

Medellín, 07 de diciembre de 2022

099-REM-99 2022 – VIVA

Señores
SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA FÍSICA
GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA
Medellín, Antioquia

Referencia: CONSULTORÍA PARA LOS DIAGNÓSTICOS ESTUDIOS Y DISEÑOS TÉCNICOS EN FASE III PARA PAVIMENTACIONES Y ATENCIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS EN LOS CORREDORES DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA QUE PERMITAN REALIZAR EL MEJORAMIENTO, AMPLIACIÓN Y RECTIFICACIÓN DE VÍAS EN EL MARCO DEL CONTRATO INTERADMINISTRATIVO DE MANDATO SIN REPRESENTACIÓN N° 4600011262 DE 2020.

Asunto: RESPUESTA A OBSERVACIONES PAVIMENTO LA USA CAICEDO.

En respuesta a lo conversado en reuniones técnicas respecto al diseño del pavimento de La Usa-Caicedo. Nos permitimos reiterar las objeciones realizadas por nosotros con respecto a los postulados propuestos por el consultor del constructor.

1. La condición de diseño establecida es propia de cada diseñador y no es propio condicionar a este a que derive sus diseños a requerimientos establecidos por otro profesional, cuando existen soportes técnicos que permiten soportar las premisas establecidas.
2. Los métodos de diseño son desarrollados a partir de unas hipótesis, el modificar estas, altera las condiciones bajo las cuales fueron concebidos los métodos.
3. Los requisitos de calidad para los agregados que conforman la base granular se especifican en la tabla 330.2 de la especificaciones generales de construcción del INVIAS, en ella se establece que con respecto al parámetro CBR :
 - para una clase C es ≥ 80
 - Para una clase B es ≥ 80
 - Para una clase A es ≥ 95

Como se observa, para todas se establece como requisito de aceptación que este debe ser mayor o igual, lo anterior no se presta a interpretaciones, es claro que una base como mínimo debe tener el valor establecido en la norma, pero esta no limita el valor superior, por lo que no es correcto indicar que solo las bases tipo A son aquellas que presentan un CBR mayor de 100%, lo anterior corresponde a una condición de lectura y no a una condición técnica.

4. Las plantas referenciadas para suministro de materiales pétreos, tienen materiales de buena calidad, no en vano algunas plantas de Medellín deben complementar con materiales de esta zona para cumplir con los requerimientos técnicos ya que sus



explotaciones, están agotadas en cuanto a materiales con algunas características, en especial de dureza., sin embargo su producción deben ser ajustados para que cumplan especificaciones, situación de común y continua ocurrencia en los proyectos viales, como es de su conocimiento la planta que cumplía las especificaciones del INVIAS fue retirada en agosto pasado de la zona, por que ya terminaron la etapa de construcción que era la que demandaba materiales, las que existen dado su mercado no necesariamente se ven obligadas a cumplir una especificaciones (aunque no es claro donde instalan este producto bajo esas características) por lo que la situación existente corresponde más a una negociación no a una condición técnica, ratifica esta observación el que esto debió ser validado por el constructor en la etapa precontractual antes de hacer su oferta económica y no posterior a la firma del contrato, ya que la investigación es responsabilidad del constructor y sus observaciones debieron ser realizadas en el proceso licitatorio.

5. De la revisión de las características de los materiales ofertados es claro que se presenta una situación en el proceso de producción que debe ser atendida y corregida por personal técnico, ya que no es lógico que un material aluvial presente plasticidad, por lo que es claro que esta se le esta adicionado en el proceso de producción.
6. Los volúmenes que demanda el proyecto permiten una producción industrial, controlada, y como se indico anteriormente esto es mas una situación de mercado que técnica.

Ante la solicitud realizada de no cumplimiento de la especificación y que el material disponible presenta características distintas, se presenta una alternativa para un material con un CBr de 80%, haciendo claridad a partir de los ensayos revisados que su valor es muy superior.

A continuación, se presenta la metodología de revisión y los resultados obtenidos.

1.1. PREDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

Para el **PREDISEÑO** de la estructura de pavimento se utilizará el método de la «American Association of State Highway Transportation Officials» (AASHTO) en su versión de 1993, este considera los siguientes parámetros de cálculo:

- El tránsito, especificado como el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño
- El nivel de confianza con que se desea calcular el pavimento
- El error normal combinado
- El nivel de serviciabilidad
- El módulo resiliente de la subrasante
- El número estructural del pavimento
- La calidad del drenaje

1.2. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE TRAMO 1

El método seleccionado permite calcular los espesores que conforman la estructura de pavimento en función del número estructural requerido (SN requerido), la metodología AASHTO 93 calcula



en función del número de ejes equivalentes en el período de diseño, las características de los materiales representadas en sus coeficientes de capa (a_i), la pérdida de serviciabilidad en el tiempo y del módulo de resiliencia del suelo de fundación.

