



ALCALDIA DE PURIFICACIÓN

CONTRATO DE CONSULTORIA No. 349 DEL 29 DE OCTUBRE DE 2024

**“ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS EN EL
MUNICIPIO DE PURIFICACIÓN-TOLIMA”**

ESTUDIO DE PAVIMENTOS.

**PURIFICACIÓN-TOLIMA
2024**



1) TABLA DE CONTENIDO

2) Contenido

TABLA DE CONTENIDO	1
1.2 OBJETIVOS	4
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	4
2.1 GEOLOGÍA GENERAL.....	5
2.2 GEOLOGÍA LOCAL.....	8
3 ESTRUCTURA DEL ESTUDIO.....	10
3.1 RESUMEN DE LAS EXPLORACIONES GEOTÉCNICAS.....	13
3.3 INFORMACIÓN IDEAM - ANÁLISIS HIDROLÓGICO.....	14
4.2 CARACTERÍSTICAS DE LA SUBRASANTE	20
4.3 DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO	30
4.3.1 Metodología Invias.	30
Metodología AASHTO 93	33
Metodología PCA 84.....	37
4.3.3 Selladores de juntas	42
Selladores de juntas.	42
4 CONCLUSIONES.....	45
5 ANEXOS	47
ANEXO A. REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	48
1 ENSAYOS DE LABORATORIO.....	50
8 UBICACIÓN PERFORACIONES.....	51



LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1.	Plancha 207 Honda - INGEOMINAS	7
Grafica 2.	Geología Local Casa Blanca	8
Grafica 3.	Ubicación general del proyecto.....	10
Grafica 4.	Registro fotográfico de la vía	12
Grafica 5.	Distribución Granulométrica	13
Grafica 6.	. Histograma Precipitación Media Anual	15
Grafica 7.	IDF adoptada bajo un punto de vista conservador	16
Grafica 8.	Módulo de reacción de soporte.....	35
Grafica 9.	Factor de Perdida de Soporte.....	35
Grafica 10.	. Espesor Losa de Concreto de Diseño	39
Grafica 11.	Espesor Losa de Concreto de Diseño	39
Grafica 12.	Juntas Transversales	40
Grafica 13.	Detalle de Sardinell y losa de pavimento rígido	40
Grafica 14.	Juntas a Pozos.....	41
Grafica 15.	Espesor de Diseño Final.....	45



LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Tipo de exploraciones desarrolladas y Muestras obtenidas	11
Tabla 2.	Ensayos realizados	11
Tabla 3.	Tabla de resumen – Exploraciones manuales.....	13
Tabla 4.	Estación – IDEMA-HONDA [23010080]	15
Tabla 5.	Composición vehicular 01/10/2024.....	17
Tabla 6.	TPD A PARTIR DEL TRANSITO.....	18
Tabla 7.	Numero de ejes equivalentes acumulados de acuerdo a la información presentada por el Ingeniero Felix Pulido	19
Tabla 8.	Rangos típicos de ejes vehiculares PCA.....	19
Tabla 9.	Resumen exploraciones tipo Apique	20
Tabla 10.	Categoría de tránsito para la selección de espesores.	30
Tabla 11.	Clasificación de la subrsante de acuerdo con su resistencia.	31
Tabla 12.	Clasificación de los materiales de soporte para el pavimento de concreto	31
Tabla 13.	Valores de resistencias a la flexotracción del concreto (módulo de rotura).....	31
Tabla 14.	Denominación del sistema de transferencia de cargas y confinamiento lateral.....	32
Tabla 15.	Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo a la combinaci ón de variables y T1 como factor principal.....	32
Tabla 16.	Factor de Confiabilidad Metodología AASHTO 93	33
Tabla 17.	Distribución e confiabilidad vs. Error Estándar.....	34
Tabla 18.	Correlación de Drenaje.....	36
Tabla 19.	Coeficiente de Drenaje	36
Tabla 20.	Coeficiente de Drenaje INVIAS.....	36
Tabla 21.	Análisis Método PCA 84.....	38



1 GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En el siguiente informe se presenta las memorias de diseño de la estructura de pavimento de Carrera 5 entre calles 4A y calle 7, Carrera 4 entre calles 7 y Calle 8B y Calle 7 entre carreras 4 y 5 municipio de purificación, se presentará una caracterización geológica general del sector contemplando la memoria explicativa de la plancha no. 207 – Honda y el Mapa geológico del Departamento del Tolima, adicionalmente se presenta un resumen de las exploraciones geotécnicas desarrolladas presentando un resumen por medio de tablas y cuadros que permiten el mejor entendimiento del perfil estratigráfico encontrado.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar un informe geotécnico que garantice diseño de la estructura de pavimento de la via Carrera 5 entre calles 4A y calle 7, Carrera 4 entre calles 7 y Calle 8B y Calle 7 entre carreras 4 y 5 municipio de purificación, Departamento del Tolima.

1.2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Desarrollar una caracterización geológica general de la zona en la cual se presenta en la estructura de pavimento de la vía que conduce del municipio de la via urbana de puri.
- Realizar un trabajo de campo por medio de equipos de exploración geotécnica los cuales garanticen la obtención de muestras representativas para su respectiva caracterización física y mecánica.
- Presentar por medio de tablas resumen la caracterización física y mecánica desarrollada a las muestras extraídas en la exploración de campo.
- Para los periodos de diseño definidos dimensionar la estructura de pavimento rígido que cumpla con las solicitudes finales del proyecto



2 GEOLOGÍA

2.1) GEOLOGÍA GENERAL

La geología del municipio de Purificación, la constituyen rocas sedimentarias con edades que van del Cretáceo al Terciario, plegadas, fragmentadas, y cubiertas de depósitos de origen fluvial del Cuaternario, a continuación se describen las litologías enmarcadas en los respectivos periodos.

2.1.1) Cretáceo.

Estas rocas corresponden a unidades sedimentarias consolidadas de ambiente marino agrupadas así: Formación Hondita – Loma Gorda, Grupo Olini, y formación La Tabla.

Formación Hondita y Loma Gorda. Constituido por arcillolitas en capas gruesas, con laminación plana paralela intercaladas con calizas, lutitas y areniscas cuarcíticas de grano fino. Aflora en la zona Oriental del municipio, en las veredas de San Roque, Samaria, Campoalegre, El Consuelo, y en el sector Centro Oriental de las veredas La Mata, El Tambo, y Santa Lucia I y II, costado izquierdo de la cuchilla de Alta Mayor y en el Anticlinal de Altagracia

Grupo Olini. Grupo de rocas sedimentarias Cretáceas constituidas por dos bancos de liditas, presentes en el extremo y en la base de la unidad, intercaladas con arcillolitas y lutitas silíceas y colores claros. Aflora en el camino que conduce de la vereda Santa Lucia I a San Diego, sector central de las veredas: La Mata, el Tambo, El consuelo, San Diego, San Roque y San Antonio.

Formación La Tabla. Rocas formadas por dos niveles de areniscas intercaladas en la parte media por un nivel delgado de lutitas, sus contactos son coincidentes con el grupo Olini y con la formación Seca. Se localiza en el centro de las veredas: El Consuelo, El Tigre, y al Occidente de la vereda Campo Alegre.



2.1.2) Terciario.

El Terciario esta formado por rocas sedimentarias de origen continental, aflora especialmente hacia el valle del Magdalena y en el núcleo del Sinclinal de Prado, corresponden al Terciario, la formación Seca y los grupos Gualanday y Honda.

Formación Seca. Corresponden a los sedimentos ubicados en capas uniformes entre las formaciones La Tabla, y Gualanday; la Formación Seca esta constituida por arcillolitas heterogéneas donde predominan los colores rojizos, grises y verdosos, hacia la base se intercalan con areniscas de grano fino y limolitas con disposición de las capas cruzada, esta unidad se halla cubierta la mayoría de las veces por bloques provenientes de las formaciones La Tabla y Gualanday Inferior. Se localiza en las veredas: Tres Mesetas, y Aceituno.

Grupo Gualanday. El grupo Gualanday esta formado por bancos de conglomerados con intercalaciones de arcillolitas, limolitas y areniscas, estas rocas se presentan plegadas y alargadas en dirección NE-SW. Aflora en el núcleo del Sinclinal de Prado en las veredas de Lozanía, Corrales, Bocas del Salero y San Buenaventura, sobre el sector de la represa de Hidroprado. Este grupo se divide en las formaciones Gualanday Inferior, medio y superior.

Grupo Honda. Formado por capas de arenisca, arcillolita y limolitas, intercaladas con conglomerados de geometría lenticular, localizada al Occidente de las unidades Sedimentarias Cretáceas y separadas de estas por la Falla de Prado estos depósitos forman una superficie moderadamente ondulada con colinas de poca elevación, alargadas y redondeadas. Se localiza en las veredas: La Coya, Chenche Asoleado, Ovejera, Holanda, Madroño, El Consuelo, El Tigre, Sabaneta, y el sector Occidental de las veredas: Santa Lucia I – II, y la Mata. 2.1.1.3

2.1.3) Cuaternario.

Está conformado por depósitos aluviales (sedimento arrastrado por las corrientes) de los ríos Magdalena, Chenche y Saldaña y por depósitos de ladera presentes den la zona montañosa.

Depósitos Coluviales. Están constituidos por bloques angulares de diferentes tamaños de areniscas embebidas en una matriz arcillo-limosa, dentro de estos depósitos se destacan los localizados en las veredas Santa Lucia I, entre la quebrada Guadaleja y San Diego, Tres Mesetas, El Tambo, y algunos sectores de las veredas de Agua Negra, y Villa Esperanza. Estos depósitos se han desarrollado como producto de la desintegración de los escarpes de las formaciones La Tabla, Hondita – Loma Gorda y Olini, con pendiente moderada, y patrón de drenaje no desarrollado.

Depósitos Aluviales. están conformados por cantos, gravas, arenas y limos, embebidos en una matriz areno-arcillosa, cubriendo de manera irregular las rocas



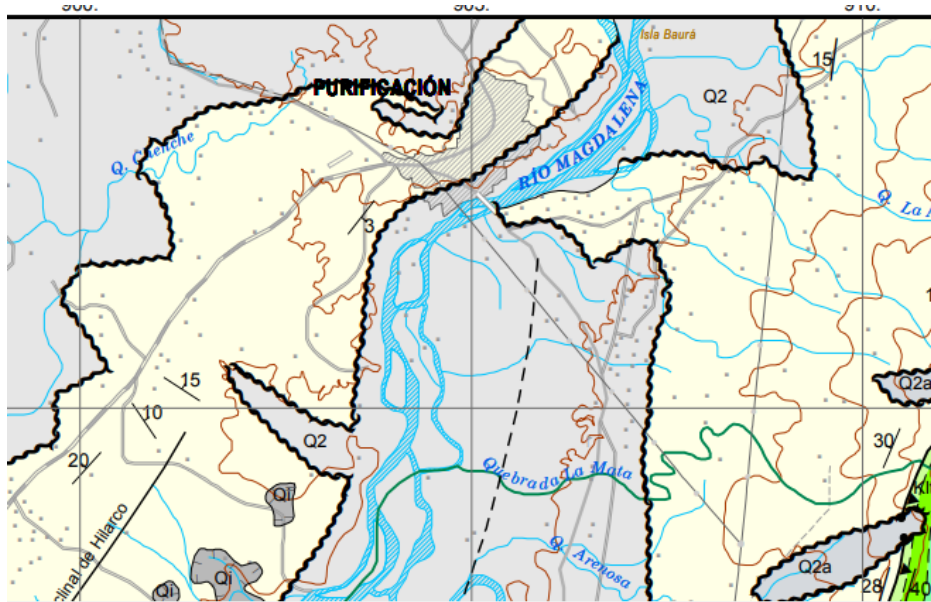
del grupo Honda y formando planicies de inundación con pendientes inferiores al 3%, asociados a los valles de los principales ríos de la región. Formando terrazas Producto del transporte y acumulación de material de las partes altas de la cordillera. Ubicados en las veredas de Cerritos, Tamarindo, Baurà, Villa Colombia, San Francisco y los Cairos

2.2) Geología estructural.

El municipio de Purificación ubicado en el valle del río Magdalena, cuyo valle ha sido catalogado como una fosa Tectónica que en terciario superior formó fosas y pilares, generando fallamientos y plegamientos de las rocas Cretáceas, influyendo directamente en la formación de los diferentes depósitos; se pueden identificar tres grandes bloques tectónicos:

- Flanco Oriental de la Cordillera Central.
- Flanco Occidental de la Cordillera Oriental, que combina pliegues y fallas con dirección NE-SW, siendo la falla de Prado la estructura más externa del sistema de fallas del Magdalena.
- En el Valle del Magdalena la deformación es menor, presentando algunos pliegues suaves y fallamientos escasos que afectan las rocas del grupo Honda. En este municipio se destaca el plegamiento tanto de tipo Anticlinal como Sinclinal y el fallamiento de las rocas sedimentarias Cretáceas y Terciarias.

Grafica 1. Plancha 283 Purificación - INGEOMINAS



En el área de estudio, se han identificado varios tipos de rocas metamórficas, cada una con características distintivas que reflejan su historia geológica y las condiciones de presión y temperatura a las que fueron sometidas.

Map of the urban layout of the Purificación area, showing the proposed sewerage network.

