentación de las más de 74 vías en la Ciudad de Ibagué Departamento del Tolima, se presenta en este documento el diseño de la estructura de pavimento a construir en la IBAGUE - DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, a partir de la información suministrada por la compañía INGEOCONSULTORES S.A.S, donde se presenta localización de la Vía, resumen de las exploraciones geotécnicas adelantadas, determinación del perfil estratigráfico de los suelos de subrasante, y descripción geológica general del sector.

2 OBJETIVO

El presente documento tiene como objetivo presentar el diseño de la estructura de pavimentos, a construir en vías del municipio de Ibagué, para la ejecución de la obra contratada, con la debida calidad, garantizando la durabilidad, resistencia, estabilidad y funcionalidad de esta.

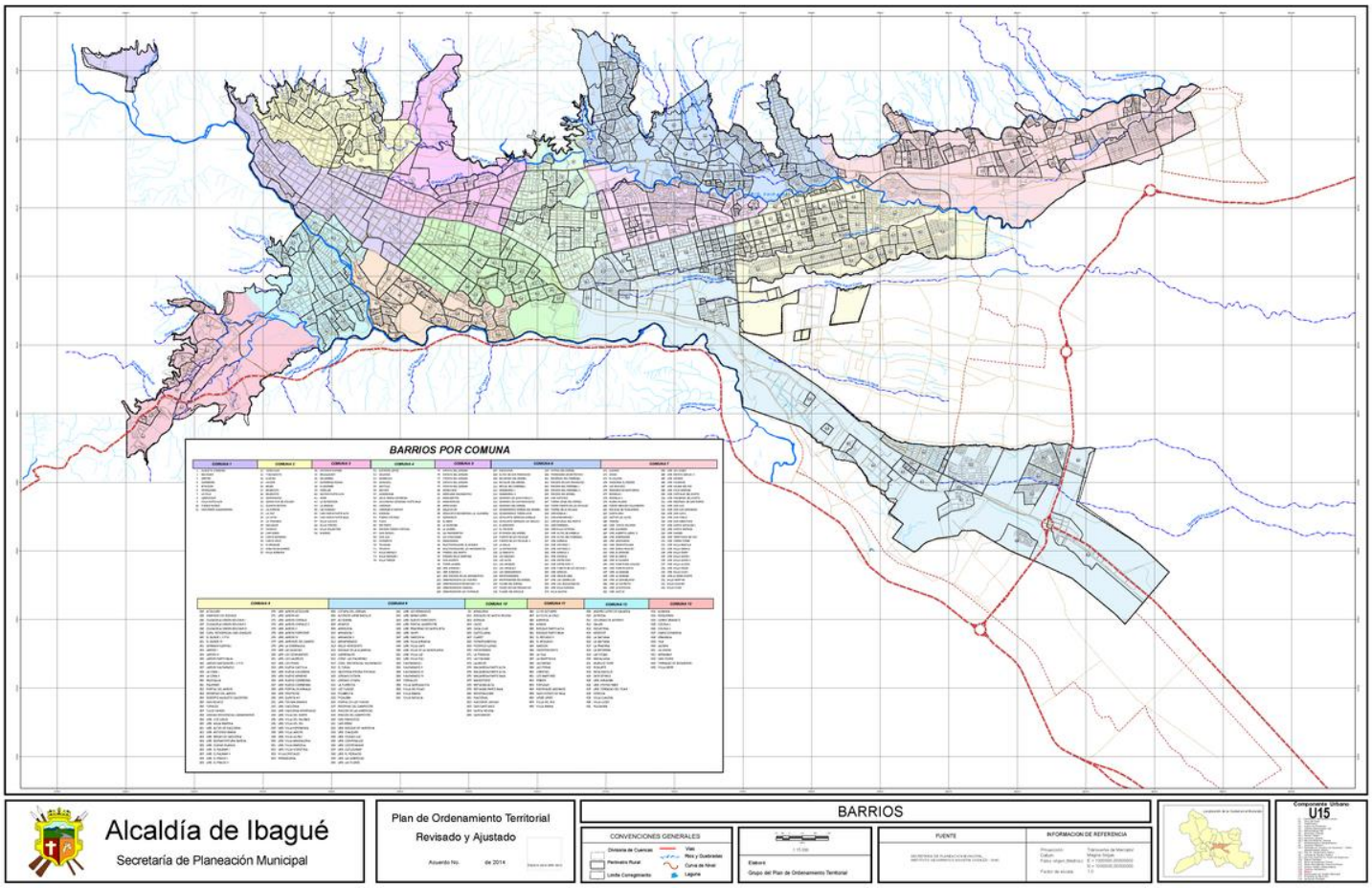
3 ALCANCE

A partir de las características geotécnicas de los materiales existentes en la estructura de pavimento de la de la red vial de la Ciudad de Ibagué, la descripción geológica general del sector, el resumen de las exploraciones geotécnicas adelantadas, mediante las cuales se determinó del perfil estratigráfico de los suelos de subrasante, la asignó el tránsito de diseño y se define los espesores de pavimento flexible a construir.

Alguno de los alcances del diseño de pavimentos es:

- Diseñar espesores de pavimento que sean lo suficientemente resistente para soportar las cargas de tráfico previstas sin sufrir daños significativos, considerando factores como el peso y la frecuencia del tráfico.
- Diseñar una estructura de pavimento que tenga una vida útil de 10 años y requieran un mantenimiento mínimo durante su ciclo de vida. Esto implica la selección de materiales de alta calidad y métodos de construcción adecuados.
- Optimizar el diseño para minimizar los costos de construcción y mantenimiento a lo largo del ciclo de vida del pavimento, teniendo en cuenta factores como el costo de los materiales, la mano de obra y el consumo de energía.
- Proponer un adecuado sistema de drenaje para evitar la acumulación de agua en la superficie del pavimento, lo que puede causar daños y reducir la seguridad.
- Hay que asegurar que el diseño del pavimento cumpla con las normativas y regulaciones locales y nacionales, incluyendo estándares de diseño, resistencia y seguridad

La Fuente: https://www.**google.com/maps/**
Figura: N° 1. muestra la localización general del MUNICIPIO DE IBAGUE



Fuente: https://www.google.com/maps/
Figura: N° 1. Localización general del Municipio de Ibagué – Departamento del Tolima

4 INFORMACIÓN EXISTENTE

En este numeral se presenta una recopilación y análisis de toda la información que representa alguna utilidad para el proyecto. La información hace referencia principalmente a los siguientes aspectos, tales como Geología, Geotécnica, Tránsito y Factores ambientales del proyecto.

4.1 GEOLOGÍA GENERAL

El territorio de la ciudad de Ibagué está ubicado en la zona andina donde los mayores rasgos morfotectónicos son las cordilleras Central y Oriental y el valle del río Magdalena, accidentes relacionados con posibles fenómenos distendidos en el Jurásico y compresivos en el Cenozoico, a los que se asocia el levantamiento de las cordilleras y la depresión del Magdalena.

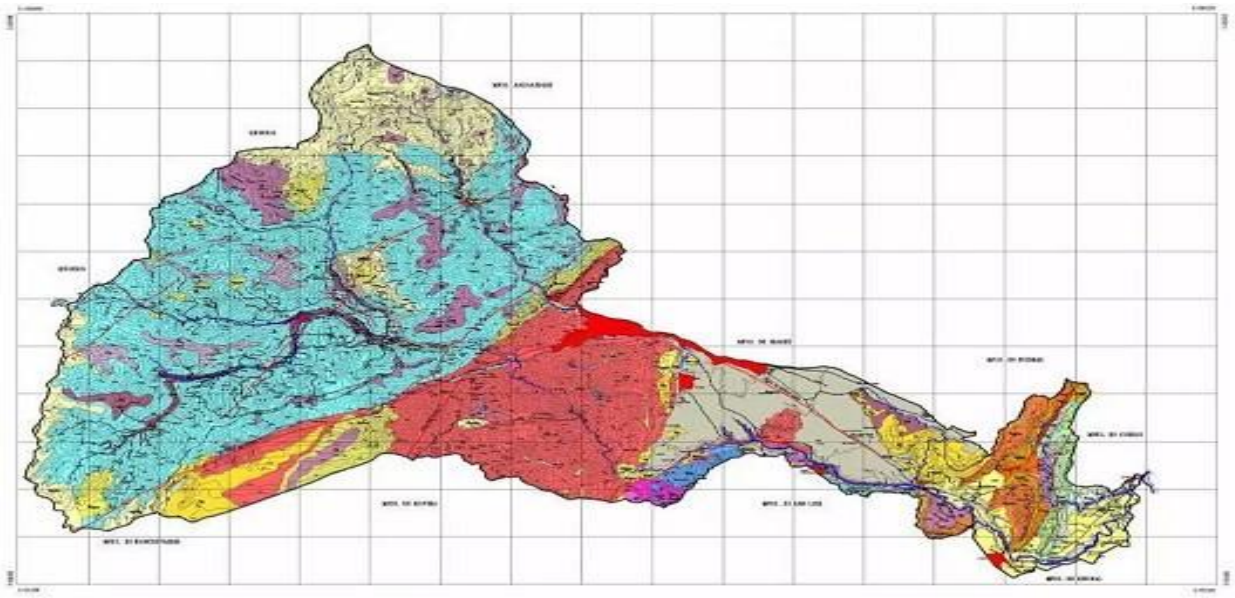
Ibagué se encuentra emplazada en una zona altamente amenazada por eventos sísmicos

y volcánicos, el abanico aluvial de Ibagué cubre un área de aproximadamente 650 km2, con una longitud de unos 40 km. sobre su eje longitudinal, siendo esta la más grande manifestación de la intensa actividad glacio - volcánica de la cordillera Central, durante el Holoceno y el Pleistoceno

Abanico de Ibagué (Qac). Es la unidad geomorfológica que va a absorber la casi totalidad de su desarrollo. Urbanístico de Ibagué. Tiene más de 150 m de espesor en su parte más gruesa; que se compone en un 85% de fragmentos de roca volcánica, 10% de rocas metamórficas del tipo esquistos y anfibolitas y el 5% restante en granodiorita.

De forma general los abanicos de Ibagué, Espinal y Guamo se han presentado por eventos de carácter Volcánico alimentados por el Volcán Nevado del Tolima y Machi respectivamente a continuación se citan los principales aportes de la memoria técnica de la Plancha 245 de INGEOMINAS.

El abanico de Ibagué está cubriendo discordantemente a rocas intrusivas del batolito de Ibagué (Jurásico), a rocas sedimentarias del grupo Gualanday (Eoceno-Oligoceno) y a rocas sedimentarias de la formación Honda (Mioceno). Los materiales que lo conforman descendieron por el río Combeima.



Fuente: - INGEOMINAS
Figura: N° 2. Geología proyecto Plancha 244 Ibagué

4.2 GEOLOGÍA LOCAL

La ciudad de Ibagué y se caracteriza por ser la comuna con mayor extensión, en donde se han desarrollado áreas de enclave como son los clubes recreativos y de carácter institucional como la Cárcel y la Casa de la Moneda, es considerada un área de desarrollo industrial, a lo largo de la vía que conduce a Bogota DC y polo de desarrollo de importantes proyectos de vivienda de interés social, como la urbanización Villa Café, Las Américas y Los Tunjos.

4.3 ESTADO ACTUAL VIAS - MUNICIPIO DE IBAGUÉ, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

La vía presenta una estructura de pavimento, flexible en mal estado de servicio se distingue la presencia en algunas áreas de una capa asfáltica con un espesor entre 7.0 a 12 centímetros, apoyada sobre un material granular tipo espesor variable de 20 a 70 cm. Como material de subrasante presenta un suelo limo-arcilloso de color beige, gris y café oscuro con betas de material orgánico de alta plasticidad.

Así mismo se encuentran referenciados pozos de inspección y gas domiciliario, no se percibe contaminación con aguas residuales. La zona no presenta zonas verdes que pueden afectar de forma estructural el pavimento.

4.4 CLIMA

De la información obtenida en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, El territorio del municipio de Ibagué se mantiene a una altitud promedio de 1285 metros sobre el nivel del mar.