La ecuación básica de diseño de la AASHTO es la siguiente [1]:

$$\text{Log}_{10}(N) = Z_r * (S_0) + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Significado de cada término:

- N = Número de ejes equivalentes de 8.2 ton.
- Z_r = Desviación estándar normal.
- S_0 = Error estándar combinado de la predicción del tránsito y del comportamiento.
- ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad.
- M_R = Módulo de resiliencia de la subrasante (psi).
- SN = Número estructural determinado por $SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$

Significado de cada término de la ecuación del número estructural SN:

- a_i = Coeficiente estructural de la capa i
- D_i = Espesor de la capa i (pulgadas)
- m_i = Coeficiente de drenaje de la capa granular i

Los siguientes son los valores de los parámetros AASHTO tomados para este proyecto según su importancia y según las características de este.

1.2.1. Numero de ejes equivalentes

El método de diseño se basa en el número de ejes equivalentes de 18 kips (8,2 Ton) en el carril de diseño W18, el cual para este tramo de estudio corresponde a **726.518 E.E. de 8.2 Ton** en el carril de diseño, proyectados para 10 años de acuerdo con el informe **01 INF-TEC-TRANS-LA USA CAICEDO-REV04**, tránsito que lo categoriza como un corredor de tipo T2 de acuerdo con las especificaciones generales de construcción del INVIAS.

1.2.2. Resistencia de la subrasante

Para el diseño de un tramo de vía, los métodos de diseño requieren que la subrasante este caracterizada con un valor de módulo resiliente o una ecuación constitutiva, sin embargo, se puede presentar una variabilidad en los resultados de los ensayos dentro de un rango determinado. Dicha variabilidad es un fenómeno natural que depende de varios factores,



incluyendo las características inherentes al suelo del lugar, métodos de muestreo, métodos de ensayo y otros.

El diseño mediante este método está basado en el valor **PROMEDIO** del módulo resiliente. Si bien el criterio de confiabilidad considera la variación de muchos factores, este se implementa a través del ajuste del tránsito. No se debe elegir el valor de MR basado en algún criterio mínimo pues se introducirá un carácter conservador adicional al factor de la confiabilidad en el diseño.

Sin embargo, para calcular el CBR característico (CBR_c), o el Módulo Resiliente Característico (M_{rc}) se utilizó la siguiente expresión [2] (por lo que se introduce un criterio conservador al diseño):

$$CBR_c = CBR_{medio} - s \times k(p), \geq CBR_{mínimo}$$

$$\text{Si } CBR_c < CBR_{mínimo} \rightarrow CBR_c = CBR_{mínimo}$$

Fuente: Manual de diseño de pavimentos Asfálticos en vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito INVIAS

Donde:

- CBR_c: CBR característico
- CBR_{medio}: Media de los valores de CBR encontrados en la unidad homogénea
- CBR_{mínimo}: Menor de los valores de CBR en la unidad homogénea
- S: Desviación estándar de los datos de CBR medidos en la unidad de diseño
- k(p): Valor que depende del nivel de confianza y del número de datos
- P: Probabilidad en %. Para vías de categoría NT2, se recomienda un valor de p del 90%, mientras que para vías de categoría NT3 se recomienda un valor de p del 95 %.

Los valores de k (p), se toman del artículo 107 tabla 107.1 de las especificaciones generales de construcción INVIAS. Tabla que se transcribe a continuación

Tabla 1. Valores de k (p)

Número de resultados, n												
P, %	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
90	0.819	0.686	0.603	0.544	0.500	0.466	0.437	0.414	0.394	0.376	0.361	0.347
95	1.177	0.953	0.823	0.734	0.670	0.620	0.580	0.546	0.518	0.494	0.473	0.455

Fuente: tabla 4.12 – Factor que establece los límites del intervalo de confianza k (Instituto Nacional de Vías, 2013)

La Ecuación [3] presenta la correlación formulada por Heukelom y Klomp entre el módulo resiliente y el valor de CBR. Su uso es apropiado para suelos con un CBR menor o igual que 10 con período de inmersión.

$$M_R(psi) = 1.500 \times CBR \quad [3]$$

El cálculo del Módulo Resiliente o Módulo Equivalente del conjunto (subrasante + mejoramiento),

se hizo a través del Módulo Equivalente de Ivanov, usando la siguiente expresión [4], para los sectores que presenten CBR inferiores a 3%

$$Eq = \frac{Es}{1 - \frac{2}{\pi} \left[\left(1 - \frac{1}{n^{3.5}} \right) * \tan^{-1} \left(n * \frac{Ht}{2a} \right) \right]} \quad [4]$$

$$n = \left(\frac{Et}{Es} \right)^{\frac{1}{2.5}}$$

Donde:

Eq = Módulo equivalente del paquete estructural (kg/cm²)

Es = Módulo Resiliente de la subrasante (kg/cm²)

Et = Módulo del lleno o mejoramiento (kg/cm²)

Ht = Espesor del lleno o mejoramiento (cm)

a = Radio de carga (cm)

Tabla 2- Espesor de remplazo para mejoramiento de subrasante

CBR Subrasante (%)	CBR final Requerido (%)	Módulo Resiliente de la subrasante (kg/cm ²)	Módulo Resiliente del Material de remplazo	n	H (mm)	Módulo Equivalente (psi)	CBR Equivalente (%)
1.00	10.00	105.00	367	1.65	540.	304	3.0
1.40	10.00	148.00	420	1.52	340.	301	3.0
2.00	10.00	211.00	472	1.38	200.	3109	3.1
2.40	10.00	253.00	482	1.29	140.	318	3.2



Tabla 3. Selección del Módulo resiliente para cada uno de los Subtramos del tramo 1

Abscisa	CBR (%)	CBR (%)
KM 00+050	6.0	6.0
KM 00+310	3.4	3.4
KM 00+570	3.9	3.9
KM 00+830	6.3	6.3
KM 01+090	3.2	3.2
KM 01+350	2.8	3.0
KM 01+610	4.3	4.3
KM 01+870	3.3	3.3
KM 02+130	5.1	5.1
KM 02+390	11.0	11.0
KM 02+650	13.8	13.8
KM 02+910	3.2	3.2
KM 03+170	11.6	11.6
KM 03+430	3.4	3.4
KM 03+690	4.7	4.7
KM 03+950	10.9	10.9
KM 04+210	3.3	3.3
KM 04+470	5.0	5.0
KM 04+730	4.6	4.6
KM 04+990	5.5	5.5
KM 05+250	3.5	3.5
KM 05+510	10.6	10.6
KM 05+770	2.0	3.0
KM 06+030	6.1	6.1
KM 06+290	7.1	7.1
KM 06+550	2.1	3.0

Subtramo 1	
CBR medio	4.3
CBR mínimo	2.8
s	1.24
k(p)	0.466
CBR c	3.70
Modulo	5552

Subtramo 2	
CBR medio	8.6
CBR mínimo	3.2
s	4.96
k(p)	0.686
CBR c	5.20
Modulo	7803

Subtramo 3	
CBR medio	5.6
CBR mínimo	2.0
s	2.71
k(p)	0.394
CBR c	4.53
Modulo	6790



Tabla 4. Selección del Módulo resiliente para cada uno de los Subtramos del tramo 2

Abscisa	CBR (%)	CBR (%)
KM 14+250	3.5	3.5
KM 14+520	0.9	3.0
KM 14+790	5.3	5.3
KM 15+060	3.8	3.8
KM 15+330	4.9	4.9
KM 15+600	6.4	6.4
KM 15+870	1.5	3.0
KM 16+140	8.4	8.4
KM 16+410	2.4	3.0
KM 16+680	3.3	3.3
KM 16+950	2.7	2.7
KM 17+220	3.2	3.2
KM 17+490	14.5	14.5
KM 17+760	3.6	3.6
KM 18+030	13.6	13.6
KM 18+300	7.1	7.1
KM 18+570	7.8	7.8
KM 18+840	3.6	3.6
KM 19+110	4.8	4.8
KM 19+380	2.5	3.0
KM 19+650	5.0	5.0
KM 19+920	6.8	6.8
KM 20+190	2.0	3.0
KM 20+460	5.1	5.1
KM 20+730	1.8	3.0
KM 21+000	3.1	3.1
KM 21+270	1.4	3.0
KM 21+540	1.6	3.0
KM 21+810	2.0	3.0
KM 22+000	2.7	3.0

Subtramo 1	
CBR medio	4.2
CBR mínimo	3.0
s	1.74
k(p)	0.394
CBR c	3.5
Modulo	5282

Subtramo 2	
CBR medio	8.4
CBR mínimo	3.6
s	4.75
k(p)	0.394
CBR c	6.5
Modulo	9742

Subtramo 3	
CBR medio	4.3
CBR mínimo	3.0
s	1.38
k(p)	0.394
CBR c	3.8
Modulo	5662

Subtramo 4	
CBR medio	3.0
CBR mínimo	3.0
s	0.04
k(p)	0.394
CBR c	3.0
Modulo	4503

1.2.3. Confiabilidad

Es la probabilidad de que, bajo las condiciones de tránsito y ambientales propias de la vía, el diseño planteado para ésta se comportará de manera adecuada. El nivel de confiabilidad R depende del tipo de vía y se extrae la de siguiente tabla:

Tabla 5. Niveles de confiabilidad recomendados

Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad	
	Urbano	Rural
Autopista y Carreteras Interestatales y otra vías	85.0 - 99.9	80.0 - 99.9
Arterias principales	80.0 - 99.0	75.0 - 95.0
Colectores	80.0 - 95.0	75.0 - 95.1
Locales	50.0 - 80.0	50.0 - 80.0

Fuente: Tabla 2.2, página II-9 de AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993 [1].

La vía por sus características clasifica más como Local (el vehículo de diseño es un C3) y se encuentra en el área rural, sin embargo, por decisión de diseño se adopta la condición de



colectora con una confiabilidad igual al 80% al cual corresponde un valor de -0.842 para la desviación normal estándar (Z_r).

1.2.4. Desviación del error estándar combinado

La metodología AASTHO recomienda un valor de desviación estándar para cada tipo de pavimento según se indica en la Tabla 6, este permite tener en cuenta los errores por tránsito. Este parámetro oscila entre 0,40 y 0,50.

Tabla 6 Desviación estándar total según tipo de pavimento.

Criterio para la selección de la Desviación Estandar Total			
Pavimentos rígidos		Pavimentos flexibles	
Desde	0.30	Desde	0.40
Hasta	0.40	Hasta	0.50
Promedio	0.35	Promedio	0.45

Fuente: Página I-6 de AASTHO Guide for Design of Pavement Structures, 1993 [1].

Para el diseño se trabajará con una desviación estándar de $S_0 = 0,45$

1.2.5. Índice de Serviciabilidad

La metodología AASTHO recomienda un índice de serviciabilidad inicial y final el cual está en función del tipo de pavimento y la importancia de la vía, como se muestra en la tabla 7, Se maneja como serviciabilidad inicial P_0 y serviciabilidad final P_T .

Tabla 7. Determinación del índice de serviciabilidad

Período de serviciabilidad (ΔPSI)	
Índice de Serviciabilidad Inicial (p_i)	
4,2	Pavimentos flexibles
4,5	Pavimentos rígidos
Índice de Serviciabilidad Final (p_t)	
2,8	Carreteras Principales
2	Carreteras con clasificación media
1,5	Carreteras con clasificación menor

Fuente: Numeral 2.2.1, Página II-10 de AASTHO Guide for Design of Pavement Structures, 1993 [1].

Para el presente diseño se toman los siguientes índices de serviciabilidad inicial y final:

- Índice de servicio inicial: 4.2
- Índice de servicio final: 2.0



1.2.6. Coeficiente de drenaje

Los coeficientes de drenaje se determinaron por medio de la metodología original propuesta por AASHTO (1993).

Tabla 8. . VALORES RECOMENDADOS DE m_i PARA MODIFICAR LOS COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA DE MATERIALES GRANULARES NO TRATADOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

CALIDAD DEL DRENAJE		EL AGUA LIBRE SE REMUEVE EN...			
Excelente		2 horas			
Bueno		1 día			
Aceptable		1 semana			
Pobre		1 mes			
Muy pobre		El agua no drenará			

CALIDAD DEL DRENAJE	% DEL TIEMPO EN QUE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTA A HUMEDADES CERCANAS A LA SATURACIÓN			
	Menos del 1%	1 - 5%	5 - 25%	Más del 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

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993.

En atención a las recomendaciones de la metodología, se consideró en virtud que las obras de drenaje y subdrenaje, normalmente son construidas y diseñadas correctamente, se consideró que el tiempo de exposición a una humedad cercana a la saturación para la estructura de pavimento está entre 5.0% y 25.0%, y la calidad del drenaje en operación será una condición buena dado que el tiempo que tarda en que el agua sea evacuada es menos de un día (se ve favorecido por la topografía que presenta el corredor, la condición de filtros que es obligatoria su construcción y la cantidad de obras transversales que se tienen), por lo que el valor es de 1.15, sin embargo se utilizara 1, como valor conservador.