Legend:

- CONVENCIONES**
 - ▲ PUNTO FIN
 - PUNTO INICIO
 - Vía Urbana, Purificación
 - Terreno, Municipio, Purificación
 - Veredas, Municipio, Purificación
 - Balsa, Obra

Scale: 1:10,000

Map Labels:

- Streets:** n4n6-Sc, Purificación, Q-al
- Points:** PUNTO FIN, PUNTO INICIO

La segunda litología observada es el esquisto verde, identificado como "ev". Esta



roca se caracteriza por su color verde, producto de la presencia de minerales como albita, epidota, clorita y actinolita. La composición de este esquisto indica un ambiente de metamorfismo regional de bajo a moderado grado, conocido como facies de esquisto verde. La foliación de la roca es bien desarrollada, con los minerales orientados en planos paralelos que facilitan su división en láminas. Estas características sugieren condiciones de temperatura y presión relativamente bajas, en las cuales los minerales de la roca se formaron o recrystalizaron, desarrollando texturas típicas del metamorfismo regional.

Otro tipo de roca presente en la región es la filita y cuarzofila, designada como "es". Esta roca contiene filita grafitosa y esquisto aluminico, con una textura fina y un brillo sedoso característico que proviene de la orientación de minerales micáceos. A diferencia de las cuarcitas y los esquistos verdes, la filita presenta una foliación de grano más fino, lo cual sugiere un grado de metamorfismo relativamente bajo. Este tipo de roca es común en zonas de metamorfismo regional donde los minerales micáceos, como la mica y el cuarzo, se alinean bajo la influencia de la presión, proporcionando a la roca una apariencia de lámina fina. La presencia de esquisto aluminico indica un contenido alto de minerales de aluminio, que puede deberse a la alteración de rocas ricas en arcilla en el protolito.

Finalmente, se identifica la anfibolita y esquisto anfibolítico, referida como "ea". Esta roca presenta una composición dominada por hornblenda y plagioclasa, lo cual es característico de las rocas de facies de anfibolita. La foliación de la anfibolita es marcada, con orientación de los minerales anfibólicos en planos paralelos, lo cual indica que fue sometida a condiciones de presión y temperatura más elevadas que las rocas previamente descritas. La presencia de minerales de hornblenda y plagioclasa sugiere un metamorfismo de grado medio a alto, típico de ambientes donde el calor y la presión son lo suficientemente intensos como para provocar la recrystalización y realineación de estos minerales.



3) 3 ESTRUCTURA DEL ESTUDIO

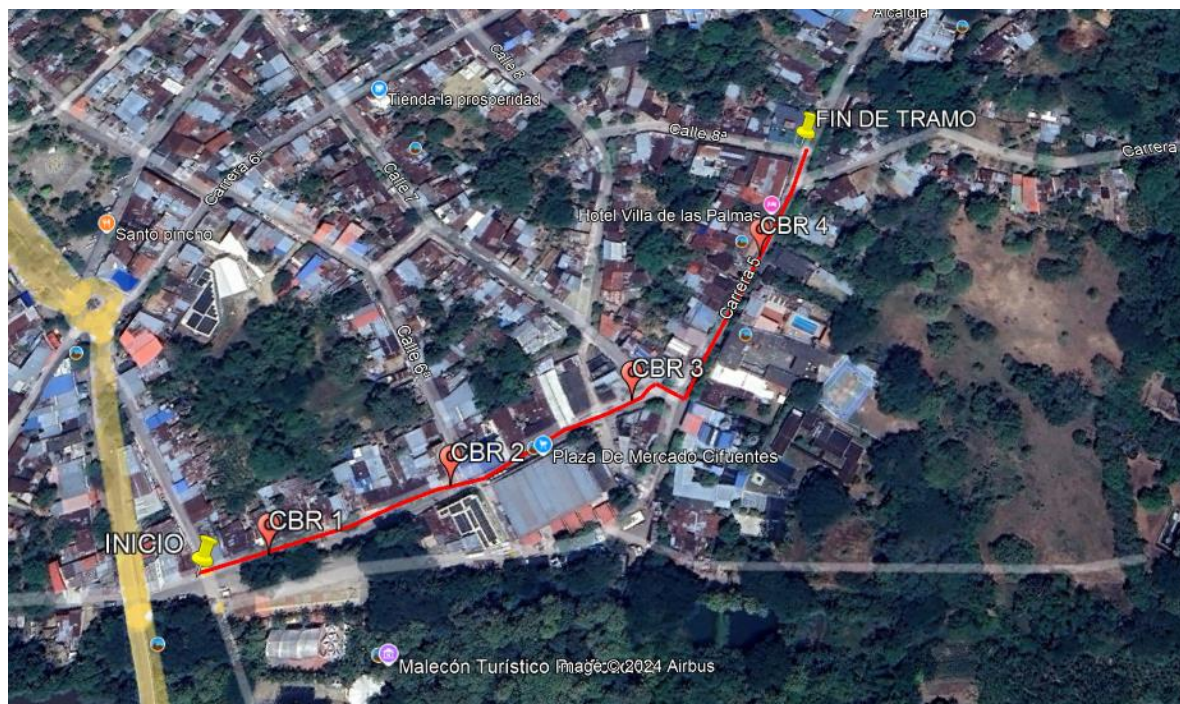
En el siguiente informe se presenta un resumen de las condiciones geotécnicas y el diseño de la estructura de pavimento de la vía que conduce del municipio Calle 2 con Cra 2 via tanques, Departamento del Tolima, Departamento del Tolima.

Gráfica 2. Ubicación general del Proyecto



Fuente: Google Earth

Grafica 3. Ubicación general del proyecto





De acuerdo a la solicitud transmitida por el Consorcio, se adelantan un total de 4 exploraciones manuales con recobros de muestras inalteradas tipo CBR, para la calle propuesta.

Cada una de las muestras recobradas fueron clasificadas según el método SUCS, 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 alta, de manera general se presentó un suelo limoso de alta plasticidad y consistencia rígida.

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 les ejecutaron.

Tabla 1. Tipo de exploraciones desarrolladas y Muestras obtenidas

Tipo de exploración	Profundidad Alcanzada (m)	Cantidad	Numero de Muestras	Tipo de Muestras
Manual	1.5	4	4	Inalteradas Molde CBR Alteradas tipo Bolsa

Tabla 2. Ensayos realizados

Ensayo de Laboratorio	Norma Utilizada	Cantidad	Tipo de Muestras
Humedad Natural	INVE 122	4	Remoldeadas
Limite Liquido y Plástico	INVE 125 - 126	4	Remoldeadas
Granulometría Lavado Tamiz No. 200	INVE 123	4	Remoldeadas
Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR Inalterado)	INVE 148	4	Inalterada Molde de CBR

CONDICIONES ACTUALES DEL TERRENO

La vía explorada presenta una carpeta de rodadura flexible la cual presenta diferentes patologías de gran importancia, empezando por la presencia de grandes baches, exponiendo a la contaminación la base granular, así mismo en el recorrido se pueden evidenciar grietas longitudinales



Grafica 4. Registro fotográfico de la vía





3.1 RESUMEN DE LAS EXPLORACIONES GEOTÉCNICAS

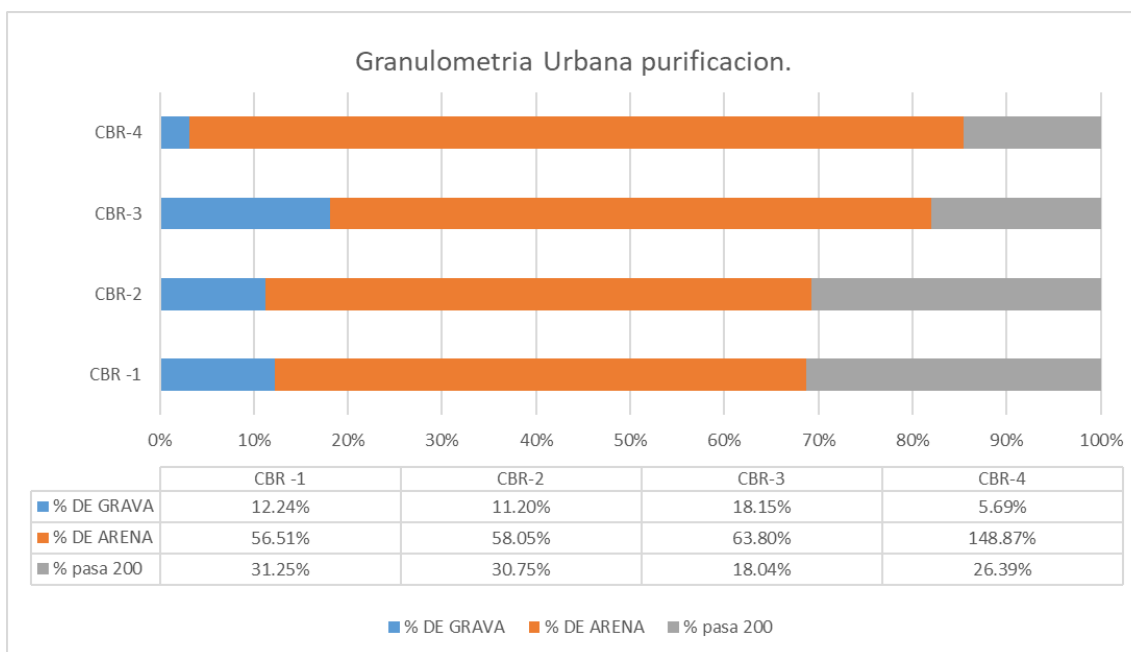
De acuerdo a la establecido en los manuales de diseño de pavimentos del INVIAS se desarrolló 4 exploraciones buscando caracterizar las condiciones del terreno donde se proyectan las intervenciones viales, las exploraciones permiten evidenciar arenoso susceptible al agua ya se pierde su material fino al estar al contacto con el agua.

En la tabla 4. Perfil Estratigráfico se presenta una tabla resumen de los ensayos realizados a las exploraciones geotécnicas adelantadas.

Tabla 3. Tabla de resumen – Exploraciones manuales

HOJA RESUMEN DE DATOS											
No. MUESTRA	Nombre de la muestra	% pasa No. 4	limite liquido	IP	Humedad	% DE GRAVA	% DE ARENA	% pasa 200	SUCS	CBR	
										0.1	0.2
1	CBR -1	88%	27.76%	4.61%	8.60%	12.24%	56.51%	31.25%	SM	1.41%	1.09%
2	CBR-2	89%	26.13%	5.61%	21.88%	11.20%	58.05%	30.75%	SC	1.75%	1.46%
3	CBR-13	82%	NL	NP	42.70%	18.15%	63.80%	18.04%	ML	19.42%	25.30%
4	CBR-4	94%	NL	NP	39.99%	5.69%	148.87%	26.39%	ML	3.26%	2.75%

Grafica 5. Distribución Granulométrica





3.2 RESUMEN DEL PERFIL ESTRATIGRÁFICO

La zona donde se realizaron el apique para la toma de los Cbrs presenta en material tipo escombro entre 0,00 y 0,8 metros, luego presenta un material granular con baja plasticidad, pero con una humedad alta.

3.3 INFORMACIÓN IDEAM - ANÁLISIS HIDROLÓGICO

A partir de la información a la cual se puede acceder en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, se determinan las estaciones hidrometeorológicas en la zona del estudio y se procede a recopilar en la totalidad la información de dichas estaciones, las cuales debido a su proximidad con el área de estudio tienen mediciones que pueden ser representativa para llevar a cabo un análisis hidrológico. Del análisis de tal información se puede determinar que los datos de dichas estaciones se encuentran completos y cuentan con unas adecuadas series temporales, lo cual hace que se tenga un mejor ajuste de los datos.

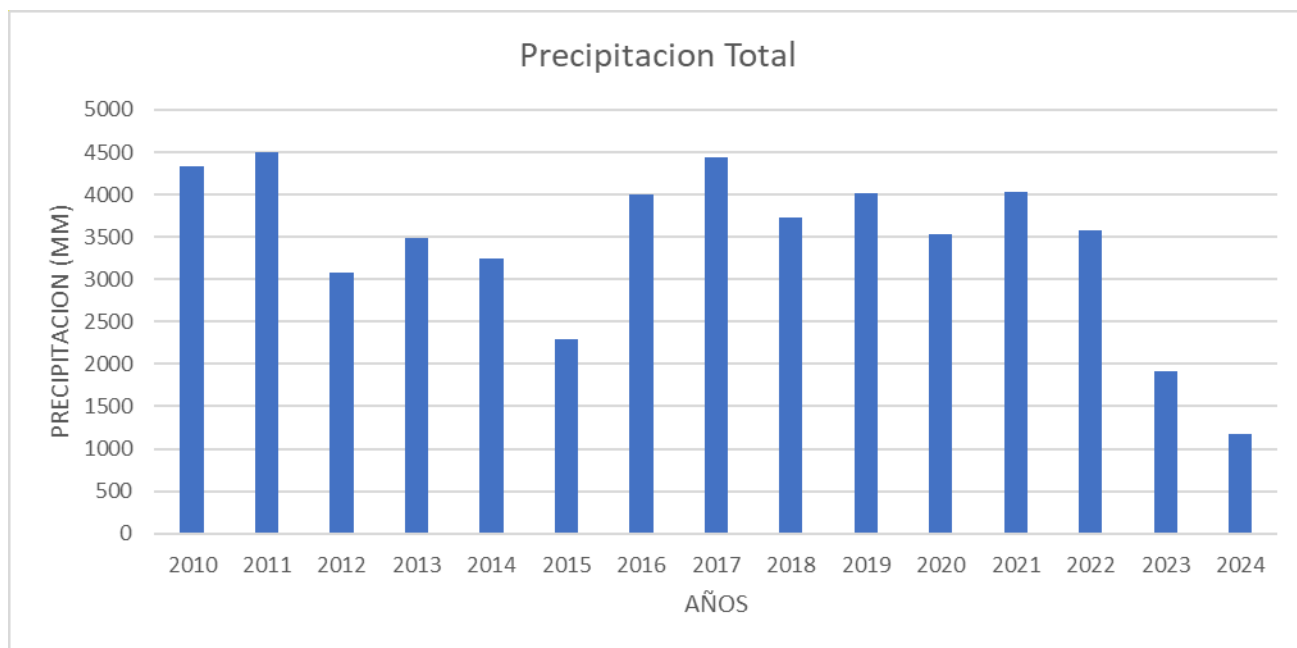
Como variable de entrada dentro del análisis se presenta la memoria de cálculo de la estación