Este se emplaza sobre un valle que está limitado por un afluente de Combeima y el río Coello, próximo a la cordillera central del país. El clima en la Comunas de Ibagué es tropical, experimenta un volumen considerable de precipitaciones a lo largo del año. La temperatura es en promedio 20.7 °C. La precipitación anual es de aproximadamente 2859 mm.

Tabla 1 TABLA CLIMÁTICA // DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO IBAGUÉ

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	20.6	21.1	21	20.5	20.4	20.6	20.9	21.8	21.8	20.4	19.8	20.2
Temperatura min. (°C)	17.2	17.6	17.4	17.2	17.2	17.6	17.7	18.4	18.2	16.9	16.2	16.6
Temperatura máx. (°C)	24.3	24.9	24.7	23.9	23.6	23.8	24.4	25.8	26	24.1	23.3	23.7
Precipitación (mm)	119	155	316	382	347	218	180	152	223	324	287	156
Humedad(%)	73%	71%	74%	82%	83%	78%	73%	66%	67%	80%	84%	80%
Días lluviosos (días)	14	15	19	20	21	20	20	19	19	21	19	16
Horas de sol (horas)	7.2	7.3	6.8	6.2	6.0	6.5	6.8	7.2	6.9	6.1	6.1	6.8

Fuente: climate-data.org

4.5 TRÁNSITO

La confianza del diseño de pavimentos está basada en una adecuada valoración de la variable tránsito para la realización de las etapas de análisis estructural y diseño de las estructuras de pavimento.

Esta consultaría considera importante tomar como referencia la GUÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C, con el fin de definir el Numero de ejes de diseño. En una vía local este parámetro de diseño influyen en mayor magnitud, puesto que el tiempo de aplicación de la carga es mayor debido a que la velocidad de diseño es inferior si se compara con vías principales.

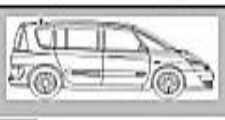
Tabla 2 Categorías de tránsito de diseño para la Guía.

Denominación	Número de vehículos comerciales día
T1-1	$T \leq 50$
T2-1	$51 < T \leq 100$
T2-2	$100 < T < 150$

Fuente: GUÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C

A partir de la anterior reflexión, se adoptan los parámetros considerados en dicho documento, tales como: Se consideran vehículos pesados aquellos con una carga mayor neta a 3.5 toneladas. Para vías locales, se estima que pasarán vehículos que se escriben en la Tabla 3 Configuraciones de vehículos de carga, según la Resolución 1782 de 2009, puesto que vehículos pesados de una mayor clasificación necesitarían de condiciones geométricas amplias difíciles de encontrar en este tipo de vía.

Tabla 3 Configuraciones de vehículos de carga, según la Resolución 1782 de 2009 Ministerio de Transporte

Configuración tipo	Esquema del vehículo	Peso Bruto (t)
Camioneta		3.0–3.6
Van		3.2–3.9
Bus		17.0

Fuente: GUÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C

4.5.1 DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO DE DISEÑO

De acuerdo con la Guía de Diseño se identificó la categoría de tránsito asociada a utilizar en dimensionamiento de las cargas que afectaran la de Ibagué se clasifica como T2-2. En la Tabla

4 Categoría de tránsito de diseño se presentan las tres categorías determinadas de acuerdo con la clasificación establecida por el IDU, (INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO DE BOGOTÁ).

Tabla 4 Categoría de tránsito de diseño municipio – Ibagué

Denominación	Número de vehículos comerciales día	NEE (Número de ejes equivalente de 8.2 T) para 20 años – Pavimento rígido	NEE (Número de ejes equivalente de 8.2 T) para 10 años – Pavimento flexible y articulado
T1–1	VDPo ≤ 50	NEE ≤ 2.345.000	NEE ≤ 615.000
T2–1	50 < VDPo ≤ 100	2.345.000 < NEE ≤ 4.690.000	615.000 < NEE ≤ 1.235.000
T2–2	100 < VDPo ≤ 150	4.690.000 < NEE ≤ 7.000.000	1.235.000 < NEE ≤ 1.855.000

Fuente: GUÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C

Se define como tránsito de diseño para determinar el **Numero de ejes equivalentes a 8.2 Ton para 10 años 1.235 E+06**, donde quedan incluidos los tres componentes del tránsito, (Normal, Atraído y Generado).

4.5.2 VELOCIDAD DE DISEÑO

La velocidad reglamentaria para vías locales es de 30 km/h de acuerdo con lo establecido en el Decreto 015 del 6 de enero de 2011 del Ministerio de Transporte.

4.5.3 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

La exploración geotécnica es importante para el diseño de pavimentos flexibles, se busca comprender las características del suelo existentes para garantizar un diseño resistente y duradero. Se realizan apiques, análisis de muestras de suelo y ensayos in situ.

La información obtenida ayuda a determinar la capacidad de carga del suelo, su compactación, contenido de agua y otras propiedades que afectaran directamente la calidad del pavimento. Esto es esencial para elegir adecuadamente los materiales y las capas que compondrán la estructura de pavimento.

Para tal fin, la compañía INGECONSULTORES S.A.S., adelanto la investigación geotécnica el realizó el 25 de enero/2024 y consistió en la ejecución de tres, (3), apiques llevados hasta la profundidad de 1.50 m, se tomaron muestras de los materiales existentes.

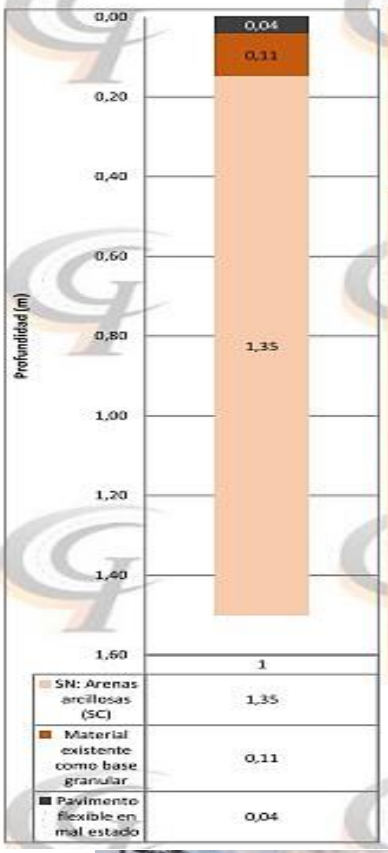
Cada una de las muestras recobradas fueron clasificadas según el método AASHTO y UCS, por medio de ensayos de granulometría y límites de Atterberg, adicionalmente se determinó la humedad natural de la masa de suelo encontrándose con una plasticidad media – alta, de manera general se presentó un suelo limoso y arcilloso de alta plasticidad de consistencia rígida.

5.2.1 CARACTERISTICAS ACTUALES DEL TERRENO

A continuación, se presenta el registro de las exploraciones adelantadas:

Tabla 6 Descripcion Apique N°1

Estratigrafía Apique N° 1



Profundidad	Descripción Estrato
0,00 - 0,04	Materila granular con presencia de escombros
0,04 - 0,15	Materila existente como Base granular
0,15 - 1,50	Suelo natural, Arenas arcillosas (SC) Humedad Natural: 16,8 % Límite liquido: 43,5 % Límite plástico: 27,6 % Índice de plasticidad: 15,9 % Estrato de consistencia alta. Se recuperó muestra inalterada para ensayo CBR en condición natural e inmersión por 4 días, asi mismo, se recuperaron muestras alteradas para clasificación de suelo y humedad natural. Continúa el mismo con un alto grado de compactación. No se evidenció presencia de nivel freático.



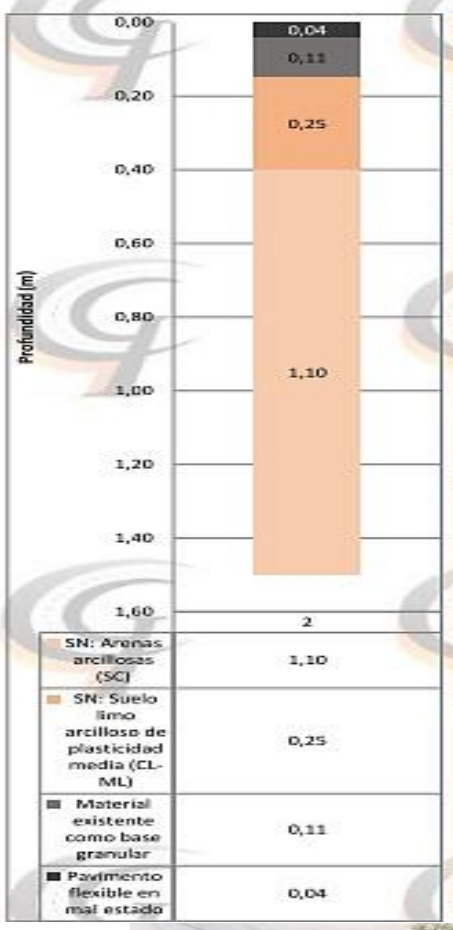


MUNICIPIO DE IBAGUÉ

Fuente: CO-3058 OS-26109 2024-01-31 -1.0 exploración campo - INGECONSULTORES SAS Figura: N° 3 Registro Fotográfico Apique N°1 Apique N°1 MUNICIPIO DE IBAGUÉ

Tabla 7 Descripcion Apique N°2

Estratigrafía Apique N° 2



Profundidad	Descripción Estrato
0,00 - 0,04	Pavimento flexible en mal estado.
0,04 - 0,15	Material existente como base granular Estrato granular color café medianamente compacto.
0,15 - 0,40	Suelo natural, Suelo limo arcilloso de plasticidad media (CL-ML) Humedad Natural: 15,6 % Límite líquido: 45,8 % Límite plástico: 28,8 % Índice de plasticidad: 17,0 % Estrato de consistencia alta. Se recuperó muestra inalterada para ensayo CBR en condición natural e inmersión por 4 días, así mismo, se recuperaron muestras alteradas para clasificación de suelo y humedad natural.
0,40 - 1,50	Suelo natural, Arenas arcillosas (SC) Humedad Natural: 14,4 % Límite líquido: 41,2 % Límite plástico: 25,9 % Índice de plasticidad: 15,3 % Estrato de consistencia alta. Se recuperaron muestras alteradas para clasificación de suelo y humedad natural. Continúa el mismo con un alto grado de compactación. No se evidenció presencia de nivel freático.





Fuente: CO-3058 OS-26109 2024-01-31 -1.0 exploración campo - INGECONSULTORES SAS

Figura: N° 4 Registro Fotográfico Apique 2 - MUNICIPIO DE IBAGUÉ

5.2.2 PERFIL ESTRATIGRÁFICO

A continuación, se presenta un cuadro resumen con las profundidades de las exploraciones geotécnicas desarrolladas y posteriormente los ensayos realizados y al tipo de muestras a las cuales se analizaron presentando los siguientes resultados:



Fuente: CO-3058 OS-26109 2024-01-31 -1.0 exploración campo - INGECONSULTORES SAS

Figura: N° 5 Perfil Estratigráfico

La exploración del área donde se realizaron los apiques muestra rezagos de una capa asfáltica en mal estado con un espesor que varía entre 0.00 a 0.04 m, apoyada sobre un material granular tipo base granular con espesores entre 0.04 a 0.15 m, y estos a su vez apoyados sobre el suelo natural que funciona como subrasante y descrito como CL-ML, con un Índice de Plasticidad alrededor del 16.0%, que indica que el suelo tiene una proporción significativa de partículas de arcilla. Las partículas de arcilla son pequeñas y tienen una alta capacidad de retención de agua.

CL (Arcillas de baja compresibilidad): Este grupo incluye suelos con un límite líquido por debajo del 50% e índice de plasticidad superior a 7%. Estos suelos se encuentran por encima de la línea A en el gráfico de plasticidad.

ML (Limos de baja compresibilidad): Los suelos ML son limos inorgánicos con baja compresibilidad.