1.2.7. TEMPERATURA DE TRABAJO DEL CA

Aunque los nomogramas propuestos por la metodología AASHTO 93 para el cálculo del coeficiente estructural del concreto asfáltico fueron realizados para el módulo del material a 70 °F (21 °C); dada la importancia que tiene la temperatura de la zona donde va a quedar construido el pavimento, en relación a la significativa influencia que esta tiene sobre las propiedades de las capas asfálticas a causa de la susceptibilidad térmica del asfalto que las constituye; se presenta un procedimiento para estimar una temperatura media anual ponderada del aire (w-MAAT) en la región del proyecto, la cual se define a partir de las temperaturas medias mensuales del aire (MMAT), un factor de ponderación y finalmente el cálculo de la temperatura de la mezcla (Tmez) [2]. A continuación, se presentan los nomogramas que serán empleados para el cálculo del Factor de Ponderación a partir de las temperaturas medias mensuales del aire (MAAT), el cual, también será usado para el cálculo ingresando con el factor de ponderación promedio calculado. Finalmente se presenta el nomograma para el cálculo de la temperatura de la mezcla (Tmez) para la temperatura media anual ponderada del aire (w-MAAT) calculada y un espesor de concreto asfáltico determinado.



1.2.7.1. Tramo 1

Para eso se utiliza la información histórica de Santa fe de Antioquia, que presenta una altura sobre el nivel medio del mar similar a la de la USA, sin embargo, se hace claridad que el proyecto desde el principio inicia a ganar altura, lo que disminuye la temperatura del proyecto, siendo lo anterior un factor favorable al mismo, por considerarse conservador.

Tabla 9. TABLA CLIMÁTICA // DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO SANTA FE DE ANTIOQUIA

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	22.4	22.7	22.5	22.2	22.1	22.7	23	23	22.3	21.4	21.2	21.8
Temperatura min. (°C)	18.7	19	19	19	18.9	19	19	19.1	18.7	18.4	18.4	18.5
Temperatura máx. (°C)	27.1	27.5	27.3	26.8	26.6	27.5	28.1	28.3	27.4	25.9	25.3	26.1
Precipitación (mm)	93	135	273	395	372	182	140	162	246	339	320	170
Humedad(%)	78%	78%	82%	85%	85%	81%	78%	78%	82%	86%	87%	83%
Días lluviosos (días)	11	13	18	19	19	16	14	14	17	20	19	14
Horas de sol (horas)	6.9	7.0	6.7	6.6	6.9	8.3	8.9	8.8	7.7	6.1	5.3	6.0

Data: 1991 - 2021 Temperatura min. (°C), Temperatura máx. (°C), Precipitación (mm), Humedad, Días lluviosos. Data: 1999 - 2019: Horas de sol

Fuente: Clima Santa Fe de Antioquia: Temperatura, Climograma y Tabla climática para Santa Fe de Antioquia - Climate-Data.org

Tabla 10. Cálculo del Factor de ponderación promedio – la Usa – Caicedo tramo 1

Mes	MMAT, °C	Factor de Ponderación
Enero	22.4	1.45
Febrero	22.7	1.50
Marzo	22.5	1.46
Abril	22.1	1.41
Mayo	22.1	1.41
Junio	22.7	1.50
Julio	23.0	1.60
Agosto	23.0	1.60
Septiembre	22.3	1.42
Octubre	21.4	1.33
Noviembre	21.2	1.28
Diciembre	21.8	1.35
Factor de Ponderación Promedio		1.44

Fuente: Elaboración propia a partir de <https://es.climate-data.org>.



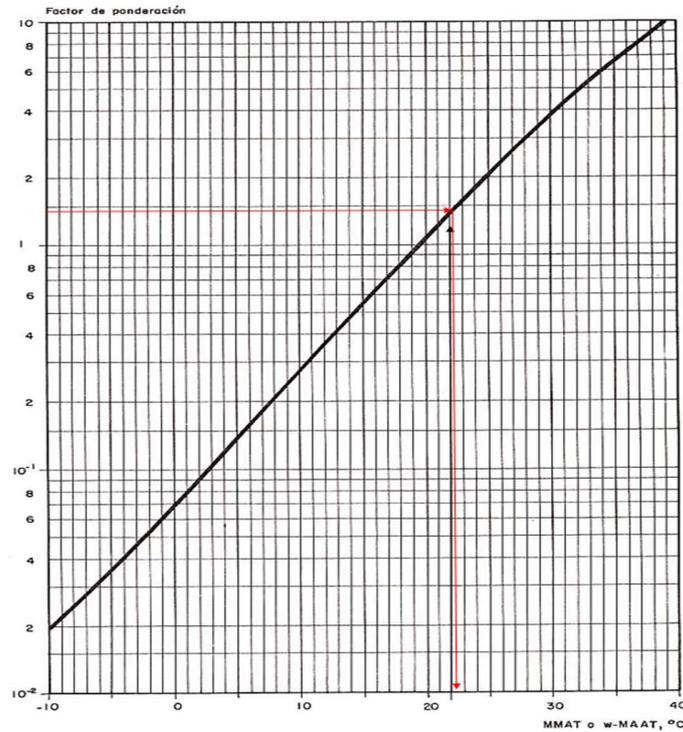


Figura 1. Curva de Ponderación de Temperatura.