Tabla 4. Estación – PURIFICACION [21130010]

Etiquetas de fila	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Total general
2010	150	246	92	1344	548	172	426	94	150	234	476	402	4334
2011	248	178	490	1106	256	202	170	156	68	404	694	534	4506
2012	384	454	340	534	68	44	102	54	52	648	186	218	3084
2013	62	366	288	486	520	66	24	240	116	434	362	528	3492
2014	198	182	300	674	318	74	4	40	284	316	496	352	3238
2015	354	190	436	292	152.6	78	34	0	52	278	388	32	2286.6
2016	48	20	464	522	422	124	80	90	118	746	582	788	4004
2017	386	126	610	556	796	222	202	170	170	286	804	112	4440
2018	394	288	428	450	826	20	116	16	97.6	672	371.6	56	3735.2
2019	190	582	888	336	422	60	36	0	305	338	594	270	4021
2020	8	230	644	395.4	434.6	560.4	305.2	151.2	171.6	30.6	275.2	320.2	3526.4
2021	170.6	151.8	470.4	380.2	398.2	541	251	78.8	198	346	674	364	4024
2022	256	252	430	384	436	440	252	218	180	272	242	208	3570
2023	320	134	358	222	150	42	70	86	60	110	126	244	1922
2024	68	56				302	24	24	20	246	422.2	5	1167.2
Total general	3236.6	3455.8	6238.4	7681.6	5747.4	2947.4	2096.2	1418	2042.2	5360.6	6693	4433.2	51350.4
0									Promedio anual 15 años				3423.36

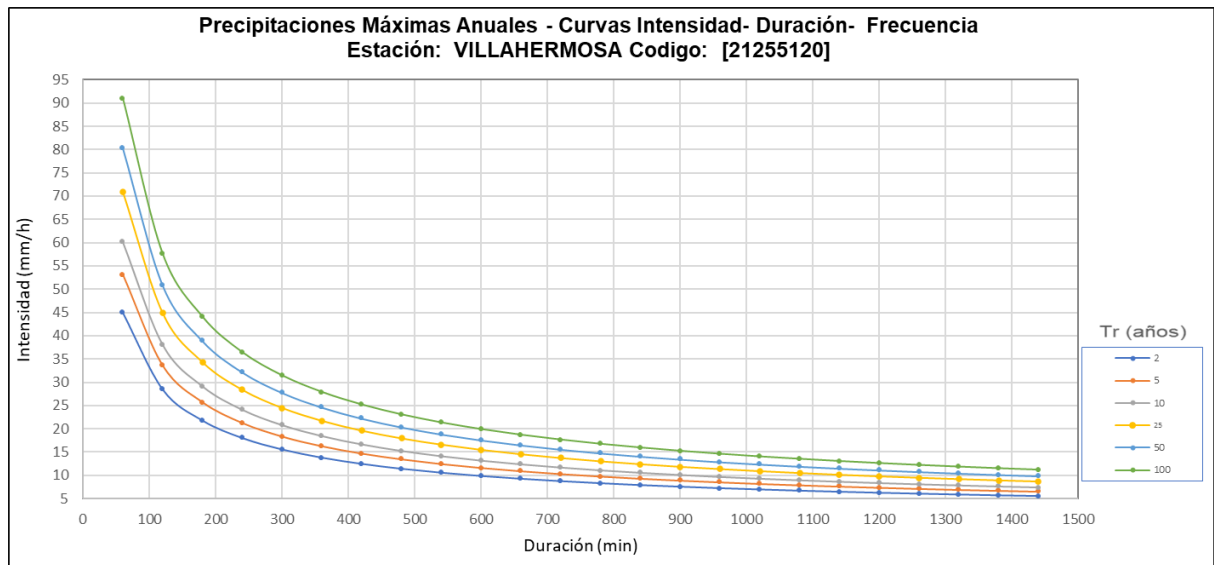
Grafica 6. . Histograma Precipitación Media Anual



Para el cálculo de geodrenes o filtros se adoptó una curva IDF conservadora que afectaría a la zona



Grafica 7. IDF adoptada bajo un punto de vista conservador





3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

3.1) ANÁLISIS DE TRANSITO EN EL CARRIL DE DISEÑO Y DURANTE EL PERIODO DE DISEÑO

Introducción

A continuación, se presenta el resumen del análisis desarrollado por el Ingeniero Félix Pulido para determinar el tránsito de diseño de la estructura de pavimento rígido proyectada. Donde se cuantifica del número acumulado de ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas (N) que circulará por el carril de diseño durante el período de diseño.

Componentes del Transito

Igualmente, los conteos vehiculares fueron desarrollados por el consorcio Inge consultores 2021 a continuación se presenta una tabla resumen de los conteos desarrollados.

Tabla 5. Composición vehicular 01/10/2024

COMPOSICION VEHICULAR DURANTE LA TOMA DE INFORMACION										
PERIODO		MOTOCICLETAS	A - AUTOMOVILES CAMIONETAS Y MICROBUSES	B - BUSES Y BUSETAS	C2P - CAMIÓN DE 2 EJES PEQUEÑO	C2G - CAMIÓN DE 2 EJES GRANDE	C34 - CAMIÓN DE 3 EJES y 4 EJES	C5- CAMIÓN DE 5 EJES	> C5 - CAMIONES DE MÁS DE 5 EJES	TD
6:00:00	20:00:00	63	4	0	1	1	0	0	0	69
COMPOSICION (%)		91,30%	5,80%	0,00%	1,45%	1,45%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%

Obtención TPD

El tránsito promedio diario es una de las variables fundamentales para la determinación del número de ejes equivalentes que solicitarán el pavimento. Para estimar este valor se tomó la información de los conteos realizados durante una semana, a continuación, se presentan los TPDS para la vía analizada.



Tabla 6. TPD A PARTIR DEL TRANSITO

TPD - PROYECTADO									MIXTOS
AÑO	MOTOS	AUTOS	BUSES	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5	
2024	63	4	0	1	1	0	0	0	69
2025	64	4	0	1	1	0	0	0	70
2026	65	4	0	1	1	0	0	0	71
2027	66	4	0	1	1	0	0	0	72
2028	67	4	0	1	1	0	0	0	73
2029	68	4	0	1	1	0	0	0	74
2030	69	4	0	1	1	0	0	0	75
2031	70	4	0	1	1	0	0	0	76
2032	71	4	0	1	1	0	0	0	77
2033	72	4	0	1	1	0	0	0	78
2034	73	4	0	1	1	0	0	0	79
2035	74	4	0	1	1	0	0	0	80
2036	75	4	0	1	1	0	0	0	81
2037	76	4	0	1	1	0	0	0	82
2038	77	4	0	1	1	0	0	0	83
2039	78	4	0	1	1	0	0	0	84
2040	79	4	0	1	1	0	0	0	85
2041	80	4	0	1	1	0	0	0	86
2042	81	4	0	1	1	0	0	0	87
2043	82	4	0	1	1	0	0	0	88
2044	83	4	0	1	1	0	0	0	89

Uno de los entregables proyectados por el ingeniero Félix es el número de ejes equivalentes a continuación se presenta el valor presentado por el y el valor finalmente adoptado por esta consultoría.



Tabla 7. Numero de ejes equivalentes acumulados de acuerdo a la información presentada por el Ingeniero Felix Pulido

EJES EQUIVALENTES DE 80 KN - ACUMULADOS								MIXTOS
MOTOS	AUTOS	BUSES	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5	
0	0	0	1	3	0	0	0	4
0	0	0	2	5	0	0	0	7
0	0	0	3	8	0	0	0	11
0	0	0	4	11	0	0	0	15
0	0	0	5	14	0	0	0	19
0	0	0	6	16	0	0	0	22
0	0	0	7	19	0	0	0	26
0	0	0	8	22	0	0	0	30
0	0	0	9	24	0	0	0	34
0	0	0	10	27	0	0	0	37
0	0	0	11	30	0	0	0	41
0	0	0	12	33	0	0	0	45
0	0	0	13	35	0	0	0	48
0	0	0	14	38	0	0	0	52
0	0	0	15	41	0	0	0	56
0	0	0	16	44	0	0	0	60
0	0	0	17	46	0	0	0	63
0	0	0	18	49	0	0	0	67
0	0	0	19	52	0	0	0	71
0	0	0	20	55	0	0	0	75
0	0	0	21	58	0	0	0	79

Debido a que el transito presente no arrojo el tránsito por la zona de vehículos comerciales se recomienda adoptar un valor conservador ajustado a las características típicas de la zona.

Tabla 8. Rangos típicos de ejes vehiculares PCA

Curva de Transito	Descripción de uso de cada Pavimento	Ejes Estándar Equivalentes en 20 años de servicio
T5	Patios, Terrazas, veredas peatonales y pabellones de exposición	0
T4	Entradas en conjuntos habitacionales, Estacionamientos (Solo Autos), calles o pasajes residenciales con menos de 15 vehículos comerciales al día.	$0 - 4.5 \times 10^4$
T3	Vías Locales, calles residenciales (15 a 50 Veh.com./día) Estaciones de Servicio y Estacionamientos comerciales	$4.5 \times 10^4 - 1.4 \times 10^5$
T2	Vías Colectoras (50 a 150 veh. Com./día) Terminales de Buses	$1.4 \times 10^5 - 4.5 \times 10^5$
T1	Vías Principales (150 a 500 veh. Com. /día)	$4.5 \times 10^5 - 1.4 \times 10^6$
T0	Vías intercomunales importantes, avenidas (500 a 1500 veh. Com. /día)	$1.4 \times 10^6 - 4.5 \times 10^6$
Periodo de diseño de 20 años		

Bajo esta condición y las tablas propuestas por la PCA es posible definir un total de 45.000 ejes equivalentes. Y un total de 500 mil ejes equivalentes para un periodo de diseño de 20 años.



3.2) CARACTERÍSTICAS DE LA SUBRASANTE

En la tabla a continuación se presenta un resumen de los ensayos realizados a las exploraciones geotécnicas adelantadas, la clasificación general del terreno no cambio de forma significativa, sin embargo, los espesores de mantos superficiales de baja resistencia con expresiones orgánicas si presento una variación significativa.

Tabla 9. Resumen exploraciones tipo Apique

HOJA RESUMEN DE DATOS											
No. MUESTRA	Nombre de la muestra	% pasa No. 4	limite liquido	IP	Humedad	% DE GRAVA	% DE ARENA	% pasa 200	SUCS	CBR	
										0.1	0.2
1	CBR -1	88%	27.76%	4.61%	8.60%	12.24%	56.51%	31.25%	SM	1.41%	1.09%
2	CBR-2	89%	26.13%	5.61%	21.88%	11.20%	58.05%	30.75%	SC	1.75%	1.46%
3	CBR-13	82%	NL	NP	42.70%	18.15%	63.80%	18.04%	ML	19.42%	25.30%
4	CBR-4	94%	NL	NP	39.99%	5.69%	148.87%	26.39%	ML	3.26%	2.75%

Como un punto de vista conservador se tomaron valores bajos para esta casa será 1,41%

$$CBR_{Inicial} = 1.41\%$$

Tabla 13. Mejoramiento con material granular tipo afirmado

Mejoramiento con material tipo afirmado		
CBR (srte)		1.41
CBR (gran)		15
Espesor Gran	h	30 cm
Relacion	n	1.96
Radio Carga	a	15 cm
E (srte)		166.14 kg/cm ²
E (gran)		898.82 kg/cm ²
E (equiv)		454.41 kg/cm ²
CBR (equiv)		5.77

$$E_{Equiv} = \frac{E_{Srte}}{1 - \frac{2}{\pi} \left(1 - \frac{1}{n^{3.5}}\right) \tan^{-1} \left(n \frac{h_{Gran}}{2a}\right)}$$

$$CBR_{Diseño} = 5.77\%$$



3.3) ALTERNATIVA DE DISEÑO PAVIMENTO FLEXIBLE.

Los materiales granulares no ligados propuestos para el proyecto deben cumplir con los criterios definidos en las especificaciones INVIAS estas especificaciones deben coincidir con el Nivel de Transito NT2 el cual comprende un numero de ejes de 80 KN entre 50.000 y 5.000.000.

La mezcla asfáltica utilizada para desarrollar los análisis corresponde a la Planta Asfaltemos considerando que se da cumplimiento con los definidos en las especificaciones INVIAS además ser la planta más cercana al proyecto. A continuación se presenta un resumen de las principales características.

Grafica 8. Granulometría Mezcla Asfáltica.