En la vía se detecta la presencia de pozos de inspección, alcantarillado, red de agua potable y red de gas domiciliario y no se logra percibir contaminación con aguas residuales, en la zona se observan zonas verdes

5.2.3 CBR DE DISEÑO

En la exploración realizada, no se detectaron filtraciones de agua, sin embargo, debido al tipo de suelo que constituye la subrasante, se hace necesario incluir un geotextil NT 2400, con el propósito de evitar migración de finos que pueden afectar la respuesta mecánica de las capas superiores. Estos materiales pueden afectar el índice de plasticidad de los materiales granulares y tender a disminuir su capacidad portante.

Tabla 8. Características de las muestras obtenidas MUNICIPIO DE IBAGUÉ - Departamento del Tolima

N°	Abscisa	Estrato	% Gravas	% Arenas	% Finos	LL	IP	W%	Clasif. AASHTO	Clasif. U.S.C.	C.B.R Inalterado	C.B.R Inalterado Sumergido	Expansión (%)	C.B.R. método cono dinámico
1	Apique N° 1	Suelo natural, muestra recuperada de 0,15 a 1,50m de profundidad.	13,4	38,1	48,6	43,5	15,9	16,8%	A - 7 - 6	SC	4,2	1,8	1,2%	8,6
2	Apique N° 2	Suelo natural, muestra recuperada de 0,15 a 0,40m de profundidad.	10,3	22,4	67,4	45,8	17,0	15,6%	A - 7 - 6	CL - ML	3,9	1,6	1,3%	14,6

Fuente: CO-3058 OS-26109 2024-01-31 -1.0 exploración campo - INGECONSULTORES SAS

Se define como C.B.R representativo del sector explorado de 1.6%

5 DISEÑO DE PAVIMENTOS

El diseño de pavimentos es un proceso crucial en la construcción de la vía, cuyo objetivo es crear una estructura de pavimento que sea capaz de soportar las cargas del tráfico, resistir las condiciones climáticas y proporcionar una superficie segura y cómoda para los usuarios. Dadas las condiciones locales, (Precipitaciones altas, Incertidumbre en el crecimiento del tránsito y deficientes programas de mantenimiento), esta consultoría recomienda la construcción de un pavimento flexible con un periodo de vida útil de 10 años.

ML (Limos de baja compresibilidad): Los suelos ML son limos inorgánicos con baja compresibilidad.

En la vía se detecta la presencia de pozos de inspección, alcantarillado, red de agua potable y red de gas domiciliario y no se logra percibir contaminación con aguas residuales, en la zona se observan zonas verdes

5.2.4 CBR DE DISEÑO

En la exploración realizada, no se detectaron filtraciones de agua, sin embargo, debido al tipo de suelo que constituye la subrasante, se hace necesario incluir un geotextil NT 2400, con el propósito de evitar migración de finos que pueden afectar la respuesta mecánica de las capas superiores. Estos materiales pueden afectar el índice de plasticidad de los materiales granulares y tender a disminuir su capacidad portante.

Tabla 8. Características de las muestras obtenidas MUNICIPIO DE IBAGUÉ - Departamento del Tolima

N°	Abscisa	Estrato	% Gravas	% Arenas	% Finos	LL	IP	W%	Clasif. AASHTO	Clasif. U.S.C.	C.B.R Inalterado	C.B.R Inalterado Sumergido	Expansión (%)	C.B.R. método cono dinámico
1	Apique N° 1	Suelo natural, muestra recuperada de 0,15 a 1,50m de profundidad.	13,4	38,1	48,6	43,5	15,9	16,8%	A - 7 - 6	SC	4,2	1,8	1,2%	8,6
2	Apique N° 2	Suelo natural, muestra recuperada de 0,15 a 0,40m de profundidad.	10,3	22,4	67,4	45,8	17,0	15,6%	A - 7 - 6	CL - ML	3,9	1,6	1,3%	14,6

Fuente: CO-3058 OS-26109 2024-01-31 -1.0 exploración campo - INGECONSULTORES SAS

Se define como C.B.R representativo del sector explorado de 1.6%

6 DISEÑO DE PAVIMENTOS

El diseño de pavimentos es un proceso crucial en la construcción de la vía, cuyo objetivo es crear una estructura de pavimento que sea capaz de soportar las cargas del tráfico, resistir las condiciones climáticas y proporcionar una superficie segura y cómoda para los usuarios. Dadas las condiciones locales, (Precipitaciones altas, Incertidumbre en el crecimiento del tránsito y deficientes programas de mantenimiento), esta consultoría recomienda la construcción de un pavimento flexible con un periodo de vida útil de 10 años.

6.1 CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN EN TUBERÍAS POR EFECTO DE LAS SOLICITACIONES POR RELLENO Y CARGA VIVA

Adicionalmente al diseño de los espesores de la estructura de pavimento, es necesario revisar el efecto de las Solicitaciones por Relleno (o Carga Muerta) así como las Cargas Vehiculares (Carga Viva), lo cual es estimado considerando que la Deflexión en Tuberías (Δx) no supere un valor máximo permisible,

En la siguiente figura se esquematiza la instalación de una tubería en Zanja y la Deflexión generada por las Cargas de Relleno y Viva:

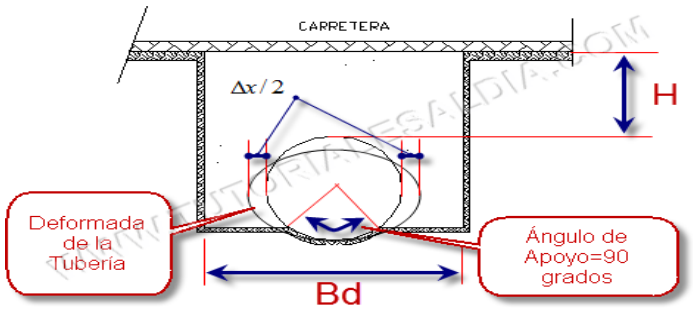


Figura: N° 6 Deflexión en Tuberías por Efecto de las Solicitaciones por Relleno y Carga Viva

El cálculo de cargas y deformaciones en tuberías debe realizarse tanto para tuberías rígidas y flexibles instaladas en una variedad de condiciones incluyendo instalaciones enterradas en el terreno natural o instalaciones superficiales.

Para efectos del presente diseño, se define como tubería flexible aquella cuya sección transversal puede deflectarse al menos un 2% sin mostrar signos de sobreesfuerzo, agrietamiento o similares, de manera que ésta define su capacidad de carga de la presión pasiva del suelo en los lados de la tubería.

Tubería-en-Zanja

Para la determinación de la Deflexión en Tuberías por Efecto de las Solicitaciones por Relleno y Carga Viva, se utiliza la ecuación planteada por M. Spangler:

Calculo-Deflexión en Tuberías Formula de Spangler

$$\Delta x = D_1 \frac{K \times W \times r^3}{E \times I + 0{,}061 \times E' \times r^3}$$

En Donde:

Δx: Es la deformación horizontal, la cual se limita a los siguientes valores:

para tuberías flexible : Δx < 2%

D1: Factor que considera la Deflexión en Tuberías a largo plazo (cedencia). Se emplea normalmente un valor de 1,30, oscilando entre 1,25 y 1,50.

K: Coeficiente que depende del tipo de apoyo de la tubería en la zanja, se utiliza con frecuencia un valor igual a 0,10 (ángulo de apoyo = 90º).
Wt: Es la carga total que actúa sobre la tubería, la cual se determina mediante las siguientes expresiones:

$$Wt = Wr + Wcv$$

Siendo Wr (Carga de Relleno sobre Tuberías)

$$Wr_{\left[\frac{F}{L}\right]} = Cd \times \gamma s \times Bd^2 \left(\frac{D}{Bd}\right)$$

Ecuación de Marston

Donde:
Cd: Es el Coeficiente de carga, el cual queda definido de acuerdo con la ecuación:

$$Cd = \frac{1 - e^{-2K\mu\left(\frac{H}{Bd}\right)}}{2K\mu}$$

Tabla 9 Valores recomendados de K y µ, de acuerdo con el tipo de suelo

Tipo de Suelo	Módulo de Rankine (K)	Coeficiente de Fricción Relleno-Paredes de la Zanja (µ)
Arena Húmeda o seca	0,33	0,50
Arcilla Saturada	0,37	0,30

γs: Peso específico del material de relleno.
Bd: Ancho de la zanja.

A falta de información sobre el ancho de la zanja, se puede suponer que: Bd=0,60 + D.
Wcv (Kg/m2) (Carga Viva): se obtiene a partir de la Tabla 10

Tabla 10 Valores recomendados Carga de Cobertura con respecto a la altura para un camion C2G

Altura de Cobertura H (m)	Wcv (Kg/m²)
0,30	8.788
0,60	3.906
0,90	2.929
1,20	1.953
1,50	1.221
1,80	976
2,10	854
2,40	488

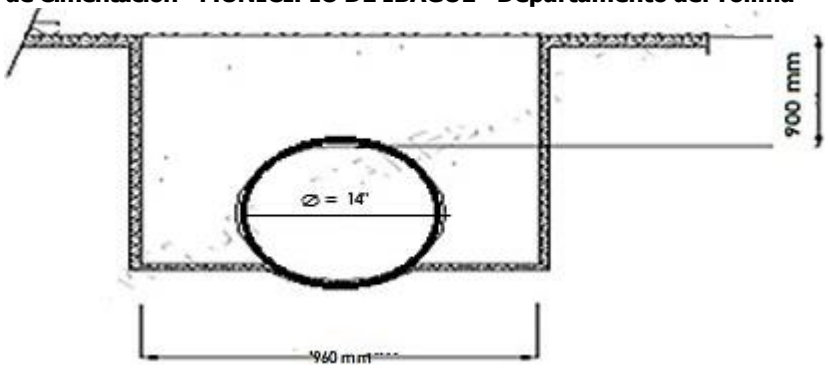
Nota1: Los valores presentados en la tabla anterior están expresados en Kg/m2, así que las cargas deben ser multiplicadas por el diámetro de la tubería a fin de obtener [Kgf/m], para hacerla compatible con la Ecuación de Marston (Wr).
Nota2: Para Alturas de Cobertura superiores a los 2,40 m, se puede omitir el efecto de la Carga Viva en el cálculo de la Deflexión en Tuberías.

r:Radio medio de la tubería (m).
E:Módulo de Elasticidad del material de la tubería
(Acero = 2,1 x 1010 Kg/m2 – HFD = 6×109 Kg/m2-PVC = 2,81×104 Kg/cm2).
I:Momento de Inercia de una sección rectangular de tubería, de altura e y base de longitud unitaria. I=e3/12.
E': Módulo de reacción del suelo=49,20 Kg/cm2 (700 psi, propuesto por Spangler).

Datos-Ejemplo-Deflexión en Tubería Ø = 16"

Determinación de la Deflexión en Tuberías colocada en zanja mostrada en la **Figura: N° 7 Diagrama de Cimentación** . La tubería soporta el paso de vehículos sin sufrir deformaciones superiores al 2% del diámetro. La tubería es de PVC de DN 630 mm y 9.20 mm de espesor de pared.

Figura: N° 7 Diagrama de Cimentación - MUNICIPIO DE IBAGUÉ - Departamento del Tolima



Diámetro Tubería Ø = 20"
Espesor tubería "e"= 5.5 mm
Peso unitario material de relleno γ= 1750Kg/m3
Módulo de reacción del suelo=49,20 Kg/cm2

Cálculo de la Carga sobre la Tubería

$$\frac{H}{Bd} = \frac{0.90m}{0.96} = 0.94$$

Suelo de subrasante: arcilla saturada (K=0,37; μ=0,30), Cd=0,774

Carga de Relleno : $Wr = 0.850 \times 1.750 \times 0.96^2 \times \frac{0.36}{0.96} = 505Kg/m$

Carga Viva: Según la tabla (Camión Carretero H-20), para una altura de cobertura de 0.9 m

$$\text{Wcv} = 2.600\,\frac{Kg}{m^2} \times 0.36m = 739Kg/m$$

Carga Total para el cálculo de la Deflexión en la Tubería:

$$W = 505\ Kg/m + 739\ Kg/m = 1.245 Kg/m$$

Cálculo de Deflexión en la Tubería:

$$\Delta x = \frac{0.10 \times 2.1769 \times 0.23^3}{2{,}81 \times 10^4 \times (\frac{0.0055^3}{12}) + 0.061 \times 49.20 \times 10^4 \times 0.23^3} = 0.00498m = 4.98mm$$

Deflexión Relativa:

$$\frac{\Delta x}{D} = \frac{4.98}{36} \times 100 = 1.40\%$$

Lo cual nos indica que la Deflexión en la Tubería es menor al valor permisible de 2% establecido en la especificación.