Fuente: Elaboración propia a partir de <https://es.climate-data.org>.

A partir del factor de ponderación promedio calculado (1.44) se obtiene una temperatura media anual ponderada del aire (w-MAAT) igual a 22.3 °C. Para el cálculo de la temperatura efectiva de las capas asfálticas fue asignado un espesor de concreto asfáltico igual a 5 centímetros y a partir del monograma presentado a continuación, se obtiene 33.8 °C como temperatura de trabajo de la mezcla



448 2768 - 300 6159285
Dirección: Calle 45G N 77-130
Medellín- Colombia



@deacivil_sas



@deacivilingenieria



www.deacivil.com

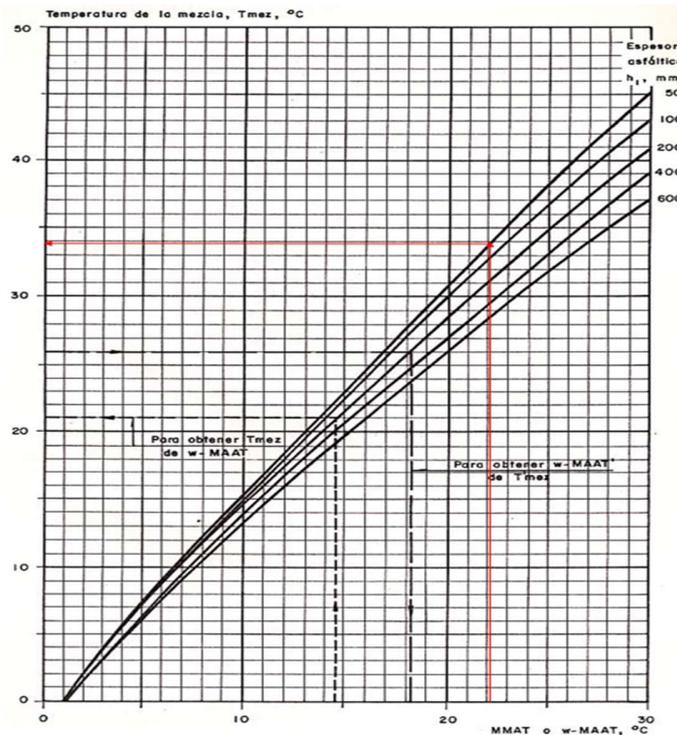


Figura 2. Relación entre la temperatura efectiva del CA y el w-MAAT.
Fuente: Elaboración propia.

1.2.7.2. Tramo 2

Para eso se utiliza la información histórica de Caicedo, a partir del link , [Caicedo, Colombia - Clima y Previsión meteorológica mensual \(weather-atlas.com\)](http://Caicedo, Colombia - Clima y Previsión meteorológica mensual (weather-atlas.com)).

Tabla 11. Cálculo del Factor de ponderación promedio – la Usa – Caicedo tramo 2

Mes	MMAT, °C	Factor de Ponderación
Enero	17.9	0.80
Febrero	18.2	0.82
Marzo	18.2	0.82
Abril	18.1	0.81
Mayo	18.1	0.81
Junio	18.0	0.80
Julio	17.8	0.79
Agosto	18.1	0.81
Septiembre	17.7	0.78
Octubre	17.6	0.74
Noviembre	17.4	0.72
Diciembre	17.8	0.78
Factor de Ponderación Promedio		0.79



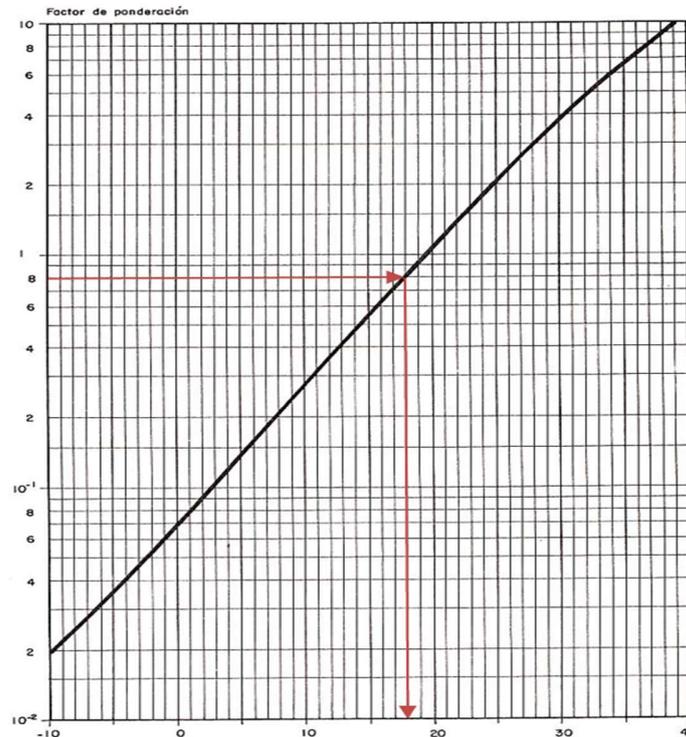


Figura 3. Curva de Ponderación de Temperatura.

Fuente: Elaboración propia a partir de Caicedo, Colombia - Clima y Previsión meteorológica mensual (weather-atlas.com).

A partir del factor de ponderación promedio calculado (0,79) se obtiene una temperatura media anual ponderada del aire (w-MAAT) igual a 18.0 °C. Para el cálculo de la temperatura efectiva de las capas asfálticas fue asignado un espesor de concreto asfáltico igual a 5 centímetros y a partir del monograma presentado a continuación, se obtiene 28.0 °C como temperatura de trabajo de la mezcla



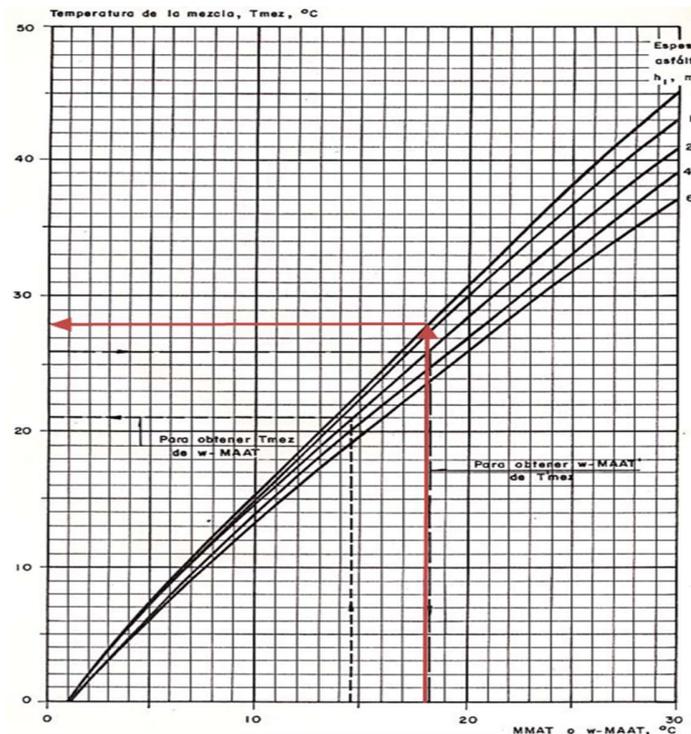


Figura 4. Relación entre la temperatura efectiva del CA y el w-MAAT.

1.2.8. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Para el presente proyecto se utilizará concreto asfáltico convencional, con base (BG) y subbase (SBG) granular, también base tratada con cemento (BTC). cuyas características se relacionan a continuación:

- **Mezcla densa en caliente tipo MDC-19 Tramo 1**, con módulo determinado a partir la caracterización dinámica para este tipo de mezcla fabricadas en la región Fueron determinadas las características de la mezcla a una frecuencia de 10 Hz y 33.8 °C, obteniendo un módulo igual a 2.700 MPa, 391.601 psi valor para el cual corresponde un coeficiente estructural igual a 0.38 determinado a partir de la figura 2.5 del Documento Guide for Design of Pavement Structures-AASHTO 1993 [1], 391.601 en su página II-18. Este tipo de mezcla deberá cumplir los requerimientos de acuerdo al artículo 450-13 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del INVIAS [3]. (se utiliza un coeficiente de capa conservador $a_1 = 0.40$)
- **Mezcla densa en caliente tipo MDC-19 Tramo 2**, con módulo determinado a partir la caracterización dinámica para este tipo de mezcla fabricadas en la región Fueron determinadas las características de la mezcla a una frecuencia de 10 Hz y 33.8 °C, obteniendo un módulo igual a 4.000 MPa, 580.000 psi valor para el cual corresponde un coeficiente estructural igual a 0.42 determinado a partir de la figura 2.5 del Documento Guide for Design of Pavement Structures-AASHTO 1993 [1], 391.601 en su página II-18. Este tipo de mezcla deberá cumplir los requerimientos de acuerdo al artículo 450-13 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del INVIAS [3]. (se utiliza un coeficiente de capa conservador $a_1 = 0.45$)