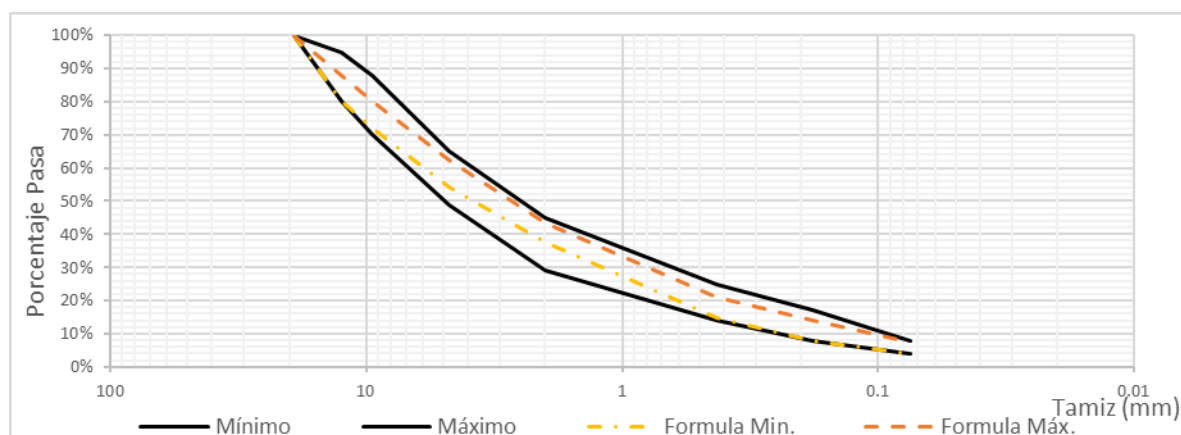


Tabla 10. Criterios de aceptación Mezcla Asfáltica.

Características	Unidades	Tabla 450 - 10	Mezcla Asfaltemos	Criterio
Estabilidad Mínima	N	7500	12505	Cumple
Flujo	mm	2.0 a 4.0	3.1	Cumple
Relación Estabilidad/Flujo	KN / mm	3.0 a 5.0	4.03	Cumple
Vacios con Aire	%	3.0 a 5.0	4.54	Cumple
Vacios en los Agregados Minerales	%	Mínimo 15	16.3	Cumple
Vacios Llenos de Asfalto	%	65 a 78	72.4	Cumple
Relación Llenante/Ligante Efectivo	-	0.8 a 1.2	1.1	Cumple

Esta información es suministrada por la planta Asfaltemos

A continuación, se presentan las principales características de la mezcla asfáltica y se estiman el porcentaje de vacíos, agregados y ligante asfáltico por relaciones gravimétricas y volumétricas.



Tabla 11. Principales valores de la mezcla asfáltica y relaciones volumétricas.

Diseño Marshall - Asfaltemos			
Fracción que pasa el Tamiz No. 200	5.70%		
Penetración a 25°C	63		
Punto de Ablandamiento	50 °C	Vol aire	4.53%
Peso Unitario	1.0203	Vol Asfalto	11.53%
Porcentaje optimo de Asf.	5.40%	Vol. Agregado	83.94%
Densidad Bulk	2.296		
Densidad Rice	2.405		

3.4) Metodología AASHTO 93

Es un método mecanicista el cual recopila la experiencia adquirida de los usuarios del método AASHTO – 72, en el cual se tienen nuevas consideraciones, tales como confiabilidad, Módulos de elasticidad de la subrasante y demás capas, el drenaje y efectos ambientales. Este método solo es aplicable para vías con transito superior a 0.5 x 10⁶ ejes equivalentes de 8.2 Toneladas.

De forma empírica para el diseño de pavimentos flexibles se propone la siguiente formula:

$$\log W_{18} = ZR \times S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log Mr - 8.07$$

Para el adecuado dimensionamiento de la estructura de pavimento es necesario tener en cuenta considerar las siguientes variables:

Comportamiento en el tiempo: Para este punto se tiene en cuenta el periodo de diseño de la estructura, tomándose como el tiempo que dura una estructura inicial de un pavimento antes de que requiera rehabilitación. También se refiere al lapso entre dos rehabilitaciones sucesivas.

Confiabilidad: Es la probabilidad de que una sección de pavimento, diseñada se comporte de forma satisfactoria bajo las condiciones de tránsito y clima previstas durante el periodo de diseño, esto busca incorporar algún grado de certidumbre al proceso de diseño.

Tabla 12. Factor de confiabilidad metodología AASHTO 93

CLASIFICACIÓN	FACTOR DE CONFIABILIDAD	
	Urbano	Rural
Autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Otras Carreteras	80 - 99	75 – 95
Colectoras	80 - 95	75 – 95
Locales	50 - 80	50 – 80
Confiabilidad tomada		95



El error en la predicción del comportamiento desarrollado en los tramos de ensayo fue de 0.45 para los pavimentos flexibles. Los valores de error estándar combinado de la predicción del tránsito y la predicción del comportamiento (Z_R).

Tabla 13. Distribución e confiabilidad vs error estándar

CLASIFICACIÓN	FACTOR DE CONFIABILIDAD	
	Urbano	Rural
Autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Otras Carreteras	80 - 99	75 – 95
Colectoras	80 - 95	75 – 95
Locales	50 - 80	50 – 80
Confiabilidad tomada		95

El error en la predicción del comportamiento desarrollado en los tramos de ensayo fue de 0.45 para los pavimentos flexibles. Los valores de error estándar combinado de la predicción del tránsito y la predicción del comportamiento (Z_R).

Tabla 14. Distribución e confiabilidad vs Error estándar.

Confiabilidad R (%)	Error Estándar Z_R	Confiabilidad R (%)	Error Estándar Z_R
50	0.000	93	-1.476
60	-0.253	94	-1.555
70	-0.524	95	-1.645
75	-0.674	96	-1.751
80	-0.841	97	-1.881
85	-1.037	98	-2.054
90	-1.282	99	-2.327
91	-1.340	99.9	-3.090
92	-1.405	99.99	-3.750

El tránsito: El método se basa en el número de ejes equivalentes 18 Kips (8.2 Ton) en el carril de diseño.

Efectos Ambiente: El método tiene en cuenta los factores ambientales tales como cambios de temperatura y humedad, resaltando el efecto que estos producirían en la durabilidad y capacidad de resistir las cargas. Además tiene en cuenta el efecto directo de la expansión de la subrasante.

Criterio de comportamiento: Es la capacidad que tiene una estructura de prestar un buen servicio al tránsito. Este se evalúa a través del índice de servicio presente (PSI), el cual varía de 0 a 5.



$$\Delta PSI = P_0 - P_1 = 4.20 - 2.20 = 2.00$$

Propiedades de los materiales: En esta metodología se utiliza como parámetro de resistencia el módulo resiliente MR de la subrasante, para efectos prácticos existe una relación entre CBR (Relación de Carga de California) y el MR.

$$MR_{(PSI)} = 1500CBR \text{ (Heukelom y Klomp)}$$

$$MR_{(PSI)} = 2555CBR^{0.64} \text{ (Lister y Powell)}$$

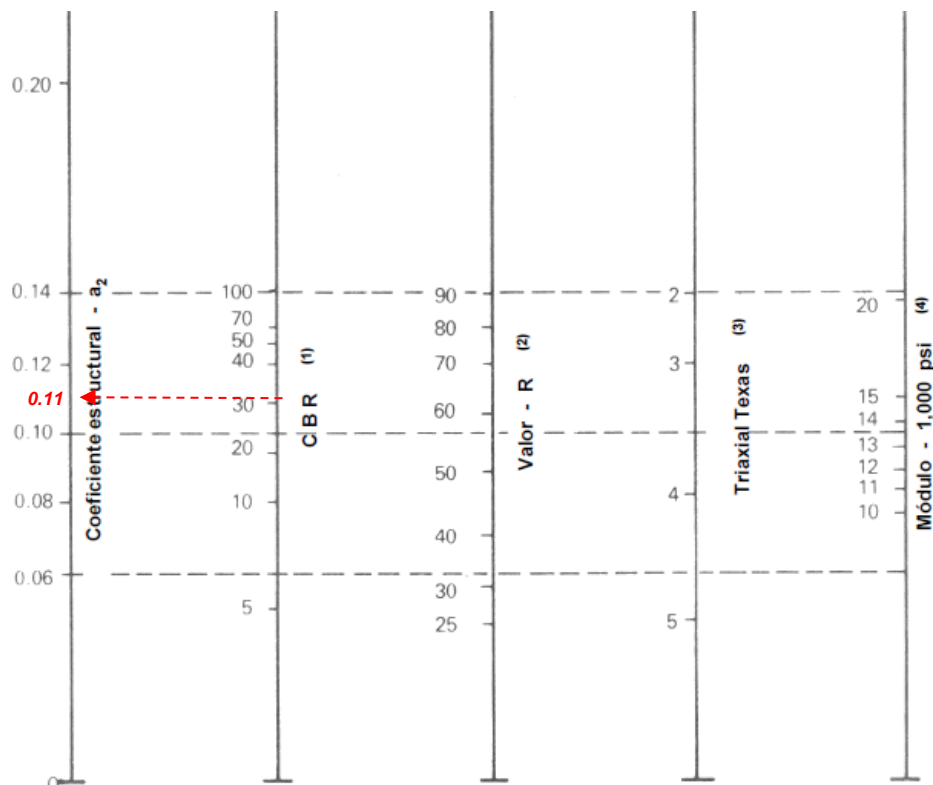
$$MR_{(PSI)} = 144(17.6CBR^{0.64}) \text{ (Powell y otros)}$$

Expresión que se considera razonablemente aproximada para suelos finos con un CBR sumergido no mayor de 10. La caracterización de las diferentes capas de pavimento se efectúa a través de sus módulos de elasticidad.

Para la Sub-base Granular no se presentan requisitos especiales, los propuestos por las Normas INVIAS, permiten cumplir con las recomendaciones previstas.

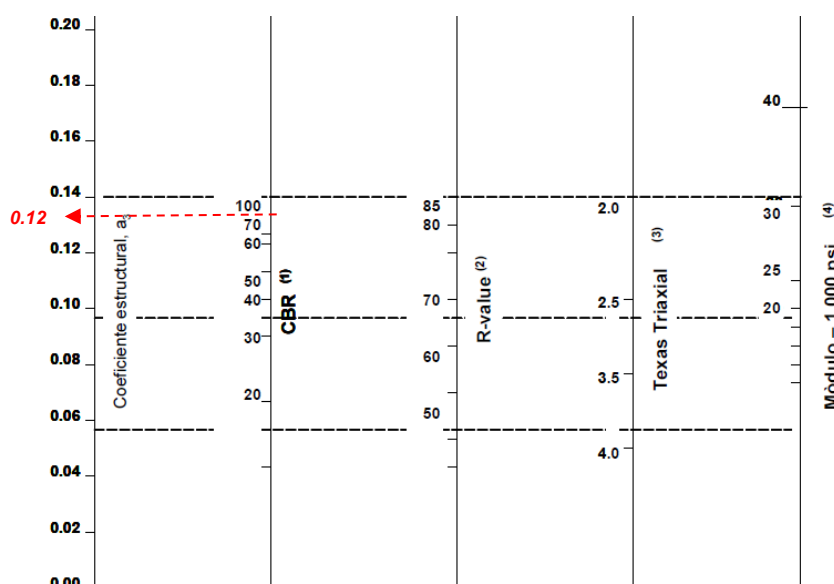
Para cada una de las capas granulares BG y SBG, es necesario calcular el coeficiente de capa a2 y a1 respectivamente que permita convertir su espesor en un numero estructural (SN). En las siguientes gráficos se pueden determinar a partir del CBR el coeficiente de capa de cada uno de los materiales.

Grafica 9. Coeficiente Estructural Sub-Base Granular.





Grafica 10. Coeficiente Estructural Base Granular.



Drenaje: El método no presenta consideraciones especiales para las estructuras de drenaje, pero los efectos los tiene en cuenta en términos de la influencia del agua tanto el material granular y la subrasante (potencial expansivo, pérdida de resistencia). La calidad del drenaje se mide mediante el tiempo de permanencia del agua en la estructura. Tabla 20.

Tabla 15. Correlación de Drenaje

Tiempo de Evacuación	Calidad del Drenaje
2 Horas	Excelente
1 Día	Bueno
1 Semana	Aceptable
1 Mes	Pobre
No drena	Muy Pobre

Los coeficientes de capa van afectados por los valores m_1 , los valores m_1 son una relación entre la calidad de drenaje y el tiempo en el año durante el cual se espera que el pavimento este normalmente expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación. Tabla 16

Tabla 16. Coeficiente de drenaje.



Calidad de Drenaje	% de tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel de humedad próximo a la saturación			
	<1%	1 – 5%	5 – 25%	>25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Aceptable	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy Pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

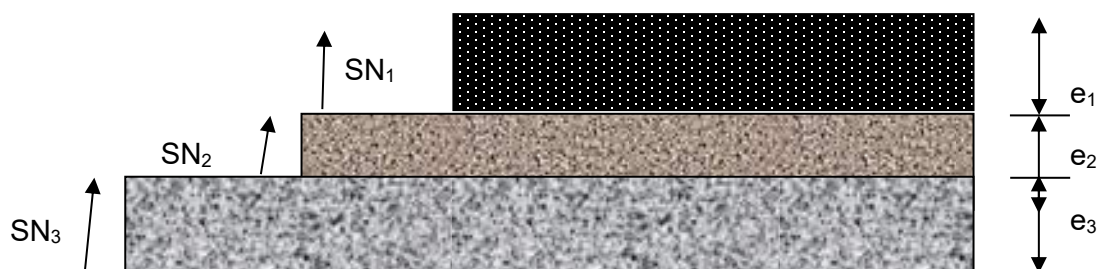
Reconociendo que los materiales que se utilizaran son de dos tipos los coeficientes de drenaje a utilizar son Base Granular =0.8 - Sub base Granular = 0.8 Teniendo en cuenta que existen factores adicionales como conexiones erradas de las viviendas colindantes posibles problemas de acueductos entre otras.

selección de capas consiste en escoger espesores un conjunto de espesores de capas que proporcionen la capacidad portante correspondiente a dicho SN. La fórmula general es:

$$SN = a_1e_1 + a_2e_2m_2 + a_3e_3m_3$$

Análisis del diseño por capas: El pavimento se considera como un sistema multicapa, en donde la distribución de los espesores debe hacerse de acuerdo con los principios mostrados en la siguiente gráfica. Grafica 15.

Grafica 11. Diagrama modelo AASHTO - 93



Los análisis desarrollados se presentan a continuación



Tabla 17. Análisis Método AASHTO 93

VARIABLES DE DISEÑO			
Tránsito ESALS	W_{18}	150000	
Confiabilidad	R (%)	90	
Desviación	Z_r [-]	-1.282	
Error estándar	s_o [-]	0.45	
Índice de serviciabilidad inicial	p_o [-]	4.2	
Índice de serviciabilidad final	p_f [-]	2	
CBR subrasante	%	5.77	
Módulo resiliente de la subrasante	Mr_{subr} [psi]	7844.11	
Módulo resiliente de la subbase	Mr_{SBG} [psi]	15100	
Módulo resiliente de la base	Mr_{BG} [psi]	28000	
Módulo resiliente de la capa asfáltica	$Mr_{concreto\ asf.}$ [psi]	290076	
Coefficiente de drenaje base granular	m_2 [-]	0.80	
Coefficiente de drenaje subbase granular	m_3 [-]	0.80	
CALCULO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES DE CAPA			
Logaritmo de la variable tránsito	Log (W_{18})	5.1761	
SN1 iteración de Log (W18)	SN_1	1.494	5.1761
SN2 iteración de Log (W18)	SN_2	1.914	5.1762
SN3 iteración de Log (W18)	SN_3	2.445	5.1762
	SN req	5.853	
ESPESORES DE CAPA ASUMIDOS			
Espesor de capa asfáltica deseado	h_1 [cm]	10	
Espesor de base granular deseado	h_2 [cm]	15	
PREDIMENSIÓN DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE (Op. 01)			SN Real
Espesor de capa asfáltica	h_1 [cm]	5.0	0.71
Espesor de base granular	h_2 [cm]	10.0	1.12
Espesor de subbase granular	h_3 [cm]	84.2	4.03
			5.86
DISEÑO DEFINITIVO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE (Op. 02)			SN Real
Espesor de capa asfáltica	h_1 [cm]	10.0	1.42
Espesor de base granular	h_2 [cm]	15.0	2.04
Espesor de subbase granular	h_3 [cm]	15	2.56
		SN dis	6.02
ESTADO DISEÑO		OK	

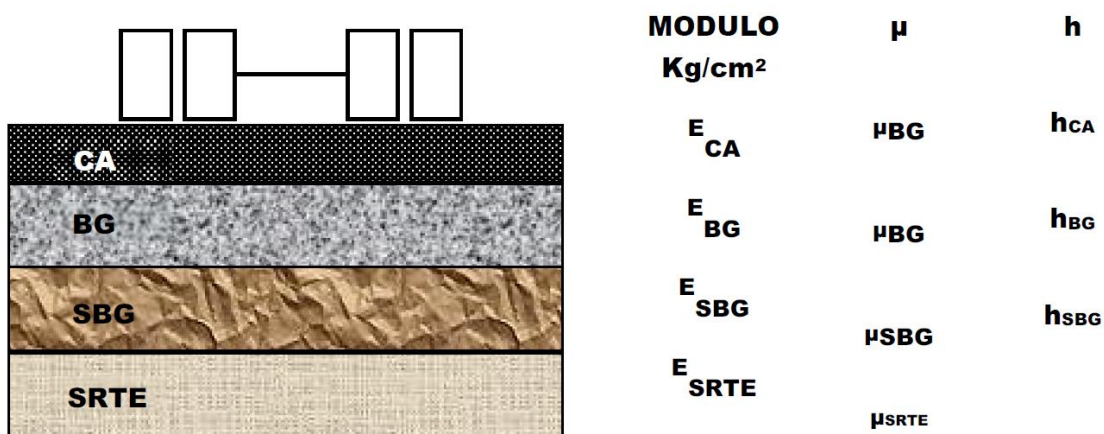


3.5) Chequeo Por tensión y compresion.

Por último, la estructura de pavimento se debe comprobar a través del método racional, con el fin de verificar la fatiga o daño por compresión (ahuellamientos, deformaciones permanentes) y la falla por tensión (piel de cocodrilo entre otras) con el objetivo de asegurar un buen comportamiento funcional durante su periodo de servicio.

Dentro de los criterios de diseño, se considera la deformación radial admisible de tracción en las fibras inferiores de la capa de mezcla asfáltica, la deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante, y la deflexión admisible del modelo de la estructura del pavimento, mediante WinDepav Software desarrollado por el ingeniero Luis Ricardo Vazques el programa fue elaborado por la Universidad del Cauca durante la Investigación Nacional de Pavimentos de Colombia de 1994

Grafica 12. Diagrama Métodos racionales.



Se realiza un primer chequeo a nivel general con el fin de verificar que cumplamos con las deformación y daño por tensión a través de la metodología Asphalt Institute



Grafica 13. Espesor relación con la metodología Ashtoo 93. En método racional por Asphal Institute.

WinDepav 2.6 (con DOSBox 0.74) por Luis Ricardo Vázquez Varela, M.Sc.

Archivo DEPAV Acerca de

Descripción del proyecto (no use comas)
Urbana Purificación.

Archivo: C:\Users\Juancho\Documents\GRUPO EMPRESARIAL DYN\URBANA PURI\RACIONAL URBAMA.pav

Número de capas
2 3 4 5 6

Estructura y criterios de evaluación de comportamiento por fatiga y ahuellamiento

Capa	E (kgf/cm²)	v	h (cm)	Liga	Daño por tensión			Daño por compresión		
					C*k1*(1/E)*k3	k2	N esperado	k4	k5	N esperado
1	20394	0.35	10	☒	1.6739E-06	3.2910	150000			
2	1968	0.4	15	☒						
3	1061	0.4	15	☒						
4	898.82	0.4	30	☒						
5	148	0.45		☒				1.3650E-09	4.4770	150000

Carga en la superficie del pavimento

Seleccionar modelo de carga

Radio del área de contacto (cm) 10.50

Distancia entre ruedas (cm) 31.50

Presión de contacto (kgf/cm²) 5.887

IMPORTANTE: Para el correcto funcionamiento de WinDEPAV es necesario que el sistema operativo reconozca el punto (.) como símbolo decimal y la coma (,) como separador de listas.

Este programa requiere el software DOSBox para funcionar en sistemas operativos de 64 bits.

Escriba al correo electrónico: ingepav@gmail.com, si requiere algún tipo de asistencia en el uso de WinDEPAV.

Luis Ricardo Vázquez Varela, 2018.

Resultados del análisis

Archivo C:\Users\Juancho\Documents\GRUPO EMPRESARIAL DYN\URBANA PURI\RACIONAL URBAMA.pav

Descripción del proyecto Urbana Purificación.

Sistema de carga

Radio de las ruedas (cm) 10.50

Distancia entre los centros de las ruedas (cm) 31.50

Presión de contacto de las ruedas (kg/cm²) 5.887

Posición del valor máximo para una carga

A Bajo una rueda simple

B Bajo una de las ruedas de la carga

C Al centro de la carga

Gráficos de respuesta

Exportar resultados a Excel (csv)

Respuestas estructurales en las interfaces y evaluación del comportamiento por fatiga y ahuellamiento.

Número de capas: 5

No.	E (kgf/cm²)	v	Z (cm)	Sigma		Tracción (fatiga)			Compresión		
				T (kgf/cm²)	Z (kgf/cm²)	Épsilon T (microstrain)	N admisible	Factor de daño	Épsilon Z (microstrain)	N admisible	Factor de daño
1	2.039E+04	0.35	0.00	1.509E+01	5.884E+00	414.0	B		-243.0	C	
	Continua		10.00	-9.371E+00	1.876E+00	-361.0	B	3.5725E+05	384.0	B	
2	1.968E+03	0.40	10.00	1.785E-01	1.876E+00	-361.0	B		850.0	B	
	Continua		25.00	-6.434E-01	7.383E-01	-392.0	C		591.0	C	
3	1.061E+03	0.40	25.00	-1.203E-01	7.383E-01	-392.0	C		741.0	C	
	Continua		40.00	-2.264E-01	3.844E-01	-290.0	C		516.0	C	
4	8.984E+02	0.40	40.00	-1.530E-01	3.844E-01	-290.0	C		547.0	C	
	Continua		70.00	-3.906E-01	1.006E-01	-313.0	C		453.0	C	
5	1.479E+02	0.45	70.00	4.905E-04	1.006E-01	-313.0	C		671.0	C	2.1973E+05 0.683

Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm) 121.60

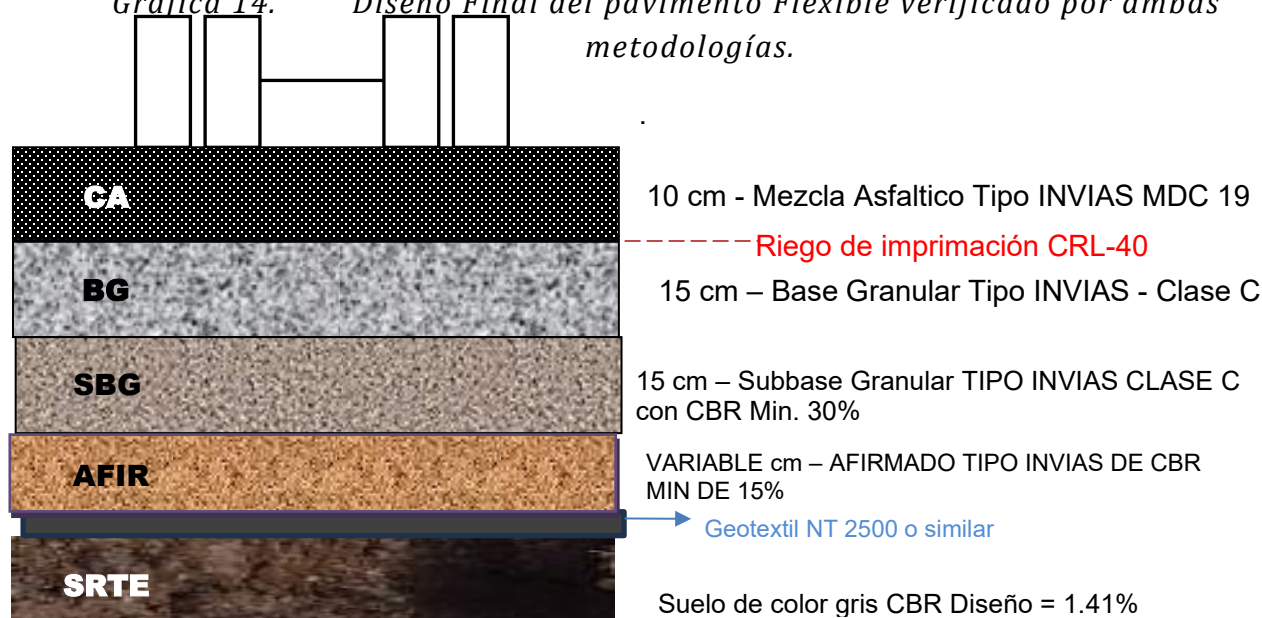
Radio de curvatura (m) 110.01

Radio de curvatura x Deflexión (m x mm/100) 13378.1

Salir y descartar los resultados



Grafica 14. Diseño Final del pavimento Flexible verificado por ambas metodologías.



3.6) ALTERNATIVA DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO

3.6.1) Metodología Invias.

La Asociación Internacional Permanente de Congresos de Rutas -AIPCR- desarrolló en los años 1980 una guía para seleccionar el tipo de pavimento según las condiciones bajo las cuales se desea construir. Esa guía se actualiza permanentemente y en el año 2005 se hizo la última actualización; el primer paso para el dimensionamiento del pavimento rígido es establecer la categoría de la vía.

Tabla 18. Categoría de tránsito para la selección de espesores.

Categoría	Tipo de vía	TPDs	Ejes acumulados de 8.2t
To	(Vt) – (E)	0 a 200	< 1'000.000
T1	(Vs) – (M ó A) – (CC)	201 a 500	1'000.000 a 1'500.000
T2	(Vp) – (A) – (AP–MC–CC)	501 a 1.000	1'500.000 a 5'000.000
T3	(Vp) – (A) – (AP–MC–CC)	1.001 a 2.500	5'000.000 a 9'000.000
T4	(Vp) – (A) – (AP–MC–CC)	2.501 a 5000	9'000.000 a 17'000.000
T5	(Vp) – (A) – (AP–MC–CC)	5.001 a 10.000	17'000.000 a 25'000.000
T6	(Vp) – (A) – (AP–MC–CC)	Más de 10.001	25'000.000 a 100'000.000



Según los ejes acumulados de 8.2 toneladas este vía ubicada en el barrio la Habana, esta vía se categoriza como tipo T0.

Subsante: : Para el diseño del pavimento debemos categoriza la subrasante dependiendo del valor del CBR escogido, en el caso de este tramo fue del 5.77%, corresponde a la clase S3.

Tabla 19. Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia.

Clase o Tipo	CBR (%)	Módulo Resiliente (Kg/cm ²)
S1	<2	<200
S2	2 - 5	200 – 500
S3	5 – 10	500 – 1.000
S4	20 – 10	1.000 – 2.000
S5	>20	>2.000

Material de soporte para el pavimento de concreto: En este caso toda la carrera 5, 4 y las calles del proyecto, el pavimento será apoyado sobre un pase granular es por esto que para la siguiente tabla adoptamos la denominación de BG

Tabla 20. Clasificación de los materiales de soporte para el pavimento de concreto

Denominación	Descripción
SN	Subrasante Natural
BG	Base Granular
BEC	Base Estabilizada con Cemento

Características del concreto para pavimentos. Para esta tabla se escoge la cualidad flexotracción del concreto que se mide a través del ensayo Resistencia a flexión del concreto; se diseñara el concreto con una resistencia a la flexotracción de 42 kg/cm² que corresponde a la descripción MR3

Tabla 21. Valores de resistencias a la flexotracción del concreto (módulo de rotura)

Descripción	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
MR1	38
MR2	40
MR3	42
MR4	45



Transferencia de cargas entre losas y confinamiento lateral: Existen dos factores que influyen en la determinación del espesor de las losas de concreto y son la presencia de pasadores de carga(dovelas) en las juntas transversales y los confinamientos laterales del pavimento, como son las bermas, bordillos y los andenes, para este proyecto el pavimento rígido tendrá las dovelas y el confinamiento lateral.

Tabla 22. Denominación del sistema de transferencia de cargas y confinamiento lateral.

Denominación	Descripción.
D	Dovelas
B	Bermas
No D	No Dovelas
No B	No Bermas

Una vez se tienen todas las variables claras pasamos a escoger la tabla según el tránsito luego, entramos a la tabla con las otras variables las cuales son: el tipo de suelo (S), en este caso el pavimento tiene Dovelas (D) y bermas laterales (B), pasamos a los datos verticales el cual tenemos que el pavimento estará apoyado en una base granular (BG).

Tabla 23. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo a la combinación de variables y T1 como factor principal.

ESPEORES DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES																					
Tránsito T0																					
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1		24	28		23	27	23	27	21	24	21	24	20	24	20	24	20	23	20	23
	MR2		23	27		22	26	22	26	20	24	20	24	20	23	20	23	19	22	19	22
	MR3		23	26		21	25	21	25	20	23	20	23	19	22	19	22	19	22	19	22
	MR4		21	24		20	24	20	24	19	22	19	22	18	21	18	21	18	21	18	21
BG	MR1		23	26		22	26	22	26	21	24	21	24	20	23	20	23	20	23	20	23
	MR2		22	25		21	25	21	25	20	23	20	23	19	22	19	22	19	22	19	22
	MR3		21	24		20	24	20	24	20	22	19	22	19	22	19	22	18	21	18	21
	MR4		20	23		19	23	19	23	20	21	18	21	18	21	18	21	17	20	18	20
BEC	MR1		20	23		19	22	19	22	18	21	18	21	18	20	18	20	17	20	17	20
	MR2		19	22		19	21	19	21	17	20	17	20	17	20	17	20	17	19	17	19
	MR3		18	21		18	21	18	21	17	19	17	19	16	19	17	19	16	19	17	19
	MR4		18	20		17	20	18	20	16	19	17	19	16	18	17	18	15	18	17	18



3.6.2) Metodología AASHTO 93

Es un método mecanicista el cual recopila la experiencia adquirida de los usuarios del método AASHTO – 72, en el cual se tienen nuevas consideraciones, tales como confiabilidad, Módulos de elasticidad de la subrasante y demás capas, el drenaje y efectos ambientales. Este método solo es aplicable para vías con tránsito superior a 0.05×10^6 ejes equivalentes de 8.2 Toneladas.

De forma empírica para el diseño de pavimentos rígidos se propone la siguiente formula:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_r S_0 + 7.35 \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.64 \times 10^{-7}}{(D + 1)^{8.45}}} + (4.22 - 0.32 P_o) \log \left[\frac{[S^c C_d (D^{0.75} - 1.132)]}{215.63 J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}} \right]} \right]$$

Para el adecuado dimensionamiento de la estructura de pavimento es necesario tener en cuenta las variables a analizar:

Comportamiento en el tiempo: Para este punto se tiene en cuenta el periodo de diseño de la estructura, tomándose como el tiempo que dura una estructura inicial de un pavimento antes de que requiera rehabilitación. También se refiere al lapso entre dos rehabilitaciones sucesivas.

Confiabilidad: Es la probabilidad de que una sección de pavimento, diseñada se comporte de forma satisfactoria bajo las condiciones de tránsito y clima previstas durante el periodo de diseño, esto busca incorporar algún grado de certidumbre al proceso de diseño.

Tabla 24. Factor de Confiabilidad Metodología AASHTO 93

CLASIFICACIÓN	FACTOR DE CONFIABILIDAD	
	Urbano	Rural
Autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Otras Carreteras	80 - 99	75 – 95
Colectoras	80 - 95	75 – 95
Locales	50 - 80	50 – 80
Confiabilidad tomada		95

El error en la predicción del comportamiento desarrollado en los tramos de ensayo fue de 0.35 para los pavimentos rígidos.

Los valores de error estándar combinado de la predicción del tránsito y la predicción del comportamiento (Z_R).



Tabla 25. Distribución e confiabilidad vs. Error Estándar

Confiabilidad R (%)	Error Estándar Z_R	Confiabilidad R (%)	Error Estándar Z_R
50	0.000	93	-1.476
60	-0.253	94	-1.555
70	-0.524	95	-1.645
75	-0.674	96	-1.751
80	-0.841	97	-1.881
85	-1.037	98	-2.054
90	-1.282	99	-2.327
91	-1.340	99.9	-3.090
92	-1.405	99.99	-3.750

El tránsito: El método se basa en el número de ejes equivalentes 18 Kips (8.2 Ton) en el carril de diseño.

Efectos Ambiente: El método tiene en cuenta los factores ambientales tales como cambios de temperatura y humedad, resaltando el efecto que estos producirían en la durabilidad y capacidad de resistir las cargas. Además, tiene en cuenta el efecto directo de la expansión de la subrasante.

Criterio de comportamiento: Es la capacidad que tiene una estructura de prestar un buen servicio al tránsito. Este se evalúa a través del índice de servicio presente (PSI), el cual varía de 0 a 5.

$$\Delta PSI = P_0 - P_1 = 4.20 - 2.50 = 1.70$$

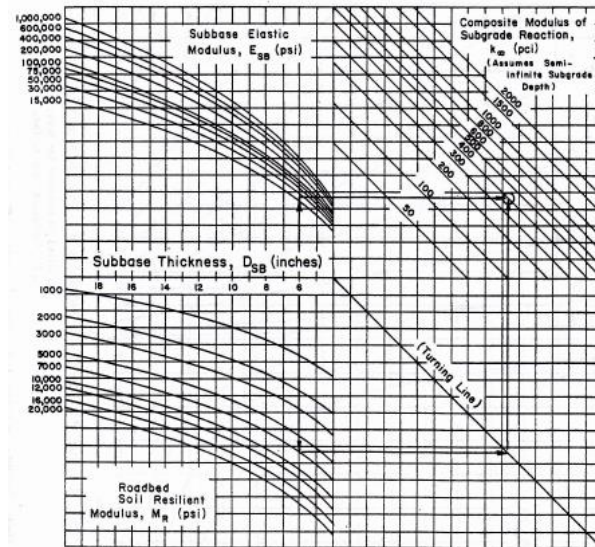
Propiedades de los materiales: En esta metodología se utiliza como parámetro de resistencia el módulo resiliente MR de la subrasante, para efectos prácticos existe una relación entre CBR (Relación de Carga de California) y el MR.

$$MR \text{ (psi)} = 1500 \text{ CBR}$$

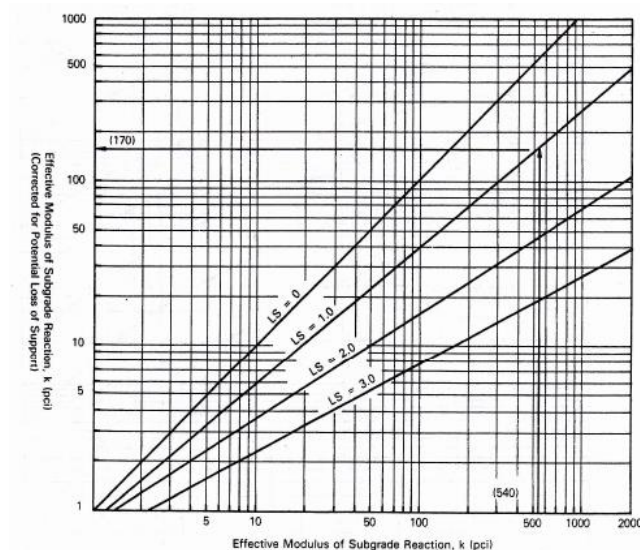
Expresión que se considera razonablemente aproximada para suelos finos con un CBR sumergido no mayor de 10. La caracterización de las diferentes capas de pavimento se efectúa a través de sus módulos de elasticidad. Para los materiales granulares se debe tener un módulo de reacción promedio de soporte considerando el aporte generado por materiales granulares.



Grafica 15. Módulo de reacción de soporte



Grafica 16. Factor de Perdida de Soporte



Es necesario considerar el valor de pérdida de soporte por potencial de erosión que pueden presentar los materiales granulares.

Drenaje: El método no presenta consideraciones especiales para las estructuras de drenaje, pero los efectos los tiene en cuenta en términos de la influencia del agua tanto el material granular y la subrasante (potencial erosivo, pérdida de resistencia).

La calidad del drenaje se mide mediante el tiempo de permanencia del agua en la estructura. Tabla 13.



Tabla 26. Correlación de Drenaje

Tiempo de Evacuación	Calidad del Drenaje
2 Horas	Excelente
1 Día	Bueno
1 Semana	Aceptable
1 Mes	Pobre
No drena	Muy Pobre

Los coeficientes de capa van afectados por los valores m_i , los valores m_i son una relación entre la calidad de drenaje y el tiempo en el año durante el cual se espera que el pavimento este normalmente expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación. Tabla 14.

Tabla 27. Coeficiente de Drenaje

Calidad de Drenaje	% de tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel de humedad próximo a la saturación			
	<1%	1 – 5%	5 – 25%	>25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Aceptable	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy Pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40
Coeficiente de Drenaje (m_i)			0.9	

Igualmente adoptando los criterios presentados en los manuales adoptados para Colombia se tiene en cuenta la precipitación media anual presentada en Gráfica 7. Histograma Precipitación Media Anual para poder estimar en mejor medida el Coeficiente de drenaje:

Tabla 28. Coeficiente de Drenaje INVIAS

Precipitación mm/año	m_i
< 2000	1.00
2000 - 4000	0.90
> 4000	0.80

Módulo de Rotura: Una de las variables fundamentales dentro del diseño de la estructura de pavimento rígido, es la resistencia a la flexo – tracción del concreto variable de entrada que se pueda estimar por medio de los ensayos de resistencia de vigas de concreto normalizadas cargadas en el centro y en dos tercios de la luz. El módulo de rotura adoptado para el proyecto corresponde a una resistencia a la compresión de 4000 PSI considerando las solicitaciones del proyecto $MR = 630\text{PSI} = 42 \text{ Kg/cm}^2$.

El análisis y cálculos de esta metodología estará presente en el ANEXO E



3.6.3) Metodología PCA 84

Esta metodología permite estimar las dimensiones de la estructura de pavimento por medio de dos conceptos fundamentales, las cuales por medio de metodologías racionales se estiman y definen el comportamiento general de la estructura de pavimento en su periodo de diseño frente a las solicitaciones establecidas o estimadas. Los dos conceptos fundamentales a tener en cuenta dentro de esta metodología son:

Fatiga: Evaluación del comportamiento del pavimento rígido frente a la acción de cargas repetitivas, condición que se encuentra influenciada por la resistencia a la flexo tracción del concreto y los sistemas de transferencia de cargas que se presentaran en el proyecto.

Erosión: Evaluación de comportamiento que permite controlar los efectos de la deformación en los bordes de la losa (fallas típicas de bombeo), permite controlar el desnivel de las losas y el deterioro de la berma.

Dentro de las variables de entrada para el diseño de pavimentos rígidos se presentan:

- Período de diseño: 20 años:
- Módulo de reacción de la subrasante. Se tomó en cuenta el CBR de diseño estimando un $M_r=15.4$ PCI con 15.0 cm de material granular seleccionado tipo Base, este valor es adoptado del análisis desarrollado por el método PCA 84.
- La mezcla a utilizar debe garantizar una resistencia a la flexión del concreto de $MR = 4.2$ MPa
- Factor de seguridad de carga, F.S.C = 1.0 – Vías Urbanas en las que se espere un vol. Moderado de tránsito
- Pavimento con bermas de concreto y con pasadores.



Tabla 29. Análisis Método PCA 84

PCAcálculo

DISEÑO PARA PAVIMENTO RÍGIDO METODOLOGÍA PCA-84

Nombre del Proyecto:

Descripción:

Periodo de Diseño: 20 años
 Espesor de Losa: 140.00 mm
 Módulo de rotura (MR): 4.20 Mpa
 Espesor de Subbase: 150.0 mm
 Base tratada con Cemento: No
 CBR de subrasante: si
 Módulo de reacción (K): 51.16 Mpa/m
 Factor de seguridad: 1.00
 Unión con Dovelas: Si
 Pavimento con Bermas: Si

EJES SIMPLES:

Carga por eje KN	Multiplicado por F.S	Expectativa de repeticiones	Análisis de fatiga		Análisis de erosión	
			Repeticiones admisibles	porcentaje de fatiga	Repeticiones admisibles	porcentaje de erosión
80	80	45000	191539	23.49	2095115	2.15
125	125	0	79	0.00	91662	0.00
116	116	0	368	0.00	143989	0.00
107	107	0	1725	0.00	238997	0.00
98	98	0	8139	0.00	428100	0.00
89	89	0	38738	0.00	859478	0.00
80	80	0	191539	0.00	2095115	0.00
71	71	0	2636910	0.00	7798049	0.00
62	62	0	Inf	0.00	278200980	0.00
53	53	0	Inf	0.00	Inf	0.00

EJES TÁNDEM:

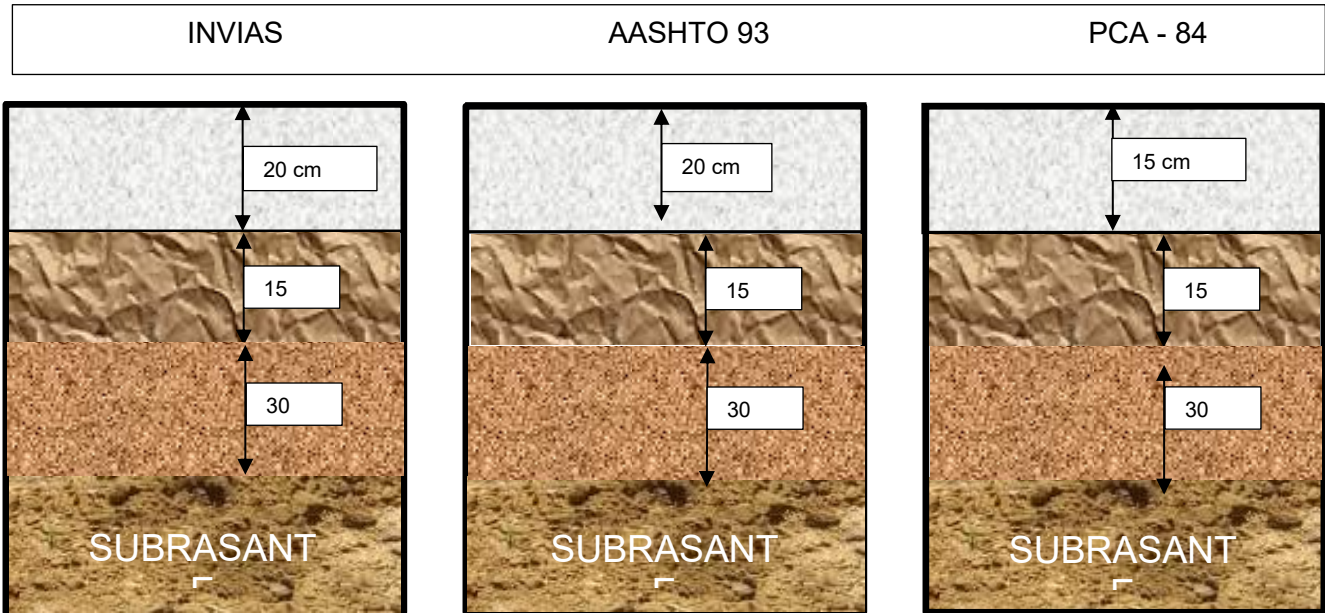
Carga por eje KN	Multiplicado por F.S	Expectativa de repeticiones	Análisis de fatiga		Análisis de erosión	
			Repeticiones admisibles	porcentaje de fatiga	Repeticiones admisibles	porcentaje de erosión
231	231	0	13157	0.00	163313	0.00
214	214	0	44395	0.00	265156	0.00
196	196	0	164011	0.00	478559	0.00
178	178	0	1049054	0.00	973521	0.00
160	160	0	Inf	0.00	2437390	0.00
142	142	0	Inf	0.00	9791875	0.00
125	125	0	Inf	0.00	587000348	0.00
107	107	0	Inf	0.00	Inf	0.00
89	89	0	Inf	0.00	Inf	0.00
71	71	0	Inf	0.00	Inf	0.00

PORCENTAJE TOTAL DE FATIGA: 23.49

PORCENTAJE TOTAL DE EROSIÓN: 2.15

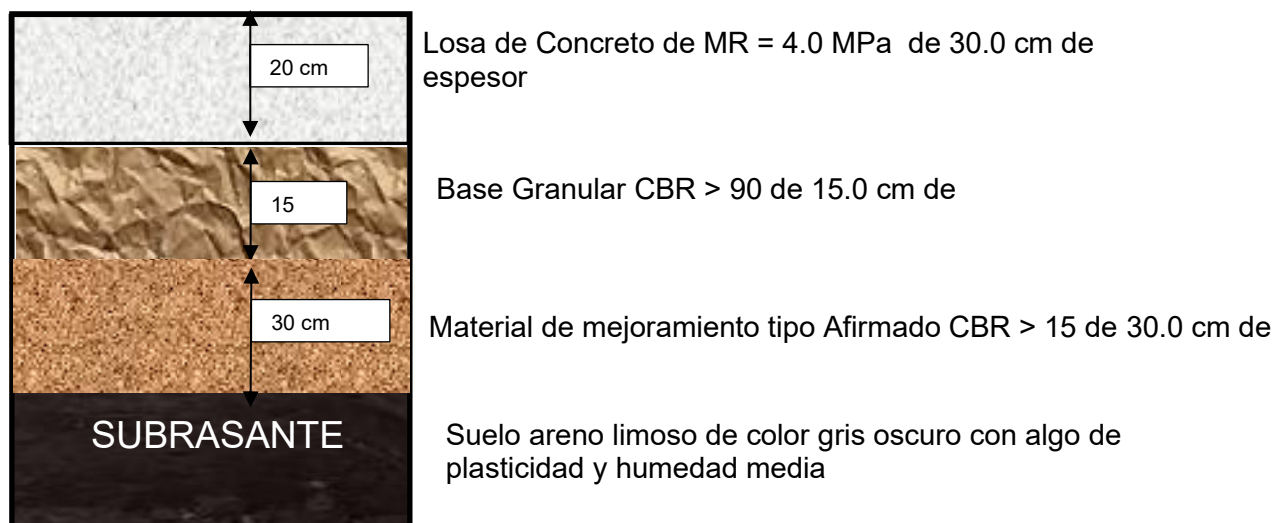


Grafica 17. . Espesor Losa de Concreto de Diseño



De acuerdo a los valores de tolerancia que deben cumplirse según el ARTICULO 500 PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO de las especificaciones del INV Numeral 500.5.2.8 Calidad del producto terminado donde determina que la cota de cualquier punto del pavimento curado no deberá variar en más de cinco milímetros (5 mm) de la proyectada, se considera un espesor final de losa de 15 cm apoyado sobre la subrasante natural.

Grafica 18. Espesor Losa de Concreto de Diseño

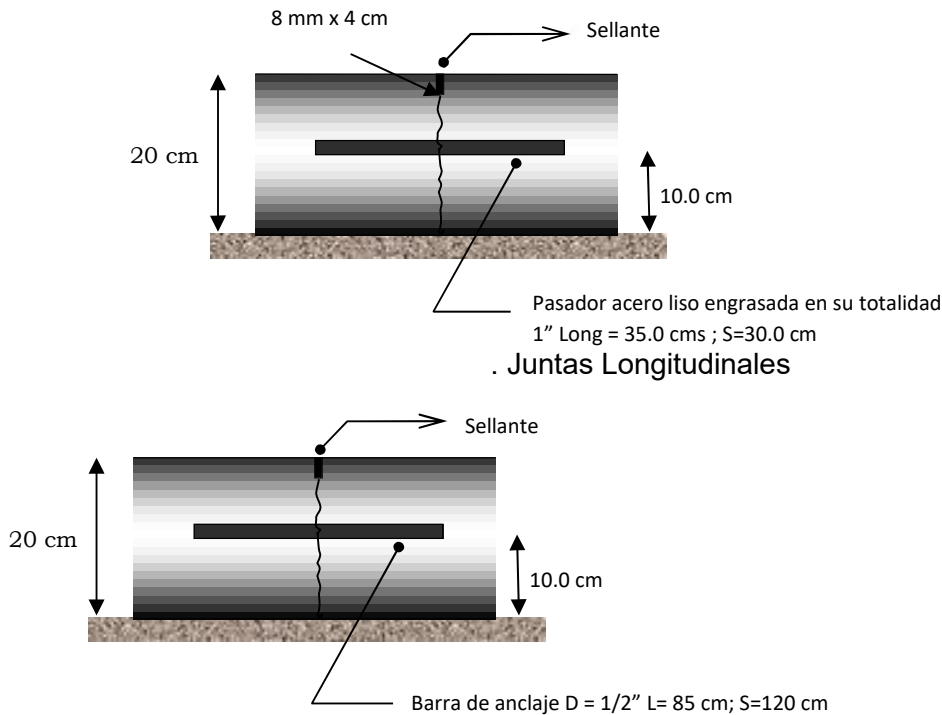




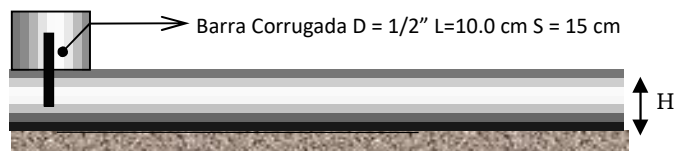
4.2.1 Diseño de juntas

Las juntas en los pavimentos de concreto son necesarias para controlar las grietas longitudinales y transversales, para las condiciones del proyecto se recomiendan desarrollar las juntas con trabazón de agregados:

Grafica 19. Juntas Transversales



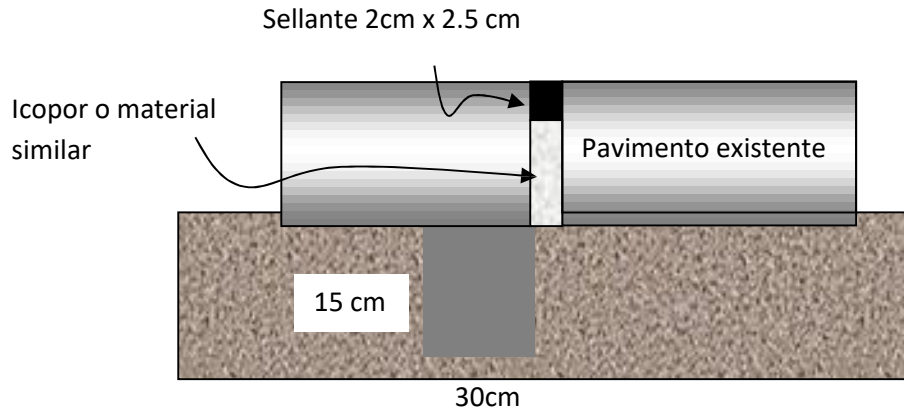
Grafica 20. Detalle de Sardinela y losa de pavimento rígido



Las Juntas Transversales de expansión tienen como función prevenir los esfuerzos a compresión desarrollados por el cambio de temperatura en las losas.

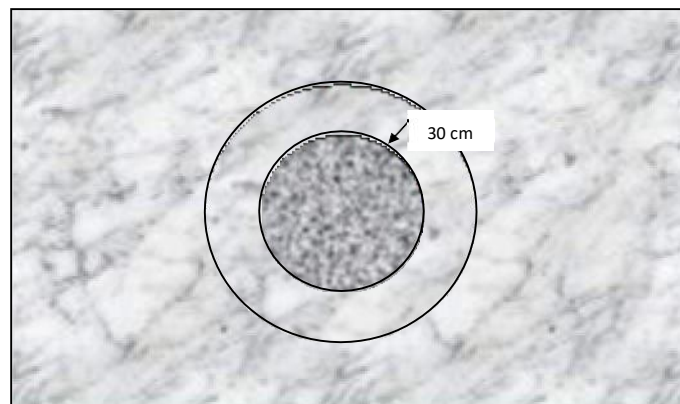
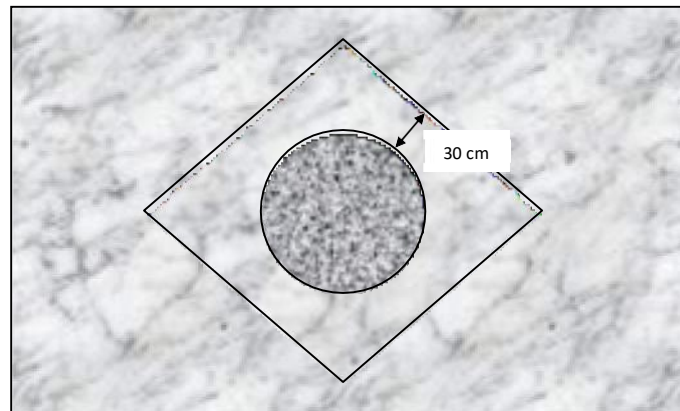


Gráfica 13. Junta de expansión entre el pavimento existente y el pavimento nuevo con Viga inferior



Se recomiendan las siguientes juntas especiales, estas dependen de acuerdo a la disposición previa de las juntas:

Grafica 21. Juntas a Pozos



Espaciamiento

Juntas transversales: Deben estar separadas por una longitud menor igual a 4.5 metros,



preferiblemente 2.5 m, sin embargo por la geometría de los accesos del proyecto se propone Losas de 2.0 m x 2.0 m.

Juntas Longitudinales: se construirá una junta longitudinal en la mitad del ancho de la vía permitiendo disminuir los esfuerzos en la losa.

4.2.2 Selladores de juntas

El propósito de estos es minimizar la infiltración del agua superficial y de materiales incompresibles dentro de las juntas, los selladores también disminuyen el potencial de corrosión de las barras de refuerzo, mediante la reducción de la penetración de la humedad, por lo anterior se deberá realizar el sellado de juntas con uno de los siguientes selladores y de acuerdo a los parámetros que propone la norma INVIAS (INVE 500.2.5):

- **Líquido vertido en caliente:** Se debe asegurar siempre que el material de sello se prepare a las temperaturas recomendadas, pues su control exacto es importante para lograr las propiedades deseadas del sellador
- **Silicona:** Los procedimientos de colocación son similares a los que se usan para los materiales vertidos en caliente, las siliconas requieren un tiempo de curado de unos 30 minutos, antes de la apertura al tráfico para que desarrollen la adherencia suficiente.
- **Tirilla de Respaldo o Cordón:** Preferiblemente se utilizan espumas de polietileno que garanticen su buen funcionamiento dentro de la junta.
- **Sellos preformados:** Para la utilización de cualquier producto de sellado se recomienda ponerse en contacto con el fabricante, para consultar sobre el proceso de colocación y curado.

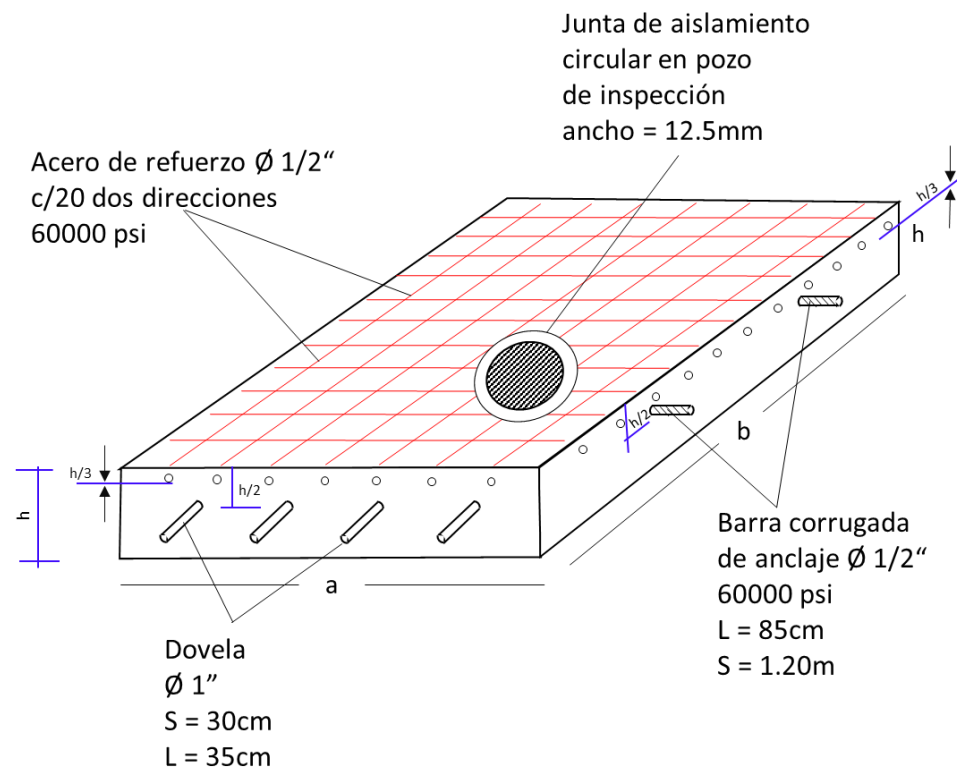
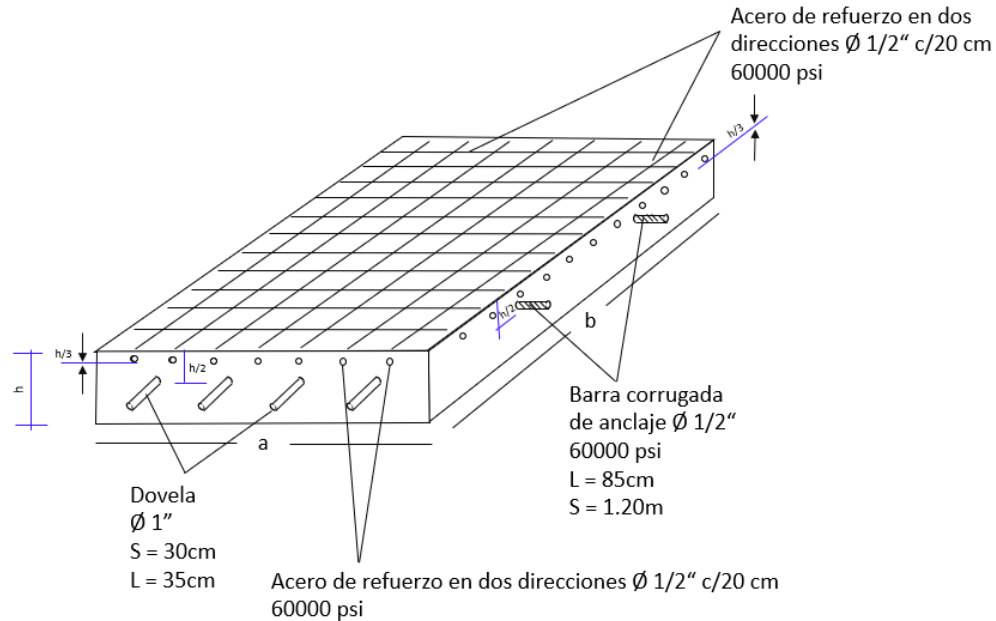
3.6.4) Selladores de juntas.

El propósito de estos es minimizar la infiltración del agua superficial y de materiales incompresibles dentro de las juntas, los selladores también disminuyen el potencial de corrosión de las barras de refuerzo, mediante la reducción de la penetración de la humedad, por lo anterior se deberá realizar el sellado de juntas con uno de los siguientes selladores y de acuerdo a los parámetros que propone la norma INVIAS (INVE 500.2.5):

- **Líquido vertido en caliente:** Se debe asegurar siempre que el material de sello se prepare a las temperaturas recomendadas, pues su control exacto es importante para lograr las propiedades deseadas del sellador
- **Silicona:** Los procedimientos de colocación son similares a los que se usan para los materiales vertidos en caliente, las siliconas requieren un tiempo de curado de unos 30 minutos, antes de la apertura al tráfico para que desarrollen la adherencia suficiente.
- **Tirilla de Respaldo o Cordón:** Preferiblemente se utilizan espumas de polietileno que garanticen su buen funcionamiento dentro de la junta.
- **Sellos preformados:** Para la utilización de cualquier producto de sellado se recomienda ponerse en contacto con el fabricante, para consultar sobre el proceso de colocación y curado.



La modulación de las losas de concreto obedece a los conceptos, criterios y recomendaciones consignadas en el capítulo 5, artículo 500, numerales 500.2.2.3 y 500.4.6.12 de las especificaciones técnicas de construcción de INVIAS-2.022





Espesor de losa (mm)	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 (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)			Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)			Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)		
		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)
Acero de $f_y=187,5$ MPa (40.000 psi)												
150	0,45	0,80	0,75	0,65	0,60	1,20	1,20	1,20	0,70	1,20	1,20	1,20
175		0,70	0,60	0,55		1,20	1,10	1,00		1,20	1,20	1,20
200		0,60	0,55	0,50		1,05	1,00	0,90		1,20	1,20	1,20
225		0,55	0,50	0,45		0,85	0,85	0,80		1,20	1,20	1,20
250		0,45	0,45	0,40		0,85	0,80	0,70		1,20	1,20	1,10
Acero de $f_y=280$ MPa (60.000 psi)												
150	0,65	1,20	1,10	1,00	0,85	1,20	1,20	1,20	1,00	1,20	1,20	1,20
175		1,05	0,95	0,85		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
200		0,90	0,80	0,75		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
225		0,80	0,75	0,65		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
250		0,70	0,65	0,60		1,20	1,15	1,10		1,20	1,20	1,20

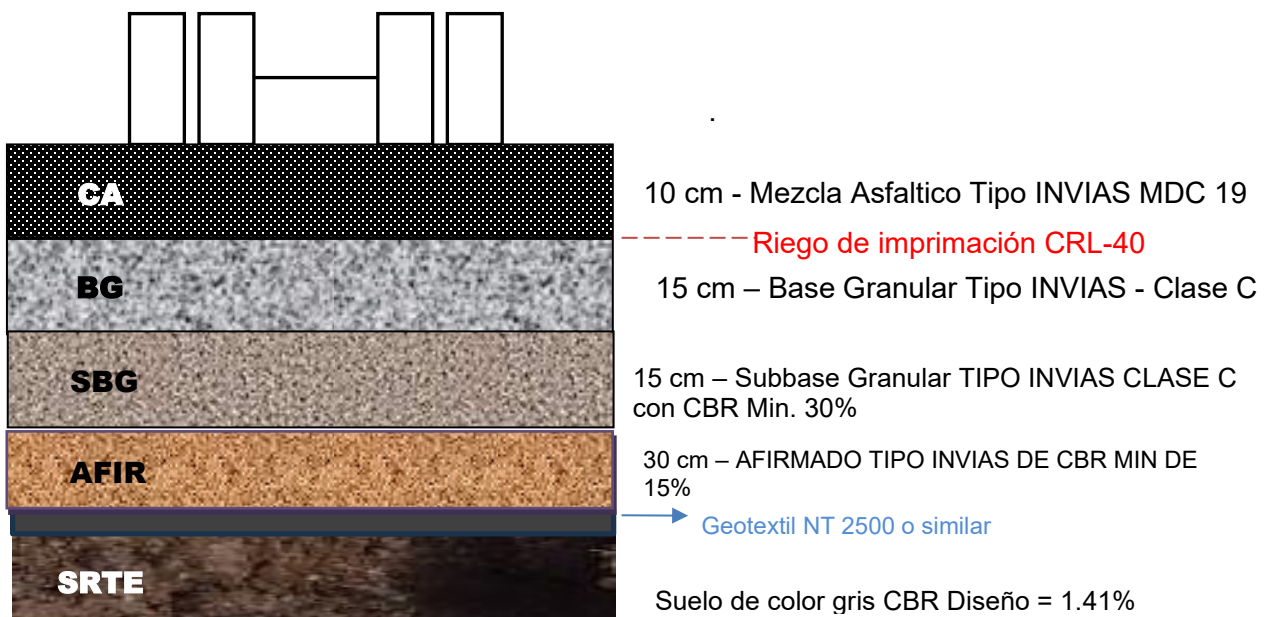
Espesor del pavimento	Diámetro del pasador		Longitud	Separación entre centros
	mm	Pulgada	mm	mm
0 - 100	13	1/2	250	300
110 - 130	16	5/8	300	300
140 - 150	19	3/4	350	300
160 - 180	22	7/8	350	300
190 - 200	25	1	350	300
210 - 230	29	1 1/8	400	300
240 - 250	32	1 1/4	450	300
260 - 280	35	1 3/8	450	300
290 - 300	38	1 1/2	500	300



4 CONCLUSIONES

- De manera general se reporta suelos finos areno limosos con índices de plasticidad medios con una fracción que pasa el tamiz No. 200 del orden de 93,8% para el apique 12 y del 43,4% para el apique 13, esta clasificación en las exploraciones indica una discrepancia del terreno entre ambos puntos.
- 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.
- 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.
- Se recomienda realizar una verificación y mejoramiento en las zonas donde se presenten cambios en la subrasante.
- Si bien se presentan algunas diferencias en el suelo de fundación en las exploraciones geotécnicas desarrolladas, las dimensiones de la estructura de pavimento rígido fueron definidas por diferentes metodologías y buscaron estimar bajo puntos de vista muy conservadores, a continuación, se presenta la estructura final de diseño.
- Teniendo en cuenta las exigencias de la zona se requiere instalar un diseño de pavimentos flexible, por lo que su diseño final estará basado en la siguiente estructura.

Grafica 22. Espesor de Diseño Final





- Debido a la baja resistencia reportada en el suelo de fundación se recomienda el uso de un geotextil de separación posterior al proceso de estabilización con material granular.
- Es importante señalar que el espesor de mejoramiento recomendado es definido debido al importante grado de contaminación que se reportó en las exploraciones geotécnicas.
- Donde exista superficie contaminada (materia orgánica) o se observe irregularidades se recomienda escarificar la rasante existente, retirando el material contaminado y luego se deberá conformar y adecuar con el material de préstamo granular (afirmado) que aportara como relleno, compactándose a la humedad óptima a una densidad mínima del 95% según su proctor modificado. Recomendar aproximaciones de espesores mínimos de intervención seria especular al respecto, se debe esperar a las labores de campo (intervención).
- Se plantean realizar mejoramientos de la sub rasante con 15 cm de recebo, debido a la alta variabilidad de los suelos en el sector, en los casos donde el especialista de pavimentos lo considere.

Alineamiento vertical:

- No deben ser menores del 0.5 %.
- Evitar los cambios de pendiente que provoquen estancamiento de agua.

Sección transversal:

- Es aconsejable tener un bombeo que varía entre 2.0 % y 4%.
- El bombeo debe construirse desde el nivel de la subrasante, de manera que todas las capas tengan un espesor uniforme y se eviten problemas si llueve durante la construcción.
- No se deben dar las pendientes de diseño hasta que no se hayan construido las obras de drenaje.

Sumideros:

- Construcción de Sumideros de acuerdo a estudio hidráulico
- Realizar mantenimiento periódico a los sumideros que se construyan.

Francisco José Restrepo Albarello

Especialista en diseño y construcción de vías y aeropistas



5

ANEXOS



3.7) ANEXO A. REGISTRO FOTOGRÁFICO



ANEXO B. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS



1 ENSAYOS DE LABORATORIO



8 UBICACIÓN PERFORACIONES