Se debe instalar la tubería sobre un lecho filtrante con un espesor de 10 cm, compuesto por gravas de ¾" dada la baja capacidad portante de la subrasante

6.2 DISEÑO DE ESPESORES DE CAPAS DE PAVIMENTO

Determinar los espesores de pavimento es una parte crítica del diseño de pavimentos, ya que estos permiten garantizar que la estructura sea suficientemente resistente para soportar el tráfico y las condiciones climáticas.

Para los cálculos de espesor se utilizan los métodos de diseño, AASHTO -93 y la verificación racional de los mismos, mediante las ecuaciones formuladas por la compañía Shell.
Estos métodos toman en cuenta las propiedades del suelo, el tráfico, la climatología y otros factores para determinar los espesores adecuados de cada capa del pavimento.

Los valores de los coeficientes de drenaje (mi) utilizados para las capas granulares se determinan de acuerdo con el criterio de la Tabla 8.2 del Manual de Diseño de pavimentos Asfálticos en Vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito (INVIAS, 1998), mi= 0.9 para precipitación mayores que 2,000 mm.

6.2.1 ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN

El objetivo principal del diseño de pavimentos es crear una superficie resistente y segura que pueda soportar las cargas de tráfico previstas durante su vida útil sin sufrir un deterioro prematuro. Para el diseño de la rehabilitación de la estructura de pavimento, se recomienda considerar la baja capacidad portante de la subrasante, a partir de esto se proponen las siguientes alternativas:

1ª ALTERNATIVA

- ✓ A partir de recebo,(Art.610 INVIAS 2022), empleado como relleno de la tubería y el material remanente, se propone instalar un Geotextil de separación Tipo NT 2500 y construir una Subbase granular, en el espesor que indique el diseño estructural bajo los lineamientos del artículo 320 - INVIAS 2022.

- ✓ A partir de la Subbase granular, se propone construir una capa de Base granular, en el espesor que indique el diseño estructural bajo los lineamientos del artículo 330 - INVIAS 2.020.

- ✓ Se propone la Construcción una capa asfáltica Tipo MDC-19 producida con asfalto normalizado 60 – 70, en el espesor que determine el diseño estructural, bajo los lineamientos del Art. 450 de INVIAS 2.022.

2ª ALTERNATIVA

- A partir de recebo,(Art.610 INVIAS 2022), empleado como relleno de la tubería y del material remanente, se propone construir un capa con Material Granular Estabilizado con Asfalto en Caliente, en el espesor que indique el diseño estructural bajo los lineamientos del Esp. 522-18 - IDU 2.018.

- Se propone la Construcción una capa asfáltica Tipo MDC-19 producida con asfalto normalizado 60 – 70, en el espesor que determine el diseño estructural, bajo los lineamientos del Art. 450 de INVIAS 2022.

3ª ALTERNATIVA

0 A partir de recebo,(Art.610 INVIAS 2022), empleado como relleno de la tubería y el material remanente, se propone instalar un Geotextil de separación Tipo NT 2500 y construir una Base granular, en el espesor que indique el diseño estructural bajo los lineamientos del artículo 320 - INVIAS 2.022.

- Se propone la Construcción una capa asfáltica Tipo MDC-19 producida con asfalto normalizado 60 – 70, en el espesor que determine el diseño estructural, bajo los lineamientos del Art. 450 de INVIAS 2.022.

4ª ALTERNATIVA

- A partir de recebo,(Art.610 INVIAS 2022), empleado como relleno de la tubería y del material remanente, se propone construir un capa con Material Granular Estabilizado con emulsión asfáltica, en el espesor que indique el diseño estructural bajo los lineamientos del Art. 340 – INIVIAS DU 2.022.

- Se propone la Construcción una capa asfáltica Tipo MDC-19 producida con asfalto normalizado 60 – 70, en el espesor que determine el diseño estructural, bajo los lineamientos del Art. 450 de INVIAS 2.022.

6.3 MATERIALES

Para el diseño de las alternativas de pavimento son considerados los siguientes materiales:

RECEBO Artículo 610 – 20

Material granular **"Recebo",** se refiere a una capa de material conformada por partículas de **tamaño máximo 75 mm**, como grava, piedra triturada o arena, que se utiliza en la construcción de carreteras **en llenos** para proporcionar una base firme y estable. Con un desgaste en máquina de los ángeles <50% y CBR> 10%.

Este tipo de material se compacta y consolida para formar una superficie robusta y resistente que puede soportar cargas vehiculares. El proceso de lleno implica compactar y nivelar el material granular para mejorar su capacidad de carga y estabilidad.

En resumen, el Recebo, se utiliza como una capa granular en la construcción de carreteras u otras infraestructuras para proporcionar una base sólida y resistente a las cargas, contribuyendo a la durabilidad y estabilidad de la superficie.

Tabla 11 Franja granulométrica del material de Recebo Art. 610 INVIAS 2022

TIPO DE GRADACIÓN A-38	75	38	25	4.75	2.00	0.425	0.075
	1 ½"	1"	3/4"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
	100	-	70-100	30-75	30-50	13-30	5-30
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %		6 %			3 %

GEOTEXTIL SEPARACIÓN DE CAPAS GRANULARES

Se refiere al uso de un geotextil NT Tipo 2500 para prevenir la mezcla entre el material de recebo para llenar la zanja de la red de Acueducto y Alcantarillado. Además, el geotextil deberá permitir en todo momento el libre paso del agua.

Las propiedades requeridas del geotextil para separación son las que se muestran en la Tabla 12:

Tabla 12 Requerimientos mínimos de las propiedades mecánicas propiedades hidráulicas mínimas del geotextil

Propiedad	Norma de Ensayo	Valor Mínimo Promedio por Rollo (VMPR)(1)	
		Geotextiles Tejidos	Geotextiles No Tejidos
Elongación	INV E-901	< 50% (2)	> 50%(3)
Resistencia a la tensión Grab	INV E-901	1100 N	700 N
Resistencia a la costura	INV-E-901	990 N	630 N
Resistencia a la penetración con pistón de 50 mm de diámetro	INV-E-913	2200 N	1375 N
Resistencia al rasgado trapezoidal	INV E-903	400 N (4)	250 N

Propiedad	Norma de Ensayo	Valor Mínimo Promedio Por Rollo (VMPR)
Permitividad (5)	INV E-905	0.02 s^{-1}
Tamaño de Abertura Aparente (6)	INV E-907	0.60 mm
Estabilidad Ultravioleta	INV E-910	50% después de 500 h de exposición

SUBBASE GRANULAR ARTÍCULO 320 – 20

La "Subbase granular" es una capa de material que se coloca sobre la subrasante mejorada en la construcción de una estructura de pavimento. Es una capa de soporte intermedia entre la base granular y el suelo natural subyacente, diseñada para mejorar la resistencia y la capacidad de carga del pavimento.

La subbase granular está compuesta generalmente por agregados gruesos, como grava o piedra triturada, que se colocan y compactan en una capa uniforme debajo de la capa de base. Estos agregados deben cumplir el tamaño y calidad indicadas en con el Art. 320 – INVIAS 2022 para asegurar que tenga las propiedades de soporte necesarias.

Tabla 13. Granulometría Subbase granular INVIAS – Art. 320 – 2.022 Clase "B"

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)								
	50.0	37.5	25.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	2"	1 ½"	1"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
	% PASA								
SBG-38	-	100	75-95	55-85	45-75	30-60	20-45	8-30	2-15

La Subbase granular Clase "B" (INVIAS 330-22), desarrollara un módulo de 110 MPa (30,000 psi).

BASE GRANULAR ARTÍCULO 330 – 20

Capa granular que se coloca sobre la Subbase granular y se compacta para crear una plataforma resistente que puede distribuir de manera efectiva las cargas vehiculares y evitar el asentamiento no deseado. Este tipo de base es fundamental en vías , ya que contribuye a la durabilidad y vida útil de la infraestructura.

. Tabla 14Franjas granulométricas del material de base granular

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)							
	37.5	25.0	19.0	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	1 ½"	1"	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
	% PASA							
BASES GRANULARES DE GRADACIÓN FINA								
BG-38	100	70-100	60-90	45-75	30-60	20-45	10-30	5-15
BG-25	-	100	70-100	50-80	35-65	20-45	10-30	5-15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %			6 %			3 %

MATERIAL GRANULAR MEJORADO CON CEMENTO ASFALTICO EN CALIENTE

El Material Granular Mejorado con Asfalto en Caliente consiste en la mezcla de Subbases granulares más materiales disgregados de capas asfálticas de pavimentos en servicio o excedentes de una mezcla asfáltica no utilizada, instalado, sobre una superficie preparada, en una o varias capas de materiales granulares para formar parte de la estructura de un pavimento de acuerdo con lo indicado en los documentos del proyecto, La mezcla de MGMA y eventualmente aditivos, se debe producir en planta.

Tabla 15Franja granulométrica de los materiales granulares mejorados con asfalto en caliente

MATERIAL	TAMIZ (mm / U.S. Standard)							
	37.5	25.0	19.0	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	1 ½"	1"	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
	% PASA							
PULVERIZADO DEL PAVIMENTO EXISTENTE, AJUSTADO CON MATERIAL DE ADICIÓN CUANDO SE REQUIERA	100	75 -100	65- 100	45 - 75	30-60	20-45	10-30	5-20

BASE ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

Consiste en la construcción de una capa de material compuesta por la mezcla de material granular y emulsión asfáltica de rompimiento lento. Los materiales susceptibles de estabilizar con emulsión asfáltica pueden provenir de la trituración de roca de cantera o de grava, de fuentes de grava natural o estar constituidos por una mezcla de ambos. Independientemente de su procedencia, deben estar exentos de materia orgánica, terrones de arcilla o cualquier otra sustancia que pueda resultar nociva o inconveniente para el buen comportamiento de la capa estabilizada.

El agregado pétreo por estabilizar deberá presentar una gradación que se ajuste a la franja señaladas en la Tabla 17

Tabla 16. Franja granulométrica de los agregados para construcción de bases estabilizadas con emulsión asfáltica

TIPO DE MATERIAL	TAMIZ (mm / U.S. Standard)								
	37.5	25.0	12.5	9.5	4.75	2.36	0.425	0.150	0.075
	1 ½"	1"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 40	No. 100	No. 200
	% PASA								
BEE-38	100	70-100	50-80	45-75	30-60	20-45	10-27	5-18	3-15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de Trabajo (±)	5 %							3 %	

MEZCLA ASFÁLTICA MDC-19 CON ASFALTO NORMALIZADO 60 – 70 ART. 450 -20 INVIAS

La mezcla asfáltica de gradación continua se refiere a una combinación de agregados pétreos y asfalto, donde los tamaños de los agregados están distribuidos de manera continua. En otras palabras, en lugar de tener solo algunos tamaños de agregados específicos, se utiliza una gama más amplia de tamaños. Este tipo de mezcla busca optimizar la estructura interna del pavimento, mejorando la resistencia y la durabilidad. Al tener una distribución continua de tamaños de partículas, se logra una mayor compactibilidad y se reduce la posibilidad de segregación durante el proceso de colocación.

Tabla 17Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ (mm / U.S. Standard)									
		37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.180	0.075
		1 ½"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200
		% PASA									
DENSA	MDC-19			100	80-95	70- 88	49-65	29-45	14-25	8–17	4–8
TOLERANCIAS EN PRODUCCIÓN SOBRE LA FÓRMULA DE TRABAJO		-	4 %					3%			2%

6.4 DIMENSIONAMIENTO ALTERNATIVAS DE DISEÑO

6.4.1 1ª ALTERNATIVA DE DISEÑO

C.B.R. DE DISEÑO

Se considera 28 cm de material de relleno, (recebo Art. 610 INVIAS 2022) de la zanja de la tubería como mejoramiento de la capacidad portante de la Subrasante.