- **Base granular** de **CBR mínimo** 80%, para Base granular clase B, correspondiente a un nivel de tráfico T2 (número de ejes equivalentes de 80 kN en el carril mayores a 500.000 y menores a 5'000.000). El módulo correspondiente es de 28 ksi y coeficiente de cpa de 0.13, calculado de acuerdo con lo indicado en el método AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993 [1] en la figura 2.6, página II-19.
- **Subbase granular** de **CBR mínimo 30%**, para subbase granular clase B, correspondiente a un nivel de tráfico T2 (número de ejes equivalentes de 80 kN en el carril mayores a 500.000 y menores a 5'000.000). El módulo correspondiente es de 15ksi y coeficiente de capa de 0.11, calculado de acuerdo a lo indicado en el método AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993 [1] en la figura 2.6, página II-19.
- **Material granular tratado con cemento** (MGTC) para el cual deberá ser garantizado un valor de resistencia a la compresión simple luego de siete (7) días igual a 2,5 MPa de conformidad con la Especificación Particular. El módulo correspondiente es de 38.668 kg/cm² (3.792 MPa), calculado de acuerdo a lo indicado en el método AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993 [1] en la figura 2.8, página II-23.
- **Subrasante:** La propiedad que caracteriza los materiales de subrasante en la Guía AASHTO es el módulo resiliente (MR). Este es una medida de las propiedades elásticas del suelo que reconoce ciertas características no lineales. Es evidente que no todas las entidades están en capacidad de desarrollar un programa de muestreo y ensayo para determinar el módulo resiliente, por lo tanto, se han desarrollado correlaciones con los ensayos de CBR y R entre otros. La Ecuación siguiente, presenta la correlación formulada por Heukelom y Klomp entre el módulo resiliente y el valor de CBR.

$$MR \text{ (psi)} = ,1 \ 500 \times CBR$$

Esta ecuación se obtuvo de un rango entre 750 y 3,000 veces el CBR. Su uso es apropiado para suelos con un CBR menor o igual que 10 con período de inmersión.

Tabla 12. Parámetros para metodología AASHTO tramo 1.

TRAMO	1	2	3
Ejes Equivalentes	726,518	726,518	726,518
Confiabilidad	-0.841	-0.841	-0.841
Zr	0.674	0.674	0.674
So	0.45	0.45	0.45
PSI inicial	4.2	4.2	4.2
PSI final	2	2	2
CBR%	3.7	5.2	4.53
MR (PSI)	5552	7803	6790

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 13. Parámetros para metodología AASHTO.

TRAMO	1	2	3	4
Ejes Equivalentes	726,518	726,518	726,518	726,518
Confiabilidad	80	80	80	80
Zr	-0.841	-0.841	-0.841	-0.841
So	0.45	0.45	0.45	0.45
PSI inicial	4.2	4.2	4.2	4.2
PSI final	2	2	2	2
CBR%	3.5	6.5	3.8	30
MR (PSI)	5282	9742	5662	4503

Fuente: Elaboración propia.

1.2.9. Resultados

Los espesores estimados se presentan en los cuadros siguientes para cada uno de los tramos y subtramos en que se divido el proyecto

Tabla 1514. Espesores de diseño para los subtramos del tramo 1.

SUBTRAMO	1 (cm)	2 (cm)	3 (cm)
CA	8	8	8
MTC			
BG	25	25	20
SBG			15
AFDO	30	15	13

Tabla 1615. Espesores de diseño para los subtramos del tramo 2.

SUBTRAMO	1 (cm)	2 (cm)	3 (cm)	4 (cm)
CA	8	7	8	9
MTC				
BG	20	20	25	25
SBG	25	0	0	20
AFDO	0	20	25	0



Las memorias de cálculo se presentan en el anexo 1, las estructuras fueron verificadas por el método racional.

En el anexo 2 se presenta los diseños y caracterización dinámica de la mezcla asfáltica MDC-19, de la planta indicada en los estudios, esta fue actualizada para las condiciones de fabricación de este año.

2. COMENTARIOS FINALES.

Los mejoramientos de suelo deben ser identificados en campo, a partir de ensayos de laboratorio con el fin de delimitar la zona a mejorar, ya que esta no corresponde a todo el tramo.

Cualquier inquietud con respecto a esta información con gusto será resuelta,

Se suscribe cordialmente,



DANIEL EDUARDO ARIAS
Representante legal
DEACIVIL S.A.S