CBRSG SUBRASANTE	1.60 %	
CBRMG MATERIAL DE MEJORAMIENTO	10.0 %	
MODULO DE LA SUBRASANTE (ESG)	243 Kg/cm2	23.80 MPa
MODULO DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO (EMG)	785 Kg/cm2	76.97 MPa
ESPESOR CAPA DE MEJORAMIENTO (hMG)	28 cm	
RADIO DE CARGA (a)	15.00 cm	
N	1.6	
MODULO EQUIVALENTE DEL SISTEMA (Eeq)	489 Kg/cm2	47.94 MPa
CBReq EQUIVALENTE DEL SISTEMA	4.8 %	

Empleando el método propuesto por Ivanov para cálculo del módulo equivalente de la subrasante, para un espesor de28 cm de materiales granulares se obtiene el **módulo resiliente de mejoramiento de 489 Kg/cm2, (CBR 4.8%)**.

PARAMETROS DE DISEÑO 1ª ALTERNATIVA

Los parámetros de diseño solicitados por el Método AASHTO-93, se presentan a continuación en la Tabla 18. Parámetros de diseño para el método AASHTO

Tabla 18. Parámetros de diseño para el método AASHTO 1ª ALTERNATIVA

Parámetro	Valor adoptado
W18 (NESE)	1.235.000
Módulo resiliente–Subrasante Mejorada en Mr. (MPa)	489 Kg/cm2
Confiabilidad, R (%)	85
Coeficiente de confiabilidad, Zr	-1.037
Desviación estándar, So	Rehabilitación, 0.49
Serviciabilidad inicial-final	4.2-2.5=(1.7)

Tabla 19. Cálculo Numero Estructural Requerido (Snrequerido)

CÁCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO (SN REQUERIDO)

$$\text{Log } N = Z_R S_o + 9.36 \log(SN+1) - 0.20 + \frac{\log\left[\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

Solución de la ecuación de la metodología AASHTO para pavimentos flexibles, encontrando el SN en donde se cumpla la igualdad.

Función Objetivo	-7.75E-04

SN	3.579

Calcular SN

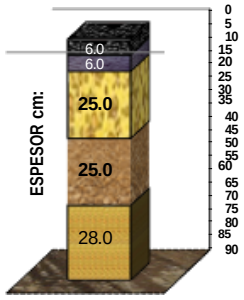
Estructura propuesta 1ª alternativa

Tabla 20. Espesores propuestos Primera Alternativa de Diseño de Pavimento Asfaltico

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Alternativas

	Espesor		MODULO		a	m	SN
	cm	pulg	Kg/cm2	PSI			
MDC-19 con asfalto 60 - 70	6.0	2.36	25,000	357,143	0.41	1.0	1.0
MDC-19 con asfalto 60 - 70	6.0	2.36	28,000	400,000	0.43	1.0	1.0
BASE GRANULAR INVIAS - 330	25.0	9.84	2100	30,000	0.14	0.9	1.2
SUBBASE GRANULAR INVIAS - 320	25.0	9.84	1100	15,714	0.11	0.9	1.0
LLENOS ESTRUCTURAS - RECEBO Art.610-INVIA	28.0	11.02					



Alternativa 1	SN REQUERIDO	SN RESULTANTE	
	3.579	4.188	O.K.

MODELO ESTRUCTURAL EVALUADO 1ª ALTERNATIVA

Tabla 21. Modelo Estructural AASHTO 83 Evaluado con criterios racionales - 1ª Alternativa de Diseño

Diseños con carpeta, base y subbase

Alternativa 1

Módulo de elasticidad corregido

MR **ESR**	0	LLENOS ESTRUCTURAS -	SUBBASE GRANULAR	BASE GRANULAR	MDC-19 con asfalto 60 - 70	MDC-19 con asfalto 60 - 70
	E_3 (CORREGIDO)	E_3 (AASHTO)	E_2 (CORREGIDO)	E_2 (AASHTO)	E_1	E_1
(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)
489	0	0	1100	2100	28,000	25,000

Ingresar al BISAR:

Número de capas	5

Capa	E (kg/cm²)	μ	H (cm)	**L**igada o **N**o
1	25,000	0.35	6	L
2	28000	0.35	6	L
3	2100	0.40	25	L
4	1100	0.42	25	L
5	0	0.45	28	L
6	0		0	L
7	489	0.48	0	N

VERIFICACION DEL DISEÑO POR EL MÉTODO RACIONAL 1ª ALTERNATIVA

Tabla 22. Parámetros admisibles Metodología Racional de acuerdo con los parámetros de diseño

Valores de Parámetros Admisibles

Deformación por tracción en la Carpeta de Rodadura:

εt1=α x Eac^-0.36 x (Nfat/3)^-0.2

$\varepsilon_{\tau adm}$	3.16E-04

Esfuerzo de Compresión en la Subrasante:

$$\sigma_z = \frac{0.007 * E_{SR}}{1 + 0.7 * \log N}$$

σ_{Zadm}	6.94E-01

Deformación por compresión en la Subrasante:

εz=0.0194 x Nfat^-0.25

ε_{Zadm}	5.82E-04

Tabla 23 Verificación de criterios racionales de diseño 1ª Alternativa de diseño

Verificación de resultados

Alternativa 1

Deformación por tracción en la Carpeta de Rodadura

$\varepsilon_{\tau adm}$	$\varepsilon_{\tau cal}$	$\varepsilon_{\tau cal}/\varepsilon_{\tau adm}$	La relación debe ser menor a 1.0
3.16E-04	2.56E-04	0.81	O.K.

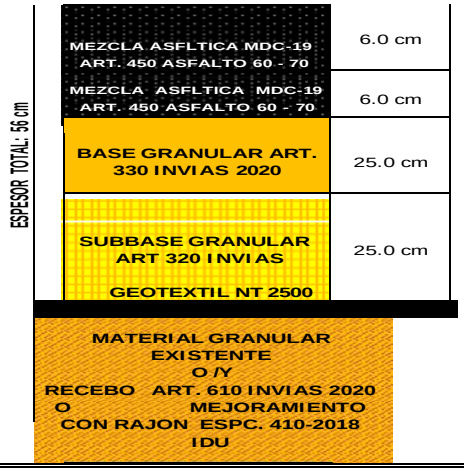
Esfuerzo de Compresión en la Subrasante

σ_{Zadm}	σ_{Zcal}	$\sigma_{Zcal}/\sigma_{Zadm}$	La relación debe ser menor a 1
6.50E-01	1.96E-01	0.30	O.K.

Deformación por compresión en la Subrasante

ε_{Zadm}	ε_{Zcal}	$\varepsilon_{Zcal}/\varepsilon_{Zadm}$	La relación debe ser menor a 1
5.82E-04	3.77E-04	0.65	O.K.

Figura: N° 8 Estructura de Pavimento Asfaltico 1ª Alternativa



6.4.2 2ª ALTERNATIVA

C.B.R. DE DISEÑO 2ª ALTERNATIVA

Se considera 60 cm de material de relleno, (recebo Art. 610 INVIAS 2022) de la zanja de la tubería como mejoramiento de la capacidad portante de la Subrasante.

CBRSG SUBRASANTE	1.60 %	
CBRMG MATERIAL DE MEJORAMIENTO	10.0 %	
MODULO DE LA SUBRASANTE (ESG)	243 Kg/cm2	23.80 MPa
MODULO DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO (EMG)	785 Kg/cm2	76.97 MPa
ESPESOR CAPA DE MEJORAMIENTO (hMG)	60 cm	
RADIO DE CARGA (a)	15.00 cm	
n	1.6	
MODULO EQUIVALENTE DEL SISTEMA (Eeq)	695 Kg/cm2	68.20 MPa
CBReq EQUIVALENTE DEL SISTEMA	8.3 %	

El material de relleno zanja de la tubería, es considerado como mejoramiento de la capacidad portante de la Subrasante. Empleando el método propuesto por Ivanov para cálculo del módulo equivalente de la subrasante, para un espesor de 60 cm de materiales granulares se obtiene el **módulo resiliente de mejoramiento de 695 Kg/cm2, (CBR 8.3%)**.

Tabla 24. Parámetros de diseño para el método AASHTO 2ª ALTERNATIVA

Parámetro	Valor adoptado
W18 (NESE)	1.235.000
Módulo resiliente – Subrasante Mejorada en Mr. (MPa)	695 Kg/cm2
Confiabilidad, R (%)	85

Parámetro	Valor adoptado
Coeficiente de confiabilidad, Zr	-1.037
Desviación estándar, So	Rehabilitación, 0.49
Serviciabilidad inicial-final	4.2-2.5=(1.7)

Tabla 25. Cálculo Numero Estructural Requerido (Snrequerido) 2ª ALTERNATIVA

CÁCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO (SN REQUERIDO)

$$Log\,N = Z_R S_o + 9.36 \log(SN+1) - 0.20 + \frac{\log\left[\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

Solución de la ecuación de la metodología AASHTO para pavimentos flexibles, encontrando el SN en donde se cumpla la igualdad.

Función Objetivo	-1.13E-04

SN	3.129

Calcular SN

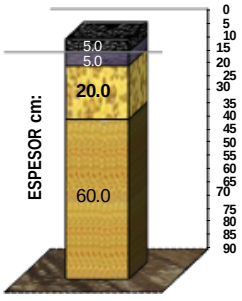
ESTRUCTURA PROPUESTA 2ª ALTERNATIVA

Tabla 26. Espesores propuestos 2ª Alternativa de Diseño de Pavimento Asfaltico

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Alternativas

	Espesor		MODULO		a	m	SN
	cm	pulg	Kg/cm2	PSI			
MDC-19 con asfalto 60 - 70	5.0	1.97	25,000	357,143	0.41	1.0	0.8
MDC-19 con asfalto 60 - 70	5.0	1.97	28,000	400,000	0.43	1.0	0.8
BASE GRANULAR ESTABILIZADO CON ASFALTO	20.0	7.87	4500	64,286	0.22	0.9	1.6
LLENOS ESTRUCTURAS - RECEBO Art.610-INVIA	60.0	23.62					



Alternativa 2	SN REQUERIDO	SN RESULTANTE	
	3.129	3.203	O.K.

MODELO ESTRUCTURAL EVALUADO 2ª ALTERNATIVA

Tabla 27. Modelo Estructural AASHTO 83 Evaluado con criterios racionales - 2ª Alternativa de Diseño

Diseños con carpeta, base y subbase

Alternativa 2

Módulo de elasticidad corregido

MR **ESR**	0	LLENOS ESTRUCTURAS -	0	BASE GRANULAR	MDC-19 con asfalto 60 - 70	MDC-19 con asfalto 60 - 70
	E_3 (CORREGIDO)	E_3 (AASHTO)	E_2 (CORREGIDO)	E_2 (AASHTO)	E_1	E_1
(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)
695	0	0	0	4500	28,000	25,000

Ingresar al BISAR:

Número de capas	5

Capa	E (kg/cm²)	μ	H (cm)	**L**igada o **N**o
1	25,000	0.35	5	L
2	28000	0.35	5	L
3	4500	0.40	20	L
4	0	0.42	0	L
5	0	0.45	60	L
6	0		0	L
7	695	0.48	0	N

Tabla 28. Parámetros admisibles Metodología Racional de acuerdo con los parámetros de diseño 2ª ALTERNATIVA

Valores de Parámetros Admisibles

Deformación por tracción en la Carpeta de Rodadura:

εt1=α x Eac^-0.36 x (Nfat/3)^-0.2

$\varepsilon_{\tau adm}$	3.16E-04

Esfuerzo de Compresión en la Subrasante:

$$\sigma_z = \frac{0.007 * E_{SR}}{1 + 0.7 * \log N}$$

$\sigma_{Z adm}$	9.17E-01

Deformación por compresión en la Subrasante:

εz=0.0194 x Nfat^-0.25

$\varepsilon_{Z adm}$	5.82E-04

Tabla 29 Verificación de criterios racionales de diseño 2ª Alternativa de diseño

Verificación de resultados

Alternativa 2

Deformación por tracción en la Carpeta de Rodadura

$\varepsilon_{\tau adm}$	$\varepsilon_{\tau cal}$	$\varepsilon_{\tau cal}/\varepsilon_{\tau adm}$	La relación debe ser menor a 1.0
3.16E-04	2.04E-04	0.64	O.K.

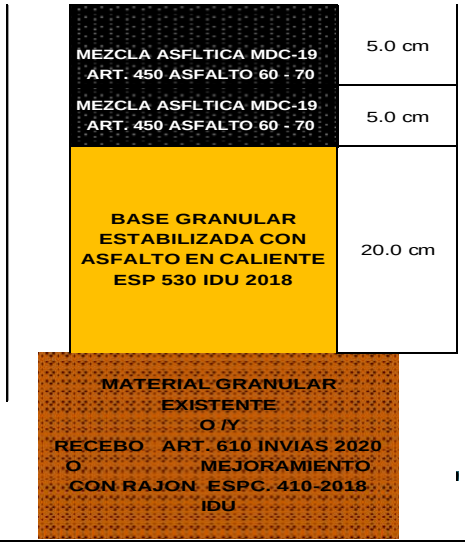
Esfuerzo de Compresión en la Subrasante

$\sigma_{Z adm}$	$\sigma_{Z cal}$	$\sigma_{Z cal}/\sigma_{Z adm}$	La relación debe ser menor a 1
8.87E-01	4.54E-01	0.51	O.K.

Deformación por compresión en la Subrasante

$\varepsilon_{Z adm}$	$\varepsilon_{Z cal}$	$\varepsilon_{Z cal}/\varepsilon_{Z adm}$	La relación debe ser menor a 1
5.82E-04	5.52E-04	0.95	O.K.

Figura: N° 9 Estructura de Pavimento Asfaltico 2ª Alternativa



6.4.3 ESTRUCTURA PROPUESTA 3ª ALTERNATIVA

C.B.R. DE DISEÑO 3ª ALTERNATIVA

Se considera 40 cm de material de relleno, (recebo Art. 610 INVIAS 2022) de la zanja de la tubería como mejoramiento de la capacidad portante de la Subrasante.

CBRSG SUBRASANTE	1.60 %	
CBRMG MATERIAL DE MEJORAMIENTO	10.0 %	
MODULO DE LA SUBRASANTE (ESG)	243 Kg/cm2	23.80 MPa
MODULO DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO (EMG)	785 Kg/cm2	76.97 MPa
ESPESOR CAPA DE MEJORAMIENTO (hMG)	40 cm	
RADIO DE CARGA (a)	15.00 cm	
n	1.6	
MODULO EQUIVALENTE DEL SISTEMA (Eeq)	580 Kg/cm2	56.86 MPa
CBReq EQUIVALENTE DEL SISTEMA	6.2 %	

El material de relleno zanja de la tubería, es considerado como mejoramiento de la capacidad portante de la Subrasante. Empleando el método propuesto por Ivanov para cálculo del módulo equivalente de la subrasante, para un espesor de 100 cm de materiales granulares se obtiene el **módulo resiliente de mejoramiento de 580 Kg/cm2, (CBR 6.2%)**.

Tabla 30. Parámetros de diseño para el método AASHTO 2ª ALTERNATIVA

Parámetro	Valor adoptado
W18 (NESE)	1.235.000
Módulo resiliente – Subrasante Mejorada en Mr. (MPa)	580 Kg/cm2

Parámetro	Valor adoptado
Confiabilidad, R (%)	85
Coeficiente de confiabilidad, Zr	-1.037
Desviación estándar, So	Rehabilitación, 0.49
Serviciabilidad inicial-final	4.2-2.5=(1.7)

Tabla 31. Cálculo Numero Estructural Requerido (Snrequerido) 3ª ALTERNATIVA

CÁCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO (SN REQUERIDO)

$$\text{Log } N = Z_R S_o + 9.36 \log(SN+1) - 0.20 + \frac{\log\left[\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

Solución de la ecuación de la metodología AASHTO para pavimentos flexibles, encontrando el SN en donde se cumpla la igualdad.

Función Objetivo	-4.31E-04

SN	3.354

Calcular SN

ESTRUCTURA PROPUESTA 3ª ALTERNATIVA

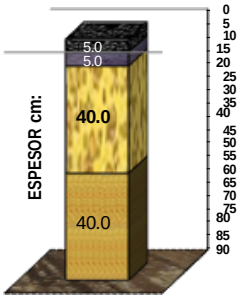
Tabla 32. Espesores propuestos 3ª Alternativa de Diseño de Pavimento Asfaltico

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Alternativas

	Espesor		MODULO		a	m	SN
	cm	pulg	Kg/cm2	PSI			
MDC-19 con asfalto 60 - 70	5.0	1.97	25,000	357,143	0.41	1.0	0.8
MDC-19 con asfalto 60 - 70	5.0	1.97	28,000	400,000	0.43	1.0	0.8
BASE GRANULAR INVIAS - 330	40.0	15.75	2100	30,000	0.14	0.9	2.0
		0.00		0			
LLENOS ESTRUCTURAS - RECEBO Art.610-INVIA	40.0	15.75					

Alternativa 3	SN REQUERIDO	SN RESULTANTE	
	3.354	3.602	O.K.



MODELO ESTRUCTURAL EVALUADO 3ª ALTERNATIVA

Tabla 33. Modelo Estructural AASHTO 83 Evaluado con criterios racionales - 3ª Alternativa de Diseño

Diseños con carpeta, base y subbase

Alternativa 3

Módulo de elasticidad corregido

M_R / E_{SR}	0	LLENOS ESTRUCTURAS -	0	BASE GRANULAR	MDC-19 con asfalto 60 - 70	MDC-19 con asfalto 60 - 70
	E_3 (CORREGIDO)	E_3 (AASHTO)	E_2 (CORREGIDO)	E_2 (AASHTO)	E_1	E_1
(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)
580	0	0	0	2100	28,000	25,000

Ingresar al BISAR:

Número de capas	4

Capa	E (kg/cm²)	μ	H (cm)	**L**igada o **N**o
1	25,000	0.35	5	L
2	28000	0.35	5	L
3	2100	0.40	40	L
4	0	0.42	0	L
5	0	0.45	40	L
6	0		0	L
7	580	0.48	0	N

VERIFICACION DEL DISEÑO POR EL MÉTODO RACIONAL 3ª ALTERNATIVA

Tabla 34. Parámetros admisibles Metodología Racional de acuerdo con los parámetros de diseño 3ª ALTERNATIVA

Valores de Parámetros Admisibles

Deformación por tracción en la Carpeta de Rodadura:

εt1=α x Eac^-0.36 x (Nfat/3)^-0.2

$\varepsilon_{T_{adm}}$	3.16E-04

Esfuerzo de Compresión en la Subrasante:

$$\sigma_z = \frac{0.007 * E_{SR}}{1 + 0.7 * \log N}$$

$\sigma_{Z_{adm}}$	8.29E-01

Deformación por compresión en la Subrasante:

εz=0.0194 x Nfat^-0.25

$\varepsilon_{Z_{adm}}$	5.82E-04

Tabla 35 Verificación de criterios racionales de diseño 3ª Alternativa de diseño

Verificación de resultados

Alternativa 3

Deformación por tracción en la Carpeta de Rodadura

$\varepsilon_{\tau adm}$	$\varepsilon_{\tau cal}$	$\varepsilon_{\tau cal}/\varepsilon_{\tau adm}$	La relación debe ser menor a 1.0
3.16E-04	2.86E-04	0.90	O.K.

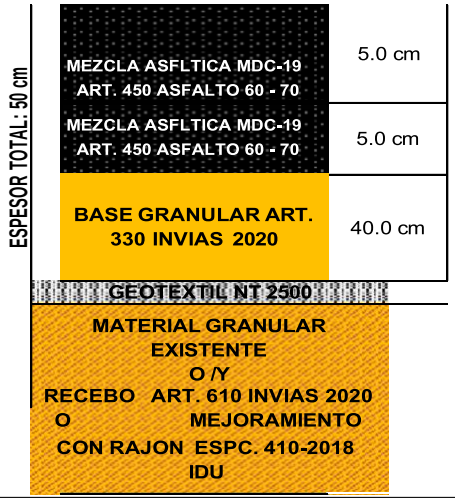
Esfuerzo de Compresión en la Subrasante

$\sigma_{Z adm}$	$\sigma_{Z cal}$	$\sigma_{Z cal}/\sigma_{Z adm}$	La relación debe ser menor a 1
7.71E-01	2.87E-01	0.37	O.K.

Deformación por compresión en la Subrasante

$\varepsilon_{Z adm}$	$\varepsilon_{Z cal}$	$\varepsilon_{Z cal}/\varepsilon_{Z adm}$	La relación debe ser menor a 1
5.82E-04	4.89E-04	0.84	O.K.

Figura: N° 10 Estructura de Pavimento Asfaltico 3ª Alternativa



6.4.4 4ª ALTERNATIVA

C.B.R. DE DISEÑO 4ª ALTERNATIVA

Se considera 61 cm de material de relleno, (recebo Art. 610 INVIAS 2022) de la zanja de la tubería como mejoramiento de la capacidad portante de la Subrasante.

CBRSG SUBRASANTE	1.60 %	
CBRMG MATERIAL DE MEJORAMIENTO	10.0 %	
MODULO DE LA SUBRASANTE (ESG)	243 Kg/cm2	23.80 MPa
MODULO DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO (EMG)	785 Kg/cm2	76.97 MPa
ESPESOR CAPA DE MEJORAMIENTO (hMG)	61 cm	
RADIO DE CARGA (a)	15.00 cm	
n	1.6	
MODULO EQUIVALENTE DEL SISTEMA (Eeq)	700 Kg/cm2	68.68 MPa
CBReq EQUIVALENTE DEL SISTEMA	8.4 %	

El material de relleno zanja de la tubería, es considerado como mejoramiento de la capacidad portante de la Subrasante. Empleando el método propuesto por Ivanov para cálculo del módulo equivalente de la subrasante, para un espesor de 61 cm de materiales granulares se obtiene el **módulo resiliente de mejoramiento de 700 Kg/cm2, (CBR 8.4%)**.

Tabla 36. Parámetros de diseño para el método AASHTO 4ª ALTERNATIVA

Parámetro	Valor adoptado
W18 (NESE)	1.235.000
Módulo resiliente – Subrasante Mejorada en Mr. (MPa)	700 Kg/cm2
Confiabilidad, R (%)	85

Parámetro	Valor adoptado
Coeficiente de confiabilidad, Zr	-1.037
Desviación estándar, So	Rehabilitación, 0.49
Serviciabilidad inicial-final	4.2-2.5=(1.7)

Tabla 37. Cálculo Numero Estructural Requerido (Snrequerido) 4ª ALTERNATIVA

CÁCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO (SN REQUERIDO)

$$Log\,N = Z_R S_o + 9.36\log(SN+1) - 0.20 + \frac{\log\left[\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32\log M_R - 8.07$$

Solución de la ecuación de la metodología AASHTO para pavimentos flexibles, encontrando el SN en donde se cumpla la igualdad.

Función Objetivo	-1.03E-04

SN	3.121

Calcular SN

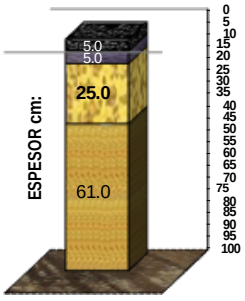
ESTRUCTURA PROPUESTA 4ª ALTERNATIVA

Tabla 38. Espesores propuestos 4ª Alternativa de Diseño de Pavimento Asfaltico

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Alternativas

	Espesor		MODULO		a	m	SN
	cm	pulg	Kg/cm2	PSI			
MDC-19 con asfalto 60 - 70	5.0	1.97	25,000	357,143	0.41	1.0	0.8
MDC-19 con asfalto 60 - 70	5.0	1.97	28,000	400,000	0.43	1.0	0.8
BASE GRANULAR ESTABILIZADA EMULSION ASF	25.0	9.84	3900	55,714	0.21	0.9	1.8
LLENOS ESTRUCTURAS - RECEBO Art.610-INVIA	61.0	24.02					



Alternativa 4	SN REQUERIDO	SN RESULTANTE	
	3.121	3.458	O.K.

MODELO ESTRUCTURAL EVALUADO 4ª ALTERNATIVA

Tabla 39. Modelo Estructural AASHTO 83 Evaluado con criterios racionales - 4ª Alternativa de Diseño

Diseños con carpeta, base y subbase

Alternativa 4

Módulo de elasticidad corregido

MR ESR	0	LLENOS ESTRUCTURAS -	0	BASE GRANULAR	MDC-19 con asfalto 60 - 70	MDC-19 con asfalto 60 - 70
	E_3 (CORREGIDO)	E_3 (AASHTO)	E_2 (CORREGIDO)	E_2 (AASHTO)	E_1	E_1
(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)
700	0	0	0	3900	28,000	25,000

Ingresar al BISAR:

Número de capas	5

Capa	E (kg/cm²)	μ	H (cm)	Ligada o No
1	25,000	0.35	5	L
2	28000	0.35	5	L
3	3900	0.40	25	L
4	0	0.42	0	L
5	0	0.45	61	L
6	0		0	L
7	700	0.48	0	N

Tabla 40. Parámetros admisibles Metodología Racional de acuerdo con los parámetros de diseño 4ª ALTERNATIVA

Valores de Parámetros Admisibles

Deformación por tracción en la Carpeta de Rodadura:

εt1=α x Eac^-0.36 x (Nfat/3)^-0.2

$\varepsilon_{\tau adm}$	3.16E-04

Esfuerzo de Compresión en la Subrasante:

$$\sigma_z = \frac{0.007 * E_{SR}}{1 + 0.7 * \log N}$$

σ_{Zadm}	9.17E-01

Deformación por compresión en la Subrasante:

εz=0.0194 x Nfat^-0.25

ε_{Zadm}	5.82E-04

Tabla 41 Verificación de criterios racionales de diseño
4ª Alternativa de diseño

Verificación de resultados

Alternativa 4

Deformación por tracción en la Carpeta de Rodadura

$\varepsilon_{\tau adm}$	$\varepsilon_{\tau cal}$	$\varepsilon_{\tau cal}/\varepsilon_{\tau adm}$	La relación debe ser menor a 1.0
3.16E-04	2.11E-04	0.67	O.K.

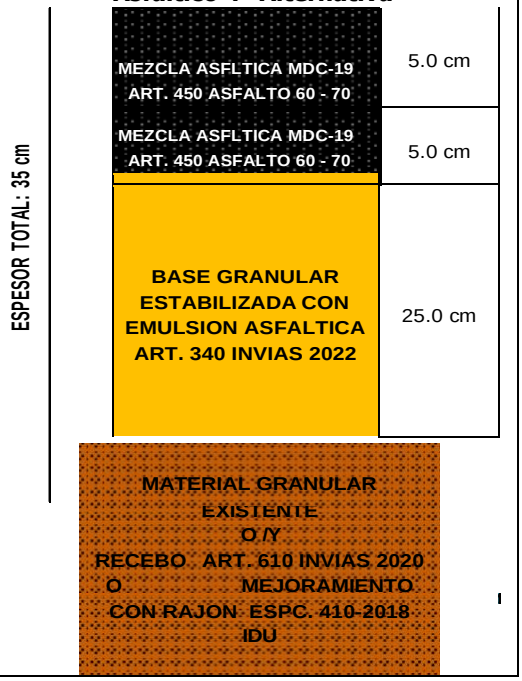
Esfuerzo de Compresión en la Subrasante

$\sigma_{Z adm}$	$\sigma_{Z cal}$	$\sigma_{Z cal}/\sigma_{Z adm}$	La relación debe ser menor a 1
9.31E-01	4.04E-01	0.43	O.K.

Deformación por compresión en la Subrasante

$\varepsilon_{Z adm}$	$\varepsilon_{Z cal}$	$\varepsilon_{Z cal}/\varepsilon_{Z adm}$	La relación debe ser menor a 1
5.82E-04	5.49E-04	0.94	O.K.

Figura: N° 11 Estructura de Pavimento Asfaltico 4ª Alternativa



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El lleno de la zanja de la Red de Acueducto y Alcantarillado será la diferencia entre la rasante y el espesor de la estructura de pavimento con el fin de armonizar la estructura en todo el ancho de la calzada.

En la Alternativa de pavimento seleccionada, se incluye un geotextil Tipo NT 2500, como elemento de separación, con el fin de evitar la migración de finos a la capa granular superior.

se debe de controlar la compactación de las capas granulares mediante la lectura de deflexión de las capas granulares mediante el equipo LWD, cada 400 metros cuadrados. la deflexión máxima no debe ser mayor de 1.8 milímetros.

Las especificaciones que considerar para el desarrollo de la intervención seleccionada son la Especificaciones de construcción de Carreteras de INVIAS versión 2020 e IDU 2018

La instalación de alcantarillado sanitario y/o pluvial se deben construir en cumplimento de la Resolución 330 de 2017 Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS

La excavación debe mantenerse estable, por sí misma o soportada en forma adecuada. No se puede presumir la estabilidad de la excavación en suelos duros o materiales rocosos. Para tener un buen comportamiento de las tuberías flexible se deben respetar ciertos anchos de zanja mínimos y máximos.

Características de la zanja: El ancho mínimo requerido para la instalación de los colectores se presenta en la siguiente tabla tomada de la Norma ASTM D2321

ANCHO MÍNIMO **Norma ASTM 2321 6.3**			
Suelos Estables		***Suelos Inestables***	
		Diámetro ≤ 300 mm	***Diámetro > 300***
Diámetro Exterior + 16" (400 mm)	1.25 Diámetro Exterior + 12" (300 mm)	2.5 Diámetro para cada lado de la tubería	Debe ser establecido por el ingeniero de diseño, según Especiaciones del suelo en in-

Cuando el suelo es inestable desde el punto de vista geotécnico, el ancho de zanja se incrementa según las condiciones del sitio hasta un máximo de dos veces el diámetro externo de la tubería. Se recomienda iniciar la excavación de aguas abajo hacia aguas arriba.

El fondo de la zanja debe ser preparado para la colocación de la tubería y dada la baja capacidad portante de la subrasante, (CBR inmersión 2.0%) se debe apoyar la tubería sobre sobre un lecho de grava tamaño ¾", en un espesor de mínimo de 10 cm, el cual debe de ser continuo, y capaz de proveer apoyo uniforme. La profundidad de la zanja es establecida por el diseño hidráulico, dependiendo de las condiciones particulares de la cota clave.
Deben conservarse las separaciones mínimas permitidas con otros servicios públicos de acuerdo con la regulación vigente. En caso de utilizar equipo de compactación de alta vibración o peso debe colocarse un relleno de por lo menos 30 cm sobre la clave de la tubería.

Esta capa debe ser nivelada con equipo de precisión para garantizar la pendiente de diseño, la compactación de esta capa es muy importante ya que le proveerá el soporte al tramo de tubería a instalar, para ello se recomienda la compactación manual (pisón) o mecánica (vibro compactador).

Debe evitarse el contacto de la tubería con piedras angulares o elementos que puedan alterar sus características físicas y mecánicas.

Se debe excavar únicamente el ancho de la zanja y en la longitud requerida para la instalación de la tubería.

La zanja debe rellenarse inmediatamente una vez terminada las actividades de instalación de la Red y en lo posible el mismo día en que fueron abiertas.

Si la subrasante presenta baja capacidad de soporte esta debe el fondo de la zanja es inestable, se debe realizar un mejoramiento de la subrasante con Rajón en un espesor mínimo de 30 cm, (O el espesor que indique el Especialista de Pavimentos bajo),bajo los lineamientos de la especificación 410 – UDU- 2018 Y aplica para cuando los suelos de fundación se encuentren constituidos por subrasantes blandas con capacidades de soporte bajas,

generalmente con CBR inferiores a 1.5% en condición en condición sumergida, o cuando se encuentren rellenos o suelos que sea necesario reemplazar, con el fin de mitigar problemas de hundimientos o de deformaciones plásticas, mejorando las características mecánicas de las subrasantes blandas, dotándolas de un esqueleto mineral grueso que proporcione un terreno de fundación apto para soportar las cargas, previo a la instalación de la tubería de debe colocar un material de gradación adecuada que evite la migración de finos y pérdida de soporte de la tubería y un geotextil Tipo NT 2500.

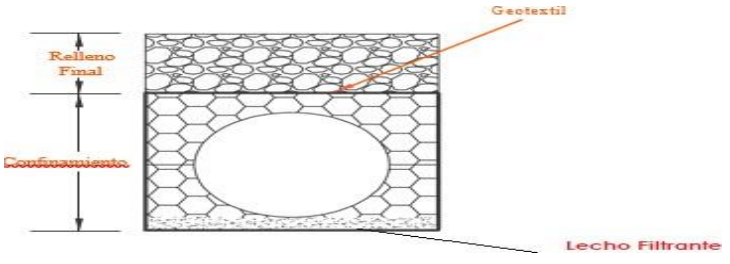
Tipo de Terreno de Cimentación	***Material de Cimentación***	***Espesor de Material de Cimentación***	***Material de Relleno***	***Espesor Material de Relleno***	***Protector Modificado***
Terreno Estable	Material Granular de Cantera	0.15 m	Material Seleccionado de la excavación	Toda la Zanja	90%
Terreno Inestable	Material Granular de Cantera	0.15 m	Material Granular de Cantera	0.15 m	95%
			Relleno Seleccionado	0.30 m	
			Material Seleccionado de la Excavación	Resto de la Zanja	
Terreno Rocoso	Material Granular de Cantera	0.15 m	Material Seleccionado de la excavación	Toda la Zanja	90%

Cuando se presente agua en la zanja, se hace necesario drenar para mantener la estabilidad del sitio. Se debe controlar el nivel freático a lo largo del proceso de instalación de la tubería e incluso durante la instalación del relleno para evitar flotación de la tubería.

Por seguridad, se deben utilizar tablestacados, entibación o apuntalamiento con el ánimo de proteger al personal y como prevención para evitar daños en cimentaciones de viviendas vecinas al área de trabajo.

Cuando se presente agua en la zanja, se hace necesario drenar para mantener la estabilidad del sitio. Se debe controlar el nivel freático a lo largo del proceso de instalación de la tubería e incluso en la instalación del relleno para evitar la flotación de la tubería. La excavación se puede realizar de manera manual o mecánica, la tubería se instala sobre el eje central de la zanja.

Cuando esta situación se presenta la tubería deberá ser instalada sobre un lecho filtro como subdren en triturado protegido con geotextil de material fino y un relleno en Recebo o material seleccionado. El siguiente es un esquema del soporte recomendado.

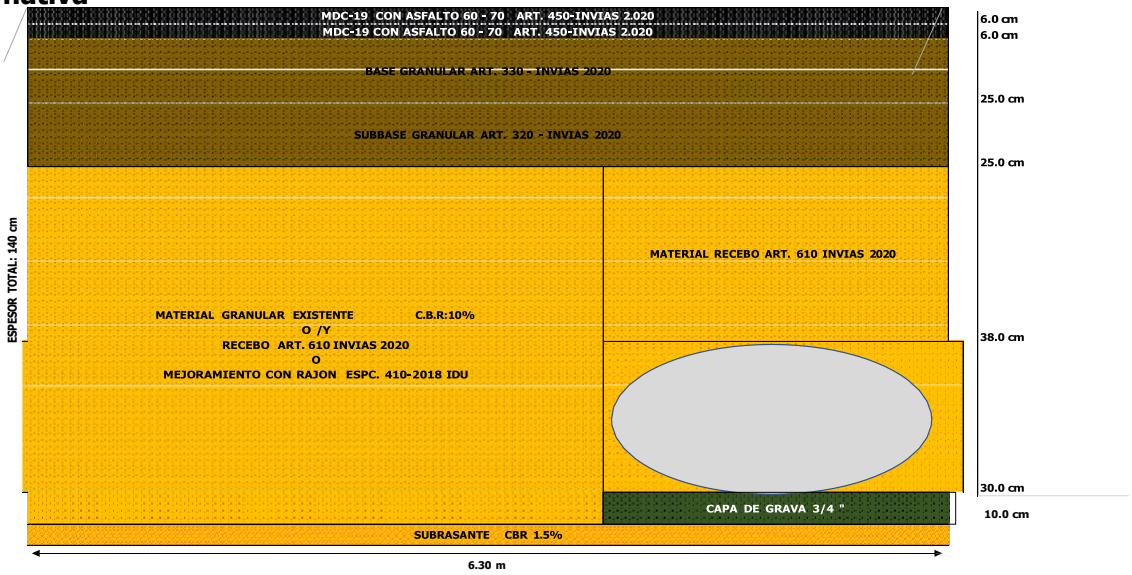


La colocación del material de atraque debe ser cuidadoso con el fin de evitar daños en la tubería. Luego de realizar el descargue del material, este se debe acomodar en capas homogéneas, entre 0.15 a 0.20 m de espesor, para obtener el grado de compactación exigido por el material. utilizando pisón de mano, hasta llegar al nivel exigido en el diseño,(95% del Ensayo Proctor Modificado).

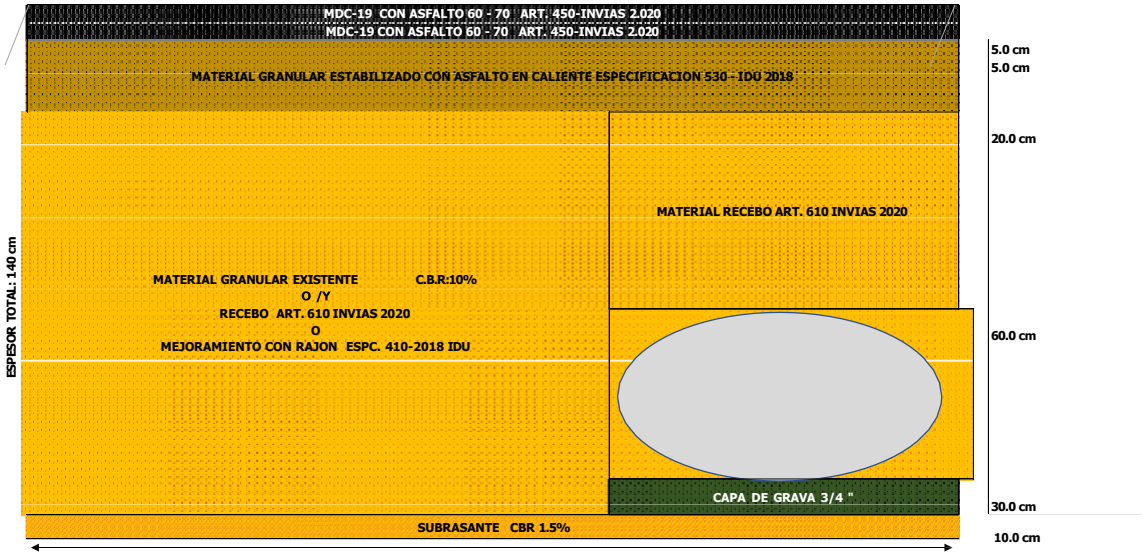
No se debe instalar capas adicionales hasta que la anterior cumpla las condiciones exigidas, la compactación se hace longitudinalmente comenzando por los bordes exteriores y avanzando hacia el centro. Si se trabaja en zonas inclinadas se hace desde el borde inferior al superior.

Esta consultoría presenta las siguientes alternativas de estructuras de pavimento:

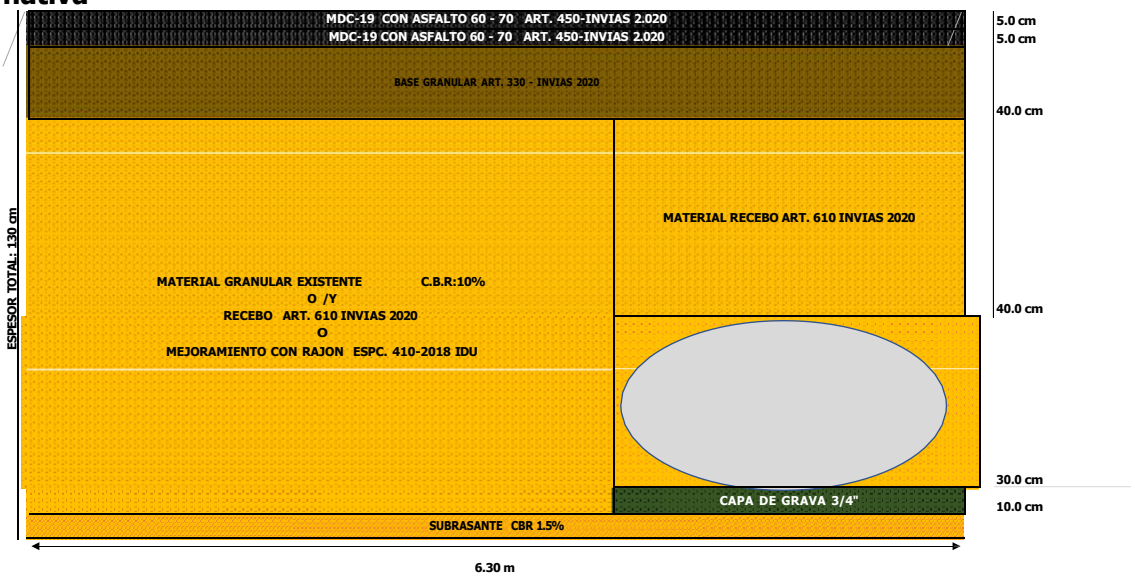
1ª Alternativa



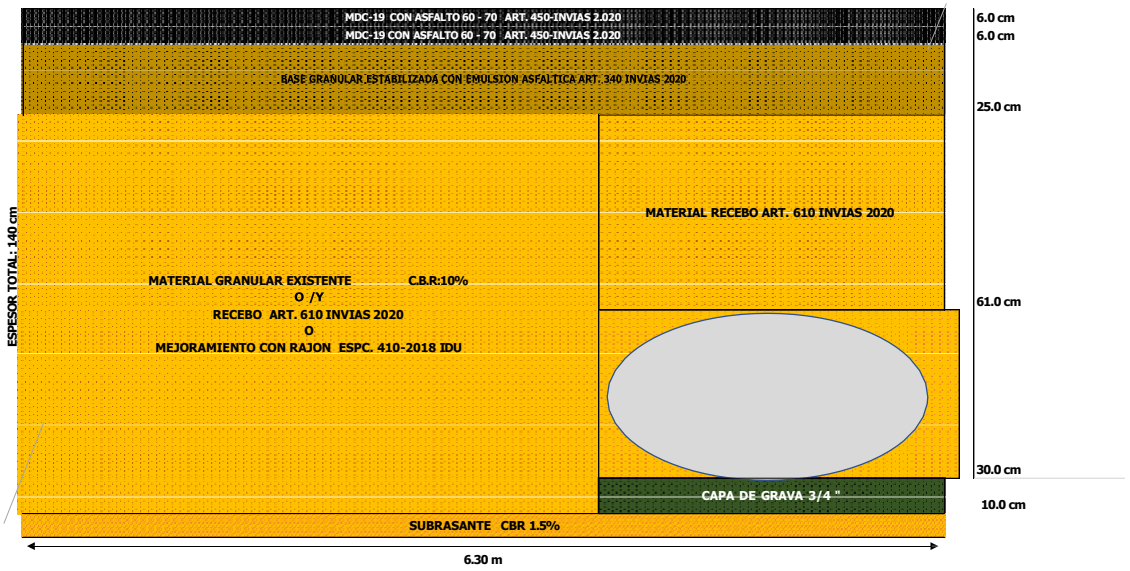
2ª Alternativa



3ª Alternativa



4ª Alternativa



Estas estructuras son recomendadas dadas las características generales de la zona en donde se logra evidenciar que excavaciones profundas o contenciones adicionales pueden llevar a generar procesos de inestabilidad.

Donde exista una zona con la presencia de material contaminado, (materia orgánica) o se observe irregularidades se recomienda excavar y retirar el material contaminado, se debe remplazar por Rajón bajo los lineamientos de la Especificación 410 IDU 2018.

Si se llega a presentar un perfil estratigráfico o del terreno diferente a los citados en este informe es necesario informar y solicitar la visita del ingeniero geotecnista.

Se recomienda instalar la tubería sobre un lecho filtrante con un espesor de 10 cm, compuesto por gravas de ¾" dada la baja capacidad portante de la subrasante.

El perfil consignado dentro del informe corresponde a las condiciones encontradas de humedad y consistencia de la época en la cual se desarrolla la exploración geotécnica.

Es importante, para evitar el daño de la capa de rodadura, el pavimento debe contar con un confinamiento externo para impedir su desplazamiento a causa del empuje del tránsito vehicular.

El confinamiento externo se realiza con bordillos de concreto, estos deben cumplir las especificaciones detalladas en el artículo 672, Bordillos en concreto, para garantizar buena capacidad mecánica y la estabilidad de la estructura.

Esta consultoría recomienda la implementación de subdrenajes Tipo Geodrén en las zonas verdes que colinden con la vías intervenidas. El Geodrén se encarga de atraer las fluctuaciones de agua de los subsuelos de la zonas verdes permitiendo el adecuado drenaje, al impedir que el agua ascienda al pavimento.

A continuación, se anexa las recomendaciones emitidas por el especialista de suelos como consecuencia de su investigación Geotécnica:

- No se evidenció presencia de Geotextil en los dos apiques realizados para evitar la migración de finos de la subrasante.

- De acuerdo a la estratigrafía de las exploraciones, se identificó que el potencial expansivo del material de mejoramiento es Bajo, sin embargo el alto contenido de humedad de la subrasante y baja consistencia del suelo hace que se incremente el riesgo de cambios volumétricos del suelo.

- Cualquier intervención deberá tener como guía las recomendaciones del especialista, basándose en un diseño de pavimento y cumpliendo las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras año 2022 del Instituto Nacional de Vías INVIAS.

- Durante el proceso constructivo se recomienda tomar las medidas preventivas correspondientes para no afectar las redes de agua potable, servidas y otras redes.

- El confinamiento de la vía a través de bordillos o sardineles permite prevenir lesiones a la nueva estructura pavimento como fisuras de borde, medialuna, entre otros, así mismo complementadas con zonas duras como andenes, permite proteger la vía de las aguas de infiltración de aguas lluvias o de escorrentía superficial que puede derivar en una gran variedad de patologías.

Esta obra complementaria no solamente brinda durabilidad a la estructura, sino que también, protege a los usuarios de la vía para transitar de manera segura. Se sugiere que estas obras sigan las especificaciones de la cartilla de andes de Bogotá, en dónde la altura de guarda rueda sea de mínimo de 15cm por ser un área residencial, entre otros.

La proyección de las obras de urbanismo (andenes y bordillos) deberá tener un diseño de dilataciones para prevenir fisuras o deterioros prematuros en las áreas dónde se encuentren cajas de redes y/o cualquier otro elemento, así mismo, se recomienda que las zonas verdes estén diseñadas (en el caso de tenerlas) lo más lejano de la estructura de pavimento, para evitar deterioros por filtraciones de agua.

- A pesar de que no se encontró nivel freático, cabe destacar que las exploraciones de campo se realizaron en un periodo de intenso verano y que la zona se destaca por su alta pluviosidad, por ello, con el propósito de brindar durabilidad a la estructura a construir, se recomienda identificar los tramos de vía dónde colinden con zonas verdes y proyectar filtros o subdrenes para captar, conducir y entregar las posibles aguas de infiltración a las redes de aguas lluvias.

- Se recomienda en los casos que la vía colinde con zonas verdes, identificar los tramos y establecer obras de drenaje subsuperficial para captar y conducir las posibles aguas de infiltración provenientes de las mismas, esto con el propósito de brindar protección y durabilidad a la estructura.



Ing. Jorge Alberto Sánchez
Especialista en Ingeniería de Pavimentos

REFERENCIAS

- Manual de diseño de pavimentos de concreto: para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. Invias – 2008

- Guía Metodológica para el Diseño de Obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras. INVIAS, 2008.

- Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras. INVIAS, 2022.

- Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras. IDU, 2011

  Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS - Ministerio de Desarrollo Económico -2000.

- Informe presentado por la compañía INGECONSULTERES S.A.S 2024

ANEXO 1
MEMORIAS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS