

**DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE POR MEDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO AASTHO-93, PARA LA AMPLIACIÓN DEL COSTADO OCCIDENTAL DE LA AUTOPISTA NORTE DESDE LA CALLE 245 (EL BUDA) HASTA LA CARO.**



**JAVIER STEVEN SUAREZ LOPEZ**

**COD: 6100279**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA UMNG  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS**

**BOGOTÁ D.C.**

**2017**

**DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE POR MEDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO AASTHO-93, PARA LA AMPLIACIÓN DEL COSTADO OCCIDENTAL DE LA AUTOPISTA NORTE DESDE LA CALLE 245 (EL BUDA) HASTA LA CARO.**

**JAVIER STEVEN SUAREZ LOPEZ**

**COD: 6100279**

**ING. JOSE GONZALO RIOS**

**Coordinador Especialización en Ingeniería de Pavimentos**

**ING. JULIAN HURTADO, MsC**

**Director Investigación**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA UMNG**

**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS**

**BOGOTÁ D.C.**

**2017**

**2**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

PRESIDENTE DE JURADO

---

JURADO

---

JURADO

Bogotá D.C., junio de 2017

## CONTENIDO

1.	TITULO .....	7
2.	ANTECEDENTES Y/O JUSTIFICACIÓN .....	7
3.	OBJETIVOS .....	8
3.1	Objetivo General .....	8
3.2	Objetivos Específicos .....	8
4.	MARCO TEORICO.....	9
4.1	Desarrollo de los Métodos de Diseño de Pavimento .....	9
5.	MARCO SITUACIONAL.....	12
5.1	Localización del Proyecto .....	12
5.2	Información Existente.....	13
5.2.1	Clima .....	13
5.2.2	Temperatura.....	13
5.2.3	Precipitación.....	15
6.	ESTUDIO DE TRANSITO .....	18
6.1.1	Configuración Vehículos para análisis de transito.....	18
6.1.2	Factores de Equivalencia de Carga .....	19
6.1.3	Determinación Transito Promedio Diario .....	20
6.1.4	Determinación del número de ejes equivalentes de 8,2 toneladas en el periodo de diseño.....	21
7.	ESTUDIO GEOTECNICO .....	23
7.1	Campaña Exploratoria.....	23
7.2	Ensayos y Resultados de Laboratorio.....	24
7.3	Caracterización de la Subrasante.....	25
8.	METODOLOGIA .....	<b>iError! Marcador no definido.</b>
8.1	Metodología AASTHO 93-Para el diseño de pavimentos flexibles. ....	26
8.1.1	Variables de diseño.....	28
8.1.2	Criterios de Comportamiento.....	30
8.1.3	Propiedades de los materiales.....	31
8.1.4	Características estructurales del pavimento.....	34
8.1.5	Diseño estructural del Pavimento- Metodología ASSTHO .....	35

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	41
10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFIA.....	42
11. ANEXOS .....	43

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores Medios Mensuales de Temperatura .....	14
Tabla 2. Valores Mensuales de Precipitación .....	16
Tabla 3. Configuración vehicular para análisis de tránsito.....	19
Tabla 4. Valores de los factores de equivalencia según tipo de vehículo. ....	19
Tabla 5. Transito Promedio Diario.....	20
Tabla 6. Factor de distribución por carril.....	21
Tabla 7. Proyección Ejes Equivalentes.....	22
Tabla 8. Apiques Calzada Occidental Autopista Norte.....	24
Tabla 9. Ensayos realizados a muestras recuperadas de los apiques. ....	24
Tabla 10. Valores de CBR Ampliación Autopista Norte Costado Occidental. ....	25
Tabla 11. Confiabilidad de diseño .....	29
Tabla 12. Valores de coeficiente de drenaje para materiales en pavimentos asfálticos ....	34
Tabla 13. Parámetros de Diseño de Pavimentos.....	35

## LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Circuitos Pista AASHO .....	10
Imagen 2. Geometría-Disposición Circuitos Pista AASHO .....	11
Imagen 3. Localización Área de Intervención.....	13
Imagen 4. Análisis CBR.....	26
Imagen 5. Variación del Coeficiente de aporte estructural en material de Subbase Granular (a3) para diferentes parámetros de resistencia.....	32
Imagen 6. Variación del Coeficiente de aporte estructural en material de Base Granular (a2) para diferentes parámetros de resistencia.....	33
Imagen 7. Determinación aporte Carpeta Asfáltica. ....	34
Imagen 8. Análisis Carpeta Asfáltica.....	36
Imagen 9. Análisis Capa de Pavimento .....	37
Imagen 10. Análisis Capa Base Granular.....	39
Imagen 11. Análisis Capa Base Granular.....	40

## **1. TITULO**

Diseño de la estructura de un Pavimento Flexible por medio de la implementación del Método AASTHO-93, para la ampliación del costado occidental de la Autopista Norte desde la calle 245 (El Buda) hasta la Caro.

## **2. ANTECEDENTES Y/O JUSTIFICACIÓN**

Dentro del programa de primera generación de concesiones viales impulsado por el gobierno nacional en el año 1994, mediante el Instituto Nacional de Vías-INVIAS, se estructuró y licitó el proyecto de concesión denominado Desarrollo vial del Norte de Bogotá-Devinorte, en el cual se contempló la intervención de la Autopista Norte de la Ciudad de Bogotá desde la calle 245 (El Buda) hasta la entrada del municipio de Zipaquirá por la Ruta nacional No 6004 y desde la misma calle 245 (El Buda) hasta el inicio de la Concesión Vial Briceño-Tunja-Sogamoso (BTS) Ruta nacional No 45ª04.

En este sentido, y teniendo en cuenta el alcance físico del Contrato de Concesión No 664 de 1994 (Proyecto de Concesión Devinorte) y en base con lo decretado por el Tribunal Administrativo de Cundinamarca, respecto a la consulta realizada por la Firma Devinorte S.A.S, se estableció que la fecha de reversión del Contrato en mención, es del mes de noviembre de 2017, evidenciando la culminación del privado para con las intervenciones a nivel estructural sobre el tramo en estudio, siendo cierto las obligaciones en actividades de mantenimiento rutinario y el cumplimiento de un índice de estado de 4.0 para el total de la concesión.

En la actualidad el crecimiento urbano acelerado de los Municipios localizados en zonas aledañas al norte de la Ciudad de Bogotá durante los últimos años, ha ocasionado que la Autopista Norte presente deficiencias en su funcionalidad, desde la concepción de la insuficiencia de la infraestructura vial existente para garantizar el desplazamiento efectivo de los usuarios hacia sus lugares de destino, generando impactos negativos en la movilidad de tráfico atraído y generado por la ciudad de

Bogotá, traduciendo estos en incrementos en tiempos de desplazamientos y en la reducción de los índices de serviciabilidad de la vía existe.

De acuerdo con lo enunciado anteriormente, mediante este trabajo se realizará el diseño de un pavimento flexible para la ampliación del costado occidental de la Autopista Norte desde la Calle 245 (El Buda) y el sector conocido como la Caro, mediante la implementación del Método AASHTO-93, partiendo de información secundaria existente, como los son estudios de tránsito, información geotecnia y ensayos correspondientes, identificación de secciones transversales propuestas en diseños geométricos, entre otros, proponiendo una estructura de pavimento tipo con las respectivas recomendaciones y conclusiones respecto a los datos arrojados por el método.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

Diseñar la estructura de pavimento flexible mediante la aplicación del Método AASHTO 93 para la ampliación del costado occidental de la Autopista Norte desde la calle 245 (El Buda) hasta la Caro.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Recopilar y analizar información existente necesaria para el desarrollo del diseño.
- Diseñar los espesores de la estructura de pavimento flexible pertinente, de acuerdo con el método propuesto.
- Recomendaciones y conclusiones de los resultados obtenidos.

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1 Desarrollo de los Métodos de Diseño de Pavimento**

Los métodos de diseño pavimento con el pasar de los años se han caracterizado por ser dinámicos con el avance de la ciencia y la tecnología para su implementación, generando avances constantes en el grado de sus conocimientos.

En este sentido y según Gustavo Corredor (2010), el desarrollo de los métodos de diseño de pavimentos se pueden conceptualizar a lo largo del tiempo, partiendo con anterioridad a la ejecución de la Segunda Guerra Mundial, en donde se implementaron métodos fundamentados en la caracterización de los suelos de fundación y la comparación del comportamiento de pavimentos similares que habían tenido buena duración, para construcción de vías, considerando el tráfico como una variable importante en el diseño, cuantificándola mediante conteo de vehículos y su clasificación en cuanto a la intensidad- pesado- medio-ligero, y la carga máxima por eje. Entre los métodos más conocidos se referencian el “Índice de Grupo” y el “CBR”, dentro de los más de 18 métodos empíricos identificados en esta época.

Después de la ejecución de la segunda guerra Mundial hasta el año 1988, según Gustavo Corredor (2010), los métodos desarrollados para el diseño de pavimento se argumentaron desde la concepción de estudios frente al comportamiento de las cargas del tránsito y su influencia del número de repeticiones sobre el pavimento, ajustando variables de diseño mediante factores de corrección en el comportamiento del tráfico. Dichos análisis se desarrollaron mediante la implementación de “Ensayos de Carreteras” a escala real, los cuales sirven de fundamento en los modelos empíricos actuales.

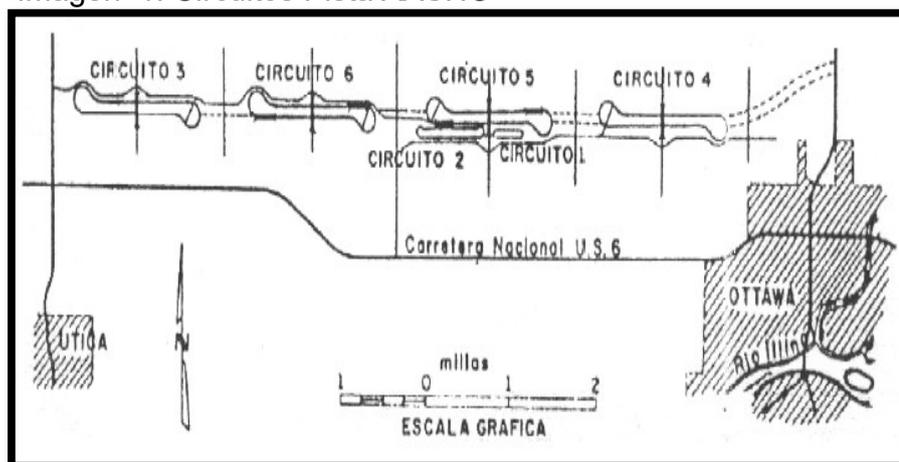
Entre los métodos más conocidos se mencionan:

- Carretera Experimental de Maryland (USA)
- Carretera Experimental de WASHO (USA)
- Carreteras Experimental LARR (ALEMANIA)

- Experimento Vial de la AASHO (USA)

El experimento vial de la AASHO se definió como una de las pruebas a escala real más completas desarrolladas en su momento, la cual dio inicio desde su planeación en el año 1951, seguido de la ejecución de actividades de topografía en hasta el año 1954, al igual que la preparación de especificaciones y planos correspondientes. En 1956, cerca de Ottawa, en el Estado de Illinois, se realizaron las actividades de construcción de las pistas de prueba del proyecto, las cuales contemplaban la ejecución de seis (6) circuitos, identificados del 1 al 6. En el número 1 se destinó a medir el efecto del clima y algunas cargas estáticas. El número 2 se sometió a cargas livianas. El número 3, 4, 5 y 6 se sometieron a diversas cargas pesadas.

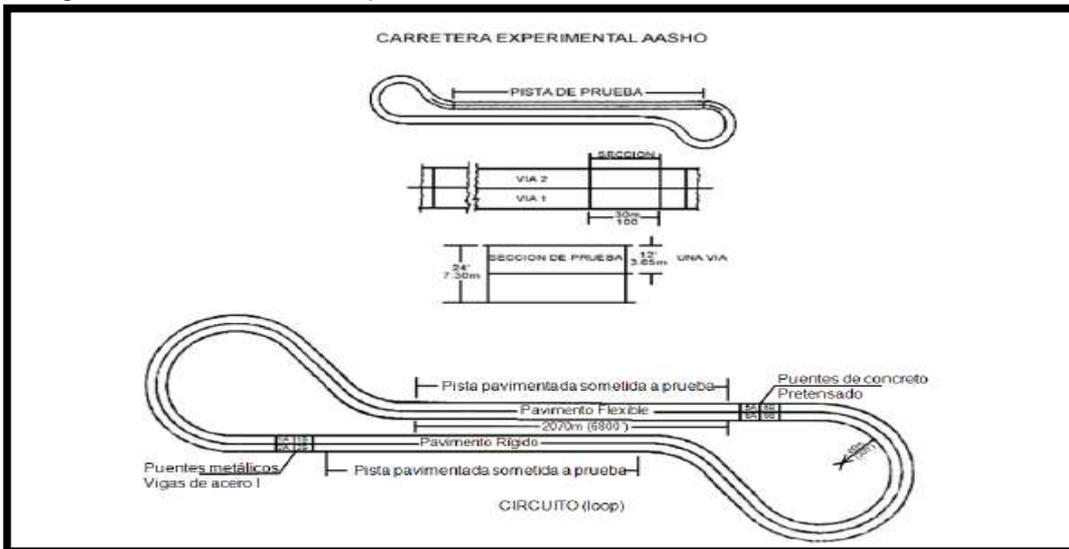
Imagen 1. Circuitos Pista AASHO



Fuente: Experimento vial de la AASHO y las Guías de Diseño de ASSHTO.

Como se evidencia en la imagen 2, la geometría típica de cada uno de estos circuitos estaba conformada por una pista al costado norte construida en pavimento flexible y una pista al costado sur construida en pavimento rígido. Cada una de las tangentes tenían longitudes aproximadas de 2070 ml, las cuales eran subdivididas en 30 ml de largo, en donde cada una de ellas conformaba una sección de prueba, donde se aplicaban diferentes tipos de carga.

Imagen 2. Geometría-Disposición Circuitos Pista AASHO



Fuente: Experimento vial de la AASHO y las Guías de Diseño de ASSHTO

Una vez culminada la etapa de ejecución de este método, y seguida la puesta en marcha de la etapa de análisis de resultados obtenidos, se determinaron diferentes variables que rigen el comportamiento tanto estructural como funcional en el diseño de los pavimentos, mediante la implementación de ecuaciones de diseño que relacionan el efecto sobre el comportamiento del pavimento, las cuales se presentan a continuación:

$$PSI = 5,03 - 1,91 \log (1 + SV) - 1,38 RD^2 - 0,01 (C + P)^{0,5}$$

En donde:

**SV:** Varianza de la pendiente longitudinal, que mide la influencia de las deformaciones longitudinales.

**RD:** Promedio aritmético de las deformaciones transversales (Ahuellamiento transversal).

**C:** Área de Grietas por cada 1000 pie cuadrado de pavimento.

**P:** Área preparada por cada 1000 pie cuadrado de pavimento.

Frente a la ecuación de diseño de pavimentos flexibles obtenida para el cálculo del sistema estructural se presenta la “Ecuación Final de Diseño AASHO”, aplicable a un pavimento a ser diseñado sobre cualquier material de fundación y bajo diversidad de condiciones climáticas:

$$\log W_{18} = 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log[(4,2 - PF) / (4,2 - 1,5)]}{0,40 + [1094 / (SN + 1)^{0,17}]} + \log\left(\frac{1}{R}\right) + 0,372 (SI - S_2)$$

A partir del año 1993, la Asociación de Administradores de Carreteras de los Estados Unidos (AASHO), reviso los documentos correspondientes a los años 1972, 1986 y 1993 la Guía de Diseño AASHO, con el fin de proyectar una versión en donde se incluyeran conceptos mecanicistas a la guía, siendo insuficiente debido al gran contenido de información soportada mediante valores experimentales.

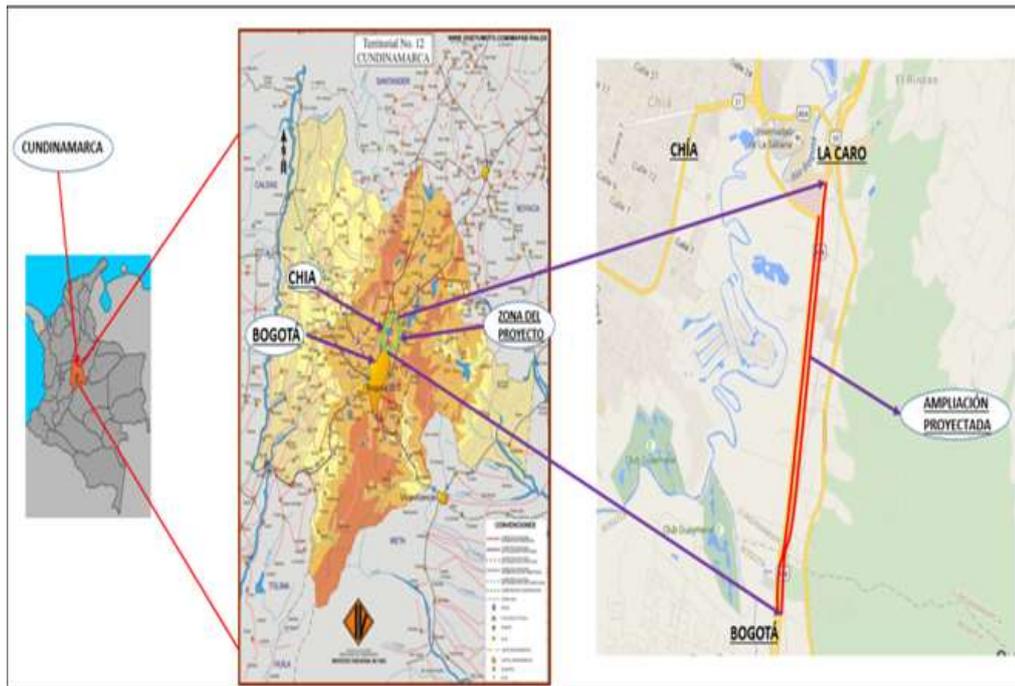
## 5. MARCO SITUACIONAL

En este capítulo se determina la localización pertinente respecto a la intervención del proyecto, mencionando las condiciones existentes del tramo de vía en estudio y la información existente de la zona de influencia del área de intervención del proyecto:

### 5.1 Localización del Proyecto

El tramo vial en estudio se encuentra localizado entre la calle 245 (El Buda) y el sector conocido como La Caro, con una longitud aproximada de 4,18 km, en su calzada occidental

Imagen 3. Localización Área de Intervención



Fuente: ANI-Promesa de Sociedad Futura APP Accesos Norte de Bogotá S.A.S.

## 5.2 Información Existente

### 5.2.1 Clima

Considerando que el comportamiento de una estructura de pavimento se encuentra afectado por las condiciones climáticas de la región en donde se desarrolla el proyecto, mediante esta etapa se efectuarán las precisiones a las que haya lugar, reconociendo la precipitación media de la zona, junto a su temperatura media.

### 5.2.2 Temperatura

Para determinar el valor obtenido de la temperatura media ponderada del aire en la zona de influencia del proyecto se procedió a tomar la información determinada en el informe de la Sociedad Futura Accesos norte S.A.S, de acuerdo con los datos

consignados en la estación meteorológica de APTO GUAYMARAL perteneciente a la CAR CUNDINAMARCA.

Tabla 1. Valores Medios Mensuales de Temperatura

VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TMA P
1968	10,00	11,00	10,70	12,70	12,00	11,60	11,70	11,50	12,10	11,90	11,90	11,10	11,52
1969	11,70	13,00	13,10	14,00	13,40	12,80	12,10	11,90	12,50	12,70	12,60	12,50	12,69
1970	12,20	12,80	12,50	13,40	13,00	12,80	12,00	12,30	11,70	12,70	12,80	12,30	12,54
1971	13,20	12,80	14,00	13,10	14,00	13,00	12,70	12,50	12,40	13,10	12,80	12,20	12,98
1972	13,10	12,90	13,70	13,80	15,00	14,50	14,10	13,50	14,10	13,90	14,30	13,90	13,90
1973	13,90	15,10	15,70	15,40	15,40	14,80	14,60	14,30	14,30	14,30	14,80	14,40	14,75
1974	14,20	15,20	14,90	15,60	14,80	14,80	14,30	14,40	12,90	11,90	13,00	10,90	13,91
1975	11,10	12,20	12,00	12,30	12,10	11,80	11,20	11,40	11,70	11,40	12,10	11,40	11,73
1976	11,20	11,40	12,00	11,90	12,10	11,20	10,70	10,80	11,30	11,90	11,30	11,00	11,40
1977	11,40	11,70	11,80	13,00	12,00	11,80	11,60	11,70	12,00	12,40	12,00	11,60	11,92
1978	10,80	12,00	11,90	12,30	12,00	11,50	11,30	11,80	12,20	12,80	12,10	11,90	11,88
1979	12,00	11,50	13,20	13,50	13,20	15,50	14,70	15,00	14,90	14,70	15,30	14,60	14,01
1980	15,00	14,90	15,20	15,10	14,60	14,30	14,00	13,30	13,70	13,30	12,60	12,90	14,08
1981	12,40	14,20	14,70	14,80	14,90	14,50	13,60	13,70	13,90	14,10	14,30	14,10	14,10
1982	14,20	14,10	14,50	13,80	13,70	13,60	13,20	13,30	13,70	14,40	14,30	14,70	13,96
1983	14,50	14,70	15,10	15,10	14,90	13,90	14,40	14,10	14,10	13,90	14,00	13,50	14,35
1984	13,10	14,80	14,10	14,00	14,10	13,40	13,70	14,00	13,60	14,10	13,70	14,00	13,88
1985	14,10	13,40	14,80	14,80	14,20	13,90	13,30	14,10	14,30	14,60	14,30	14,40	14,18
1986	14,90	14,20	14,50	15,10	14,90	14,10	13,60	13,80	14,10	14,00	14,70	13,50	14,28
1987	11,70	11,50	11,90	11,70	11,20	11,30	11,90	12,90	13,30	14,30	15,00	15,30	12,67
1991	13,60	14,30	14,40	14,10	13,60	13,10	12,20	11,70	12,60	9,70	9,60	12,10	12,58
1992	13,30	13,80	14,50	14,50	14,20	13,40	12,60	13,30	13,30	13,50	13,30	13,30	13,58
1993	13,10	13,40	13,50	13,80	12,40	11,50	11,20	11,10	11,20	11,60	11,50	11,10	12,12
1994	10,90	11,20	11,40	12,00	12,20	11,30	11,10	12,20	12,40	12,50	12,50	12,45	11,85
1995	12,90	13,30	14,00	14,50	13,80	12,70	12,30	12,00	12,50	12,40	13,30	13,30	13,08

1996	13,90	13,30	14,40	14,80	14,60	15,30	14,80	15,00	15,00	15,00	16,00	14,00	14,68
1997	13,30	13,81	12,60	13,00	13,00	12,70	12,20	12,70	12,60	13,30	12,90	13,30	12,95
1998	13,70	15,30	13,80	14,20	13,10	12,20	11,90	11,60	11,60	11,70	11,70	13,51	12,86
1999	9,15	13,18	9,79	9,88	13,54	12,90	11,40	11,80	13,10	13,90	16,50	15,80	12,58
2000	15,20	12,76	18,20	18,40	15,20	11,40	15,40	18,40	18,60	12,61	12,79	12,55	15,13
2001	10,10	10,27	10,81	10,90	12,20	12,00	12,50	11,50	12,70	13,70	14,50	16,20	12,28
2002	16,00	17,50	18,30	14,50	14,00	13,60	13,10	13,00	13,00	13,90	14,30	12,80	14,50
2003	13,10	13,50	14,60	14,80	15,30	9,70	7,20	7,70	7,30	7,40	7,40	7,70	10,48
2004	8,50	9,30	11,30	11,20	10,80	9,00	9,60	10,50	10,50	9,40	8,80	8,30	9,77
2005	8,50	9,30	11,30	11,20	10,80	9,00	7,20	7,30	7,20	7,19	7,29	7,16	8,62
2007	14,80	11,30	13,60	14,50	12,45	11,79	11,47	13,80	13,90	13,90	14,10	14,00	13,30
2008	13,70	13,80	13,90	14,30	14,10	14,40	14,20	14,40	14,30	14,70	14,80	14,20	14,23
2009	14,00	14,10	14,50	14,20	14,20	13,80	14,10	14,50	14,30	14,40	14,70	13,50	14,19
2010	14,50	15,10	15,70	15,10	14,90	14,00	14,60	14,40	14,00	13,90	13,80	13,50	14,46
2011	14,00	13,80	14,00	14,20	14,20	14,20	13,80	13,90	13,70	14,40	14,40	14,30	14,08
2012	14,40	13,60	14,30	14,10	14,10	14,10	7,83	7,97	8,17	8,16	8,27	8,12	11,09
<b>TEMPERATURA MEDIA ANUAL PONDERADA DEL AIRE</b>													<b>13,00</b>

Fuente: [www.car.gov.co](http://www.car.gov.co)

### 5.2.3 Precipitación

Para determinar el valor obtenido de la precipitación en la zona de influencia del proyecto se procedió a tomar la información determinada en el informe de la Sociedad Futura Accesos norte S.A.S, respecto a los datos registrados por la estación meteorológica de la CAR Cundinamarca del Municipio de Zipaquirá, en donde dicha precipitación pluvial es medida en mm, la cual corresponde al espesor de la lámina de agua que se formaría, sobre una superficie plana e impermeable.

Tabla 2. Valores Mensuales de Precipitación

VALORES MENSUALES DE PRECIPITACION														
ANO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVI	DI	VALOR ANUAL TOTAL	OBSERVACIONES
1932	59,8	19,4	40,3	49,6	138,8	34,2								NO HAY SUFICIENTES DATOS
1933	46,5	65,5	67,7	88,4	155,4	163,1	56,7	90,3	58,5	150,1	147,0	66,7	1155,9	
1934	33,2	111,5	94,1	29,6	184,9	75,0	53,0	44,2	44,6	110,1	145,9	22,0	948,1	
1935	24,1	49,3	50,7	90,4	206,2	45,1	76,2	87,0	82,7	89,7	246,2	3,8	1051,4	
1936	1,2	12,6	5,2			15,7	71,0							NO HAY SUFICIENTES DATOS
1937	40,7	50,2	41,6	53,0	92,7	53,4	21,5	45,7	64,8	83,8	9,8	31,9	589,1	
1938	15,8	10,1	120,0	120,7								83,3		NO HAY SUFICIENTES DATOS
1939	21,1	30,4	80,1	64,2	34,6	4,9	34,2	22,6	26,6	161,1	58,1	35,0	572,9	
1940	22,7	26,2	17,8	17,8	73,1	79,0	14,0	48,1	24,6	150,3	117,6	52,9	644,1	
1941	25,4	47,2	39,5	108,2	71,7	25,0	24,7	34,0	65,1	133,3	90,4	20,8	685,3	
1942	28,3	145,6	58,8	156,1	114,4	0,1	0,0	5,4	21,1	148,8	86,1	40,1	804,8	
1943	68,9	24,0	42,8	88,4	67,8	46,9	46,5	78,4	21,6	233,6	41,9	41,4	802,2	
1944	30,9	6,3	24,6	40,5	174,5	93,7	49,8	84,9	82,5	155,7	73,9	18,0	835,3	
1945	26,8	3,9	16,6	229,2	103,8	60,6	31,3	51,4	13,0	116,9	58,6	10,4	722,5	
1946	13,5	4,0	28,9	83,1	61,8	16,8	24,4	19,1	9,5	83,5	20,1	19,1	383,8	
1947	8,6	43,4	5,2	46,2	81,5	72,2	47,4	56,4	84,7	167,6	45,2	35,9	694,3	
1948	9,2	35,2	38,0	51,4	120,6	61,8	34,4	29,0	58,5	85,5	55,0	33,3	611,9	
1949	31,5	40,0	59,5	56,4	8,5	16,4	69,5	52,8	53,1	122,9	78,5	4,8	593,8	
1950	29,9	44,5	65,2	46,0	130,7	78,0	50,9	76,5	47,6	160,3	101,9	46,2	877,6	
1951	28,2	49,0	70,8	116,2	104,3	101,1	70,7	56,7	28,9	37,8	38,1	22,9	724,7	
1960	25,3	9,5	69,8	115,3	67,3	102,7	120,4	109,7	56,9	140,9	35,8	136,8	990,4	
1961	22,4	5,6	101,5	78,1	12,8	147,8	26,2	125,1	115,1	253,2	61,5	9,3	958,6	
1962	69,5	30,5	71,5	107,0	89,5	125,5	69,5	68,0	51,5	95,0	81,0	24,0	882,5	
1963	7,0	93,0	54,1	63,7	149,7	37,5	37,0	22,0	21,1	105,0	110,5	20,0	720,6	
1964	14,0	28,0	2,5	42,5	81,5	107,0	89,0	39,5	23,5	41,0	74,5	41,0	584,0	
1965	38,0	9,0	29,0	219,0	123,2	11,9	23,2	20,5	13,2	95,6	180,5	29,0	792,1	
1966	33,5	12,0	69,0	85,0	75,0	60,0	26,5	54,0	118,7	149,2	173,0	109,0	964,9	
1967	30,0	21,5	63,7	123,5	44,3	102,0	42,3	57,7	56,1	44,3	100,0	49,6	735,0	
1968	8,8	45,3	44,5	97,8	124,6	167,3	28,0	48,5	132,0	79,5	103,0	13,5	892,8	
1969	59,0	57,0	6,5	167,5	51,0	83,5	23,0	35,0	59,0	195,0	113,0	44,0	893,5	
1970	43,0	86,0	25,0	68,0	106,0	56,0	52,0	28,0	80,5	171,0	94,0	20,0	829,5	

197 1	47,0	112,0	100,3	93,9	177, 5	54,8	41,0	135,0	95,0	141,1	100, 0	67,0	1164, 6	
197 2	99,1	39,8	102,9	257, 4	236, 7	146, 0	43,5	27,0	15,5	67,5	126, 5	6,7	1168, 6	
197 3	9,0	8,5	42,5	55,0	99,2	81,0	67,6	66,0	179, 2	119,5	153, 6	121, 0	1002, 1	
197 4	18,0	104,0	85,0	62,3	89,7	52,9	34,5	106,0	126, 3	181,0	187, 0	74,0	1120, 7	
197 5	30,5	89,5	112,0	77,2	97,3	47,0	106, 0	78,0	155, 0	171,0	104, 0	134, 6	1202, 1	
197 6	8,0	60,0	162,0	163, 1	135, 1	81,0	33,0	22,5	3,0	113,0	22,0	36,5	839,2	
197 7	10,5	0,0	107,4	146, 0	53,0	67,0	42,0	38,9	115, 8	97,0	116, 0	53,5	847,1	
197 8	0,0	20,0	95,4	170, 0	114, 0	50,0	14,0	61,0	48,0	30,0	19,0	0,0	621,4	
197 9	0,0	0,0	52,0	169, 5	53,0	105, 5	32,0	65,0	31,0	178,8	152, 8	0,0	839,6	
198 0	0,0	29,0	14,0	8,0	11,0	48,0	1,0	21,0	1,0	0,0	38,0	0,0	171,0	
198 1	0,0	0,0	0,0	114, 0	105, 0	16,0	6,0	45,0	10,0	81,0	112, 0	47,5	536,5	
198 2	30,8	31,3	75,1	211, 9	152, 3	3,8	13,8	10,3	84,8	136,3	80,0	23,0	853,4	
198 3	7,5	38,1	77,0	184, 0	93,5	21,5	38,0	7,0	91,2	23,5	70,5	31,0	682,8	
198 4	29,0	28,0	51,0	75,5	49,0	100, 5	75,5	67,0	97,5	55,5	52,0	25,0	705,5	
198 5	18,0	10,5	18,3	13,2	181, 2	40,0	29,9	7,8	72,9	42,0	21,0	19,8	474,6	
198 6	33,7	10,0	19,0	19,0	137, 5	103, 5	58,5	20,0	117, 4	252,0	118, 5	20,5	909,6	
198 7	7,0							23,1	76,9	193,9	57,1	37,1		NO HAY SUFICIENTE S DATOS
198 8	12,8	50,2	26,5	122, 7	14,4	50,0	74,6	63,4	62,3	110,2	97,1	88,8	773,0	
198 9	1,5	1,3	105,3	34,7	113, 0	22,5	45,8	11,3	57,8	46,9	49,1	14,8	504,0	
199 0	27,2	32,1	0,0	98,0	51,9	26,6	13,7	0,0	20,6	43,6	32,2	13,6	359,5	
199 3											77,5	21,6		NO HAY SUFICIENTE S DATOS
199 4	81,2	70,0	98,9	104, 2	136, 1	32,0	88,7	41,0	11,4	16,9	25,4	6,9	712,7	
199 5	12,0	77,6	76,3	68,8	94,1	39,7	66,3	64,7	73,2	67,1	27,9	87,5	755,2	
199 6	49,3	66,5	118,6	92,1	132, 8	79,9	117, 5	80,1	21,1	171,8	79,0	114, 8	1123, 5	
199 7	113,5	35,3	22,7	70,4	31,3	59,7	35,0	25,7	20,4	34,1	82,2	6,9	537,2	
199 8	19,8	43,8	73,7	187, 9	211, 7	72,5	91,5	42,4	73,3	162,8	95,8	75,7	1150, 9	
199 9	45,4	72,8	79,2	48,8	62,9	64,8	37,2	81,9	139, 1	208,3	109, 7	41,0	991,1	
200 0	62,5	132,9	102,8	77,7	77,8	74,4	111, 1	58,2	106, 4	64,6	80,2	21,2	969,8	
200 1	28,3	18,8	17,4	34,0	48,0	34,0	48,0	48,3	80,6	52,9	45,5	42,9	498,7	
200 2	14,8	34,9	130,6	56,1	169, 5	63,0	45,1	49,4	34,4	148,1	59,1	54,6	859,6	
200 3	29,2	58,1	58,8	161, 4	47,2	44,8	67,6	57,2	46,1	90,0	107, 0	19,0	786,4	
200 4	54,7	19,3	44,8	167, 5	127, 2	46,7	65,5	23,9	128, 4	166,5	175, 0	18,5	1038, 0	
200 5	22,7	102,2	23,2	108, 6	119, 1	64,7	92,8	35,2	81,1	287,0	112, 6	58,5	1107, 7	
200 6	43,3	66,2	135,2	251, 5	227, 2	180, 4	81,8	51,8	16,5	109,1	158, 9	42,1	1364, 0	
200 7	2,1	14,0	70,1	109, 4	49,4	106, 8	22,8	55,7	39,5	252,5	64,0	84,0	870,3	
200 8	29,2	21,0	121,6	55,4	49,9	113, 3	82,8	111,0	68,7	127,0	198, 3	70,5	1048, 7	
200 9	46,8	51,9	55,3	75,3	50,3	44,5	54,8	33,9	34,8	116,2	53,6	4,3	621,7	

2010	6,5	14,0	32,4	175,8	162,6	88,8	180,2	67,3	105,4	103,2	146,2	88,5	1170,9	
2011	23,5	126,6	136,8	272,1	197,4	86,2	51,8	54,9	72,6	179,2	174,4	59,9	1435,4	
2012	69,7	47,6	109,8	192,3	100,3	53,1	110,5	58,7	28,9	176,8	87,9	22,6	1058,2	
2013	33,4	62,9	61,9	95,0	95,6	23,1	23,7	67,4	54,0	84,4	119,0	69,0	789,4	
2014	24,4	56,9	39,3	58,2	73,3	56,1	44,2	6,8	29,7	62,8	46,3	19,6	517,6	
<b>PRECIPITACION MEDIA ANUAL</b>													<b>825,35</b>	
Fuente: ANI-Promesa de Sociedad Futura APP Accesos Norte de Bogotá S.A.S.														

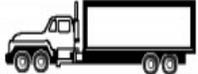
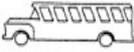
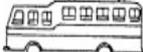
## 6. ESTUDIO DE TRANSITO

Para determinar el estudio de transito se procedió a tomar la información determinada en el informe de la Sociedad Futura Accesos Norte S.A., la cual se argumenta básicamente desde dos puntos de vista, la primera se desarrolla con trabajos de campo adelantados con aforos vehiculares, permitiendo cuantificar el Transito Promedio Diario Anual, considerando las características de circulación vehicular en días comunes de la semana y las actividades comerciales que aumentan el volumen de vehículos pesados sobre el sector de estudio. La segunda parte del estudio se argumentó desde la valoración del tráfico generado, lo cual fue posible mediante análisis de información existente.

### 6.1.1 Configuración Vehículos para análisis de transito

A continuación, se presenta la clasificación de vehículos usada para la cuantificación de parámetros de transito:

Tabla 3. Configuración vehicular para análisis de tránsito.

TIPO DE VEHICULO		ESQUEMA	TIPO DE VEHICULO		ESQUEMA
AUTOS			C3 Y C4	CAMION C3	
				CAMION C4	
				TRACTO-CAMION C2-S1	
BUSES	BUSETA			TRACTO-CAMION C2-S2	
	BUS			TRACTO-CAMION C3-S1	
	BUS METROPOLITANO			C5	TRACTO-CAMION C3-S2
C2-P	CAMION DE DOS EJES PEQUEÑO		> C5		TRACTO-CAMION C3-S3
C2-G	CAMION DE DOS EJES GRANDE				

Fuente: ANI-Sociedad Futura Accesos Norte de Bogotá.

### 6.1.2 Factores de Equivalencia de Carga

Frente a los factores de equivalencia se utilizarán los propuestos en la tabla 4, desarrollados por la Universidad del Cauca y el INVIAS 1996 para las carreteras colombianas.

Tabla 4. Valores de los factores de equivalencia según tipo de vehículo.

FACTORES DE EQUIVALENCIA POR TIPO DE VEHÍCULO			
TIPO DE VEHÍCULO	MOPT – 1996	INVIAS - 2003	INVIAS – 2007
Bus pequeño, B	0,40	0,40	0,40
Bus metropolitano, B	1,00	1,00	1,00
Camión pequeño, C2P	1,14	1,14	1,01
Camión grande, C2G	3,44	2,15	2,72
Camiones, C3 - C4	3,76	3,72	3,72
Camión, C5	4,40	4,21	4,88
Camión, C6	4,72	5,31	5,23

Fuente: ANI-Promesa Futura Accesos Norte a Bogotá S.A.S

### 6.1.3 Determinación Transito Promedio Diario

De acuerdo a lo enunciado anteriormente se presenta la tabla 5, en el cual se evidencia la proyección del tránsito promedio diario anual desde el año base del estudio hasta el año 2027.

Tabla 5. Transito Promedio Diario

ESCENARIO OPTIMISTA SENTIDO CHÍA – BOGOTÁ									
AÑO	Crecimiento Normal	Auto	Bus	C2P	C2G	C3 - C4	C5	C6	TPDA
2015	5,4%	27468	3313	2580	1364	747	367	899	36738
2016	5,4%	29127	3374	2676	1406	786	382	935	38685
2017	5,4%	30886	3434	2771	1447	827	398	971	40735
2018	5,4%	32751	3495	2867	1488	870	415	1008	42894
2019	5,4%	34728	3556	2962	1530	916	432	1044	45168
2020	4,3%	36790	3612	2859	1475	918	412	1013	47079
2021	5,5%	39012	3672	2948	1514	966	429	1047	49589
2022	5,5%	41368	3733	3038	1552	1016	447	1081	52235
2023	5,5%	43866	3793	3127	1591	1069	466	1115	55028
2024	5,5%	46515	3854	3216	1630	1125	486	1149	57975
2025	5,5%	49323	3914	3306	1669	1184	506	1183	61085
2026	5,5%	52302	3974	3395	1707	1246	527	1217	64369
2027	5,5%	55460	4035	3484	1746	1311	549	1251	67836
2028	5,5%	58809	4095	3574	1785	1380	572	1285	71499
2029	5,6%	62360	4155	3663	1823	1452	596	1318	75369
2030	5,6%	66126	4216	3752	1862	1528	621	1352	79457
2031	5,6%	70119	4276	3842	1901	1608	647	1386	83778
2032	5,6%	74353	4336	3931	1939	1692	675	1420	88346
2033	5,6%	78843	4396	4020	1978	1780	703	1454	93174
2034	5,6%	83604	4456	4110	2016	1873	732	1487	98279
2035	5,6%	88653	4516	4199	2055	1971	763	1521	103678

Fuente: ANI-Sociedad Futura Accesos Norte de Bogotá S.A.S

#### 6.1.4 Determinación del número de ejes equivalentes de 8,2 toneladas en el periodo de diseño.

Una vez determinado el tránsito promedio diario de vehículos que transitarán en el carril de diseño y durante el periodo de diseño, se encontrará el valor de número de ejes equivalentes de la cantidad de vehículos comerciales equivalentes de 8.2 toneladas mediante la siguiente expresión:

$$\text{NESE} = \Sigma \text{TPD}_{vpst} \text{ DD} \times \text{DC} \times \text{Fd} \times 365$$

**TPDi** = tránsito promedio diario, vehículos pesados según tipo.

**DD** = distribución direccional del tránsito de vehículos comerciales

**DC** = proporción de vehículos comerciales circulantes en una dirección que utilizan el carril de diseño

**Fd** = Factor Daño

**365** = días del año

El Factor de distribución por carril DC para la calzada occidental es de 0.425. En cuanto a la distribución direccional del tránsito de vehículos comerciales DD, para la misma es de 1.

Tabla 6. Factor de distribución por carril

Número de Carriles	Porcentaje de vehículos pesados en el carril de diseño
2	50
4	45
Más de 6	40

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO, 1993

Definidos los parámetros y con la anterior expresión se procede a calcular el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño y durante el periodo de diseño (n), en la siguiente tabla se presenta la proyección de ejes equivalentes de

8.2 Ton, en un escenario optimista para la calzada occidental correspondiente a la Autopista Norte:

Tabla 7. Proyección Ejes Equivalentes.

ESCENARIO OPTIMISTA CALZADA OCCIDENTAL											
AÑO	AÑO PROYECCIÓN	CRECIMIENTO	Auto	Buses	C2 P	C2 G	C3 - C4	C5	C6	EJES EQUIVALENTES DE 8,2 TON	EJES EQUIVALENTES DE 8,2 TON ACUMULADOS
<b>FACTOR DAÑO</b>			<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1,14</b>	<b>3,44</b>	<b>3,76</b>	<b>4,4</b>	<b>4,72</b>		
2015	0	5,4%	27468	3313	2580	1364	747	367	899	3.042.206	-
2016	1	5,4%	29127	3374	2676	1406	786	382	935	3.150.481	3.150.481
2017	2	5,4%	30886	3434	2771	1447	827	398	971	3.260.359	6.410.840
2018	3	5,4%	32751	3495	2867	1488	870	415	1008	3.371.919	9.782.760
2019	4	5,4%	34728	3556	2962	1530	916	432	1044	3.485.248	13.268.007
2020	5	4,3%	36790	3612	2859	1475	918	412	1013	3.411.386	16.679.394
2021	6	5,5%	39012	3672	2948	1514	966	429	1047	3.521.924	20.201.318
2022	7	5,5%	41368	3733	3038	1552	1016	447	1081	3.634.392	23.835.710
2023	8	5,5%	43866	3793	3127	1591	1069	466	1115	3.748.888	27.584.598
2024	9	5,5%	46515	3854	3216	1630	1125	486	1149	3.865.514	31.450.112
2025	10	5,5%	49323	3914	3306	1669	1184	506	1183	3.984.377	35.434.489
2026	11	5,5%	52302	3974	3395	1707	1246	527	1217	4.105.590	39.540.079

2027	12	5,5%	5546 0	40 35	34 84	17 46	13 11	549	125 1	4.229.2 71	43.769.350
2028	13	5,5%	5880 9	40 95	35 74	17 85	13 80	572	128 5	4.355.5 44	48.124.893
2029	14	5,6%	6236 0	41 55	36 63	18 23	14 52	596	131 8	4.484.5 39	52.609.433
2030	15	5,6%	6612 6	42 16	37 52	18 62	15 28	621	135 2	4.616.3 94	57.225.827
2031	16	5,6%	7011 9	42 76	38 42	19 01	16 08	647	138 6	4.751.2 53	61.977.080
2032	17	5,6%	7435 3	43 36	39 31	19 39	16 92	675	142 0	4.889.2 66	66.866.346
2033	18	5,6%	7884 3	43 96	40 20	19 78	17 80	703	145 4	5.030.5 93	71.896.939
2034	19	5,6%	8360 4	44 56	41 10	20 16	18 73	732	148 7	5.175.3 99	77.072.337
2035	20	5,6%	8865 3	45 16	41 99	20 55	19 71	763	152 1	5.323.8 60	82.396.197

Fuente: ANI-Promesa Futura Accesos Norte de Bogotá S.A.S

## 7. ESTUDIO GEOTÉCNICO

### 7.1 Campaña Exploratoria

Para el desarrollo de la campaña exploratoria se ubicaron los apiques a lo largo de la calzada occidental en promedio cada 250 metros, los cuales permiten conocer las características geotécnicas y la información necesaria para la proyección del diseño del pavimento. A continuación, se presenta los datos obtenidos:

Tabla 8. Apiques Calzada Occidental Autopista Norte

<b>N° APIQUE</b>	<b>ABSCISA</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>
AU-18	K3+750	1.5
AU-20	K3+250	1.5
AU-22	K2+750	1.5
AU-24	K2+250	1.5
AU-26	K1+750	1.5
AU-28	K1+250	1.5
AU-30	K0+750	1.5
AU-32	K0+250	1.5

Fuente: ANI-Sociedad Futura Accesos Norte a Bogotá S.A.S

## 7.2 Ensayos y Resultados de Laboratorio

De acuerdo con los perfiles arrojados por cada apique, se solicitó al laboratorio por parte de la Sociedad Futura Accesos Norte a Bogotá S.A.S, una serie de ensayos de cada muestra recuperada. A continuación, se relacionan los ensayos ejecutados:

Tabla 9. Ensayos realizados a muestras recuperadas de los apiques.

<b>Ensayos</b>
Obtención de la humedad natural
Granulometría por tamizado
Peso Unitario
Límites de consistencia
CBR Inalterado en condiciones de humedad natural
CBR inalterado sumergido

Fuente: ANI-Sociedad Futura Accesos Norte de Bogotá S.A.S.

Con la realización de los ensayos mencionados anteriormente se obtuvieron las características geotécnicas (propiedades físicas y mecánicas de los materiales encontrados), de cada capa que se encontró en la exploración de campo por medio de los apiques. En el anexo 1 se relacionan los resultados de dichos ensayos.

### 7.3 Caracterización de la Subrasante.

De acuerdo con los ensayos de laboratorio contratados por la Sociedad Futura Accesos Norte de Bogotá S.A.S, se presenta los valores de la capacidad portante de la subrasante, donde se apoyará la ampliación de la calzada occidental de la Autopista, se presentan los datos obtenidos respecto a CBR, así:

Tabla 10. Valores de CBR Ampliación Autopista Norte Costado Occidental.

<b>VALORES DE CBR</b>	
ABSCISA	CBR
K0+250	3,9%
K0+750	1,6%
K1+250	2,7%
K1+750	2,1%
K2+250	1,9%
K2+750	1,2%
K3+250	3,0%

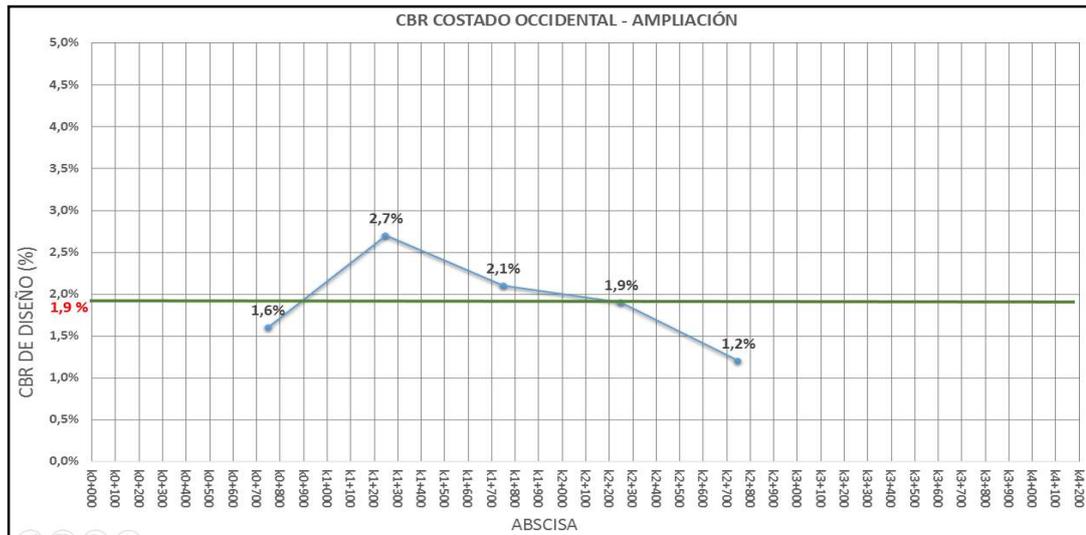
Fuente: ANI-Sociedad Futura Accesos Norte de Bogotá S.A.S.

De acuerdo a la tabla 10 se evidencian valores atípicos de CBR a los presentados a lo largo del área de estudio, los cuales corresponden a los valores CBR de 3.9% y 3.0%, debido a que salen de la tendencia general a la información consultada.

En este sentido, en la imagen 4 se presenta la exclusión de los valores atípicos en el comportamiento de los valores de CBR del tramo de estudio, los cuales se analizan desde la obtención del promedio aritmético de los datos, arrojando un valor de 1.9% de CBR, y mediante la aplicación del método propuesto por el instituto de

asfalto, con la aplicación del percentil 87.5 de acuerdo con la categoría del tránsito el cual arroja un valor de 1.46%. Se toma el valor inferior con el fin de manejar el escenario crítico.

Imagen 4. Análisis CBR



Fuente: ANI-Sociedad Futura Accesos Norte de Bogotá S.A.S.

Una vez analizado los resultados obtenidos, se evidencia que las características de baja plasticidad y baja capacidad portante (CBR=1.46%) de la Subrasante podrían presentar falencias en la operación de la estructura de pavimento, por lo cual se recomienda realizar un mejoramiento con rajón de espesor 60cm, material que presenta un CBR de 12%, con la implementación del módulo combinado, obteniendo un valor del módulo resiliente de la subrasante de **600kg/cm<sup>2</sup>**.

## 8. METODOLOGÍA

### 8.1 Metodología AASTHO 93-Para el diseño de pavimentos flexibles.

El método AASHTO para diseño de pavimentos flexibles surge a partir de los resultados del AASHTO ROAD TEST, la cual consistió en la construcción de 6 circuitos de pruebas en la ciudad de Ottawa, estado de Illinois (USA). Estos circuitos instrumentados, permitieron estudiar el comportamiento de las estructuras de

pavimento (de espesores y materiales conocidos) bajo la acción de cargas móviles de magnitudes y frecuencias establecidas, y bajo el efecto del medio ambiente. El tráfico controlado de la prueba se aplicó entre octubre de 1958 y noviembre de 1960.

El objetivo principal de las pruebas consistía en determinar relaciones significativas entre el comportamiento de varias secciones de pavimento y las cargas aplicadas sobre ellas, o bien para determinar las relaciones significativas entre un número de repeticiones de ejes con cargas, de diferente magnitud y disposición, y el comportamiento de diferentes espesores de pavimentos, conformados con bases y sub-bases, colocados en suelos de características conocidas.

El método AASHTO-1993 para el diseño de pavimentos flexibles, básicamente se desarrolla en la consecución un “numero estructural (SN)”, para la estructura del pavimento, el cual determina la resistencia estructural de un pavimento requerido para una combinación de variables a considerar, como son, Modulo resiliente del suelo ( $M_r$ ), transito total ( $W_{18}$ ), índice de serviciabilidad y condiciones ambientales del sector. Para determinar el número estructural, el método se apoya en la siguiente ecuación:

$$\log W_{18} = Z_r * S_0 + 9.36 \log (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \left( \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \left( \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}} \right)} + 2.32 \log M_r - 8.07$$

Donde:

**$W_{18}$ :** Numero de aplicaciones de ejes equivalentes de 18 Kip (80 KN), hasta el tiempo en el cual se alcanza  $ISP=pt$ .

**SN:** número estructural

**$\Delta PSI$ :** Diferencia entre los de servicio inicial y final.

**$M_r$ :** Modulo Resiliente de la Subrasante

**So:** Desviación Estándar total de la distribución normal de los errores asociados con las predicciones de tránsito y de comportamiento del pavimento. (0.44-0.49).

**ZR:** Parámetro estadístico asociado con distribuciones normales de datos, que consideran que el índice de serviciabilidad del pavimento, sea superior a  $p_t$  durante el periodo de diseño.

Una vez se determina el SN, se procede a determinar el SN por componentes, el cual nos permitirá calcular los espesores correspondientes de cada una de las carpetas asfálticas y el valor de SN general, para verificar el cumplimiento del diseño, respecto a las variables planteadas.

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3.$$

### **8.1.1 Variables de diseño**

#### **8.1.1.1 *Periodo de diseño***

Esta variable repercute directamente sobre la determinación de un periodo de análisis que impactará y limitará el diseño del pavimento. Determina el tiempo que puede durar una estructura de pavimento antes de requerir rehabilitación o reparación estructural de algún tipo.

El periodo de diseño se determina en la primera definición para el diseño de pavimentos, de este periodo dependerá la cuantificación del tránsito acumulado durante el tiempo de vida útil, solicitación de carga que signará el dimensionamiento de la estructura.

De acuerdo al tipo de pavimento y su utilización, el periodo de diseño para la alternativa en pavimento flexible es de 10 años según la recomendación hecha por el Instituto de Vías – INVIAS en su Manual de diseño de pavimentos asfálticos con medios y altos volúmenes de tránsito. Se estableció el año 2017 como años base de operación del proyecto.

### 8.1.1.2 Evaluación del tráfico actual ( $N_{ESEi}$ )

De acuerdo a los presentado en el anexo 1, se encontró una solicitud de carga de 6.410.840 de ejes equivalentes de 8.2 Ton. para el año base de operación del proyecto.

### 8.1.1.3 Proyección del tráfico ( $N_{ESE10}$ )

Para un periodo de diseño de 10 años, comprendido entre el año 2017 y el año 2027, se encontró una solicitud de carga de 43.769.350 cuantificada en ejes equivalentes de 8.2 Ton.

### 8.1.1.4 Nivel de confiabilidad ( $R$ )

La confiabilidad hace referencia a la probabilidad de que la estructura de pavimento se comporte satisfactoriamente bajo las condiciones de transito durante el periodo de diseño, en otras palabras, es una relación diseño-comportamiento.

Tabla 11 Confiabilidad de diseño

CATEGORÍA DEL PROYECTO	CONFIABILIDAD ESTADÍSTICA (%)	Zr
Media	90%	-1,282
Alta	90%	-1,282
Muy Alta	95%	-1,645

Fuente: AASHTO, 1993

Se establece una confiabilidad del 95% para el desarrollo del presente proyecto, lo cual relaciona un coeficiente de confiabilidad ( $Z_r$ ) de -1.645, según lo estipulado por el Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito.

- *Desviación estándar ( $S_o$ )*

Este valor representa la desviación estándar conjunta, e incluye la desviación estándar de la ley de predicción del tránsito en el período de diseño con la desviación estándar de la ley de predicción del comportamiento del pavimento, es decir, el número de ejes que puede soportar un pavimento hasta que su índice de serviciabilidad descienda por debajo de un determinado Pt (Índice de Serviciabilidad Final).

Según lo estipula el AASTHO 93, los valores recomendados para el diseño de pavimentos flexibles varían entre 0.45 y 0.49. Para el diseño de pavimentos flexibles nuevos, la guía recomienda una desviación estándar de **0.49**.

- *Efectos ambientales*

Los factores ambientales pueden afectar el comportamiento de la estructura de pavimento en diferentes formas. Los cambios de temperatura y humedad afectan la resistencia, durabilidad y la capacidad de carga del pavimento y de la subrasante; por otra parte, el envejecimiento, sequedad y el deterioro de los materiales debido a la intemperie son considerados en la Guía AASHTO 93 en función de su influencia inherente en los modelos de predicción y comportamiento adoptados.

### **8.1.2 Criterios de Comportamiento**

- *Serviciabilidad ( $\Delta P$ )*

La serviciabilidad se define como la capacidad que tiene la estructura de pavimento para soportar las sollicitaciones de carga de diseño, proveyendo al usuario un nivel de manejo confortable y seguro en un determinado momento. La medida principal de la serviciabilidad es el Índice de Serviciabilidad Presente (Po), que varía entre 0 (pavimentos en muy mal estado) y 5 (pavimentos en perfecto estado). La filosofía básica de diseño de la guía AASHTO es el concepto de Serviciabilidad – Comportamiento, que provee los mecanismos para diseñar un pavimento para un volumen total de tráfico específico y un mínimo nivel de serviciabilidad deseado al final del periodo de diseño. La selección del menor Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) permisible o Índice de Serviciabilidad Final (Pt) estará basado en el

menor valor permitido antes que una rehabilitación, recarpeteo o reconstrucción sea necesaria. La serviciabilidad está definida como:

$$\Delta P = P_o - P_f$$

Para el presente diseño se establece un índice de serviciabilidad inicial de 4.2 y final de 2.5. Por tanto:

$$\Delta P = P_o - P_f = 4.2 - 2.5 = 1.7$$

### 8.1.3 Propiedades de los materiales

- *Módulo resiliente efectivo de la subrasante (Mr)*

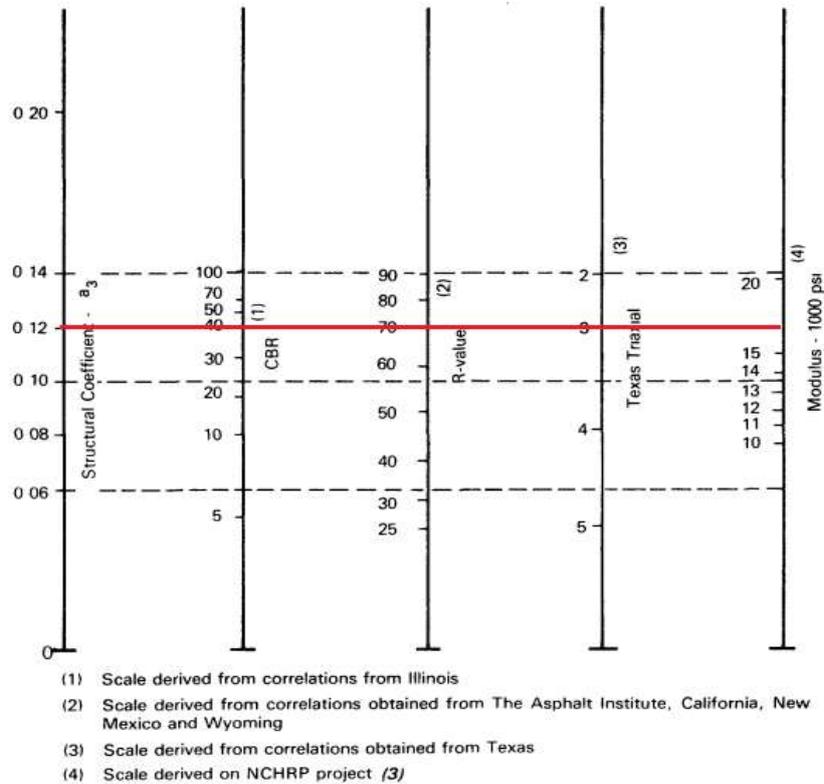
La caracterización del suelo de fundación de la estructura de pavimento es fundamental para establecer su capacidad mecánica y su estabilidad volumétrica frente a cambios de humedad. Esta caracterización se debe determinar por medio de un programa de exploración y muestreo del terreno, así como ensayos de laboratorio.

- *Caracterización de los materiales de las capas del pavimento*

Las características de las diversas capas del pavimento se evalúan mediante sus módulos de elasticidad obtenidos en ensayos normalizados en laboratorio y mediante correlaciones de valores típicos para los materiales de construcción colombianos.

**Subbase granular.** Se establece el uso de un material con capacidad de soporte mínimo del 40%, de acuerdo a la recomendación técnica del INVIAS en su especificación 320 de 2013. La guía AASTHO nos presenta el siguiente ábaco para correlacionar las respectivas características del material:

Imagen 5. Variación del Coeficiente de aporte estructural en material de Subbase Granular ( $a_3$ ) para diferentes parámetros de resistencia

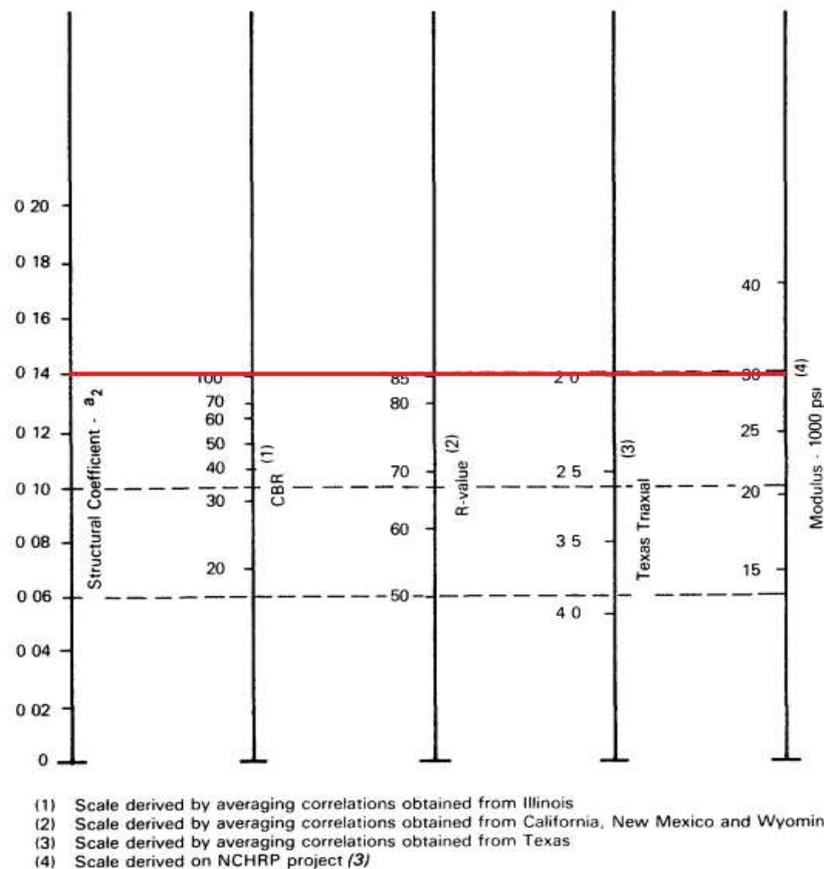


Fuente: Guía AASHTO para el diseño de estructuras de pavimentos, 1993.

Para un CBR del 40%, la guía sugiere un coeficiente de aporte estructural ( $a_3$ ) igual al 0.12; así como un módulo elástico de 16000 Psi.

**Base granular.** La base podrá ser granular o estabilizada y los requisitos de calidad deben estar por encima de la Subbase Granular. Se propone el uso de una base granular con CBR de 100% para la estructura de pavimento, con una densidad mínima del 95% con relación a la máxima obtenida en el ensayo de CBR. De acuerdo a la información suministrada por la Guía de Diseño AASHTO, se presenta el siguiente ábaco para correlacionar las respectivas características del material:

Imagen 6. Variación del Coeficiente de aporte estructural en material de Base Granular ( $a_2$ ) para diferentes parámetros de resistencia.

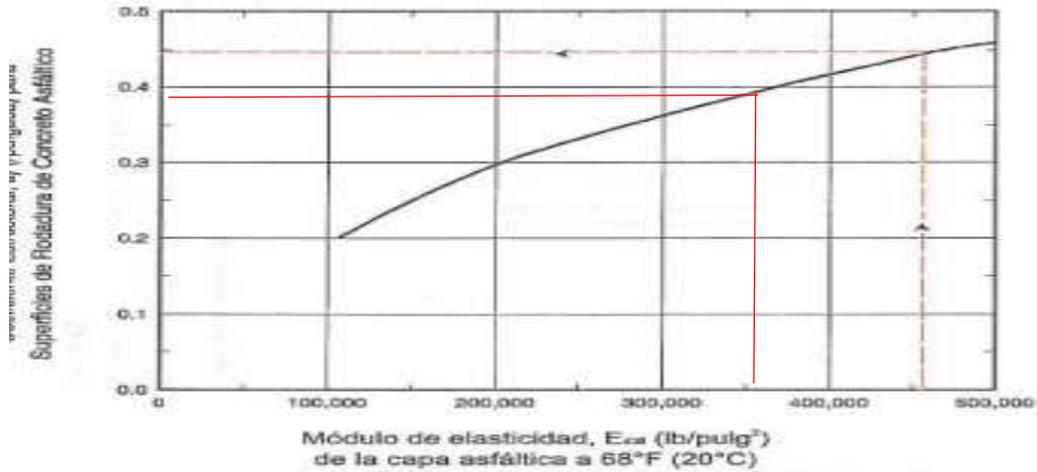


Fuente: Guía AASHTO para el diseño de estructuras de pavimentos, 1993.

Para un CBR del 100%, la guía sugiere un coeficiente de aporte estructural ( $a_2$ ) igual al 0.14; así como un módulo elástico de 30000 Psi.

**Carpeta asfáltica.** La capa de rodadura asfáltica consistirá en una mezcla entre agregados pétreos y un producto bituminoso. Se propone una carpeta asfáltica con un coeficiente estructural ( $a_1$ ) igual a 0.38 y un módulo elástico de 350,000 Psi.

Imagen 7. Determinación aporte Carpeta Asfáltica.



#### 8.1.4 Características estructurales del pavimento

- *Coefficiente de drenaje ( $m_i$ )*

La calidad del drenaje es una característica de vital importancia en el diseño de carreteras, sin embargo, los métodos corrientes para el dimensionamiento de estructuras de pavimento recurren a capas de base de permeabilidad baja y por ende de difícil drenaje. El método AASHTO permite al diseñador asumir un nivel de drenaje consecuente a una serie específica de condiciones de drenaje. A continuación, se presentan las definiciones generales correspondientes, para diferentes niveles de drenaje del pavimento:

Tabla 12. Valores de coeficiente de drenaje para materiales en pavimentos asfálticos

CAPACIDAD DE DRENAJE	% de tiempo en el que el pavimento está expuesto a nivel de humedad próximo a saturación.			
	Menos del 1%	1 a 5 %	5 a 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
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Malo	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy Malo	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Fuente: Guía AASHTO para el diseño de estructuras de pavimentos, 1993.

Una incorrecta remoción de agua en pavimentos asfálticos conlleva efectos nocivos como los son una reducción en la resistencia de materiales, expulsión de finos, levantamientos diferenciales de suelos expansivos, entre otros.

- *Numero estructural (SN)*

El número estructural del pavimento representa la relación entre el espesor, los coeficientes estructurales y el coeficiente de drenaje de las capas, así como el aporte que estas tendrán en la resistencia final del pavimento. El número estructural total del pavimento está dado por la ecuación:

$$SN = \sum a_i * D_i * m_i$$

Dónde:

$a_i$  = Coeficiente estructural de cada capa

$D_i$  = Espesor de la capa

$m_i$  = Coeficiente de drenaje de las capas no estabilizadas

### 8.1.5 Diseño estructural del Pavimento- Metodología ASSTHO

De acuerdo a lo establecido a lo largo del capítulo, a continuación, se presentan los parámetros a implementar, así como el dimensionamiento de la estructura de pavimento. Se propone una estructura convencional, compuesta por una carpeta asfáltica apoyada sobre dos capas de material granular tipo base y subbase, respectivamente.

Tabla 13. Parámetros de Diseño de Pavimentos

	Parámetros de diseño	
	<b>Psii</b>	4,2
	<b>Psif</b>	2,5
	<b>ΔPsi</b>	1,7
<b>Conf.</b>	<b>So</b>	0,49
95	<b>Zr</b>	-1,645

Fuente: Autor.

### 8.1.6 Cálculo de SN

Para determinar el valor de SN se implementó el programa AASTHO 93, de acuerdo con las variables establecidas a lo largo del documento, obteniendo un número Estructural SN de 6.26, como se evidencia a continuación:

Imagen 8. Análisis Carpeta Asfáltica

The screenshot shows the 'Ecuación AASTHO 93' software window. It is configured for a flexible pavement analysis. The 'Tipo de Pavimento' is set to 'Pavimento flexible'. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' are set to '95 % Zr=-1.645' and '0.49' respectively. The 'Serviciabilidad inicial y final' are '4.2' and '2.5'. The 'Módulo resiliente de la subrasante' (Mr) is '8534 psi'. The 'Tipo de Análisis' is 'Calcular SN', resulting in a 'Número Estructural' (SN) of '6.26' and a 'W18' value of '43769350'. The 'Calcular' button is highlighted.

Variable	Valor
Tipo de Pavimento	Pavimento flexible
Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)	95 % Zr=-1.645, So = 0.49
Serviciabilidad inicial y final	PSI inicial = 4.2, PSI final = 2.5
Módulo resiliente de la subrasante (Mr)	8534 psi
Módulo de elasticidad del concreto (Ec)	[Empty]
Módulo de rotura del concreto (Sc)	[Empty]
Coficiente de transmisión de carga (J)	[Empty]
Coficiente de drenaje (Cd)	[Empty]
Tipo de Análisis	Calcular SN
Número Estructural (SN)	6.26
W18	43769350

Fuente: Programa AASTHO 93-Luis Ricardo Vázquez Valera

### 8.1.7 Cálculo SN por Componentes

Se procede a calcular el valor de los SN de cada una de las capas de la estructura de pavimento, con el fin de evaluar el aporte de los materiales propuestos, así como las condiciones climáticas estimadas para el diseño de la estructura de pavimento,

proponiendo espesores de cada una sus capas arrojadas por la implementación del método ASSHTO-93.

#### 8.1.7.1 SN Carpeta Asfáltica

Para el espesor de la mezcla asfáltica se utilizó la ecuación AASTHO 93, despejando el espesor de carpeta requerido, de esta manera se calcula el número estructural (SN1) utilizando el programa Ecuación AASTHO 93 de la autoría del Ingeniero Ricardo Vázquez Valera, resultando un valor de SN = 1.60, como se ve en la imagen 9:

Imagen 9. Análisis Capa de Pavimento

Tipo de Pavimento		Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)	
<input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible	<input type="radio"/> Pavimento rígido	95 % Zr=-1.645	So = 0.49
Serviciabilidad inicial y final		Módulo resiliente de la subrasante	
PSI inicial = 4.2	PSI final = 2.5	Mr = 350000 psi	
Información adicional para pavimentos rígidos			
Módulo de elasticidad del concreto - E <sub>c</sub> (psi)		Coefficiente de transmisión de carga - (J)	
Módulo de rotura del concreto - S <sub>c</sub> (psi)		Coefficiente de drenaje - (Cd)	
Tipo de Análisis		Número Estructural	
<input checked="" type="radio"/> Calcular SN	w18 = 43769350	SN =	1.60
<input type="radio"/> Calcular w18			

Fuente: Programa AASTHO 93-Luis Ricardo Vázquez Valera

El espesor de concreto asfáltico se determina mediante la ecuación presentada a continuación, el coeficiente estructural para la capa de concreto asfáltico (a<sub>1</sub>), es de 0,38. Al ejecutar la ecuación se obtiene un espesor de 4,21”, la AASTHO 93

recomienda redondear el espesor a la 1/2 pulgada más cercana, o sea 4.5 “o 11.5 cm, en este caso. Por tal motivo es necesario recalcular el número estructural del concreto asfáltico (SN1). Para el caso, el (SN1) corregido es de 12 cm o 4,72”. (SN=1.80)

$$d1 = \frac{SN1}{a1}$$

Donde:

d1 : Espesor de concreto asfáltico en pulgadas  
SN1 : Número Estructural de la carpeta asfáltica.  
A1 : Coeficiente de aporte de la estructura.

#### 8.1.7.2 SN Base Granular.

Se utilizó nuevamente el programa Ecuación AASHTO 93 como herramienta de ayuda para el cálculo del algoritmo y se halla un número estructural (SN2)= 4.14 sobre la capa de sub-base granular, utilizando los mismos niveles de confiabilidad y tránsito, como este valor obtenido corresponde al aporte de la base granular y el concreto asfáltico, entonces a este número estructural se le resta el número estructural obtenido para el concreto asfáltico SN1(\*), se realiza el cálculo para conocer el espesor de la base granular.

Imagen 10. Análisis Capa Base Granular

The image shows a software window titled "Ecuación AASHTO 93". It is a graphical user interface for calculating pavement design parameters. The window is divided into several sections:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for "Pavimento flexible" (selected) and "Pavimento rígido".
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu showing "95 % Zr=-1.645" and a text box for "So" with the value "0.49".
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for "PSI inicial" (4.2) and "PSI final" (2.5).
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text box for "Mr" with the value "30000 psi".
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four empty text boxes for "Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)", "Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)", "Coeficiente de transmisión de carga - (J)", and "Coeficiente de drenaje - (Cd)".
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for "Calcular SN" (selected) and "Calcular W18".
- Número Estructural:** A text box showing "SN = 4.14".
- Buttons:** "Calcular" and "Salir" buttons at the bottom.

Fuente: Programa AASTHO 93-Luis Ricardo Vázquez Valera

Se obtiene un espesor de 16.75" correspondiente a 42.5 cm, por tal motivo es necesario realizar una aproximación a 43 cm.

### 8.1.7.3 SN Sub-Base Granular

Para determinar el espesor de subbase granular (d3) se toma el numero estructural total (SN) de la estructura de pavimento calculado y se le resta el número estructural del concreto asfáltico SN1 (\*) el cual es el corregido y el de la base granular SN (base granular\*), corregido por espesor.

Imagen 11. Análisis Capa Base Granular.

Fuente: Programa AASTHO 93-Luis Ricardo Vázquez Valera

Se obtiene un espesor de 17.49" correspondiente a 44.4 cm, 45 cm constructivos.

#### 8.1.7.4 Estructura Propuesta

Una vez evaluados cada una de las características de los materiales que componen la estructura de pavimento propuesta mediante la implementación del Método ASSTHO 93, se presenta cuadro resumen en el cual se evidencian los espesores correspondientes para el diseño de les estructura, respecto a las fuerzas actuantes externas y propias del tránsito que deberá resistir la misma en el periodo de diseño.

SH	Sector	Desde	Hasta	Mr Diseño (Psi)	SN req.	Espesores			Coeficientes de aporte estructural			Coeficientes de drenaje			SN ef.
						CA	BG	SBG	CA	BG	SBG	CA	BG	SBG	
1	1	K0+000	K4+180	8534	6.26	12	43	45	0,38	0,14	0,12	1	0,9	0,9	6.26

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El periodo de diseño para la estructura de pavimento asfáltico es de 10 años para el análisis y cálculo realizado en el presente diseño, se parte de un inicio de operación en el año 2017.
- De acuerdo a la información existente analizada, se encontró una sollicitación de carga de 43.769.350 de repeticiones, cuantificada en ejes equivalentes de 8.2 Ton.
- Por medio de la exploración geotécnica y ensayos de laboratorio, se estableció que, de manera general, el material de subrasante del proyecto se compone materiales de alta plasticidad y con baja capacidad portante con un CBR promedio del 1.46%.
- De acuerdo a lo enunciado anteriormente, se propone un mejoramiento con rajón con un espesor de 60cm.
- Debido a la uniformidad de la capacidad portante de la subrasante del proyecto, se consideró un solo sector homogéneo, con un módulo resiliente de la subrasante de 8534 psi.
- Se propone una estructura de pavimento convencional, compuesta por una capa de concreto asfáltico, una capa de base granular y una capa de subbase granular. El dimensionamiento de la estructura se presenta a continuación:

SH	Sector	Desde	Hasta	Espesores		
				CA	BG	SBG
1	1	K0+000	K4+180	12	43	45

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). Guide for desing pavement structures. Washington D.C.: AASHTO.
- Montejo Fonseca, A. (2008). Ingeniería de pavimentos para carreteras. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Gustavo Corredor (2010), Experimento vial de la AASHO y las Guías de Diseño de ASSHTO.
- Sociedad Futura Accesos Norte de Bogotá, 7.2 Volumen Informe de Pavimentos Accenorte.

## 11. ANEXOS

### TRANSITO

#### AUTOPISTA NORTE CALZADA OCCIDENTAL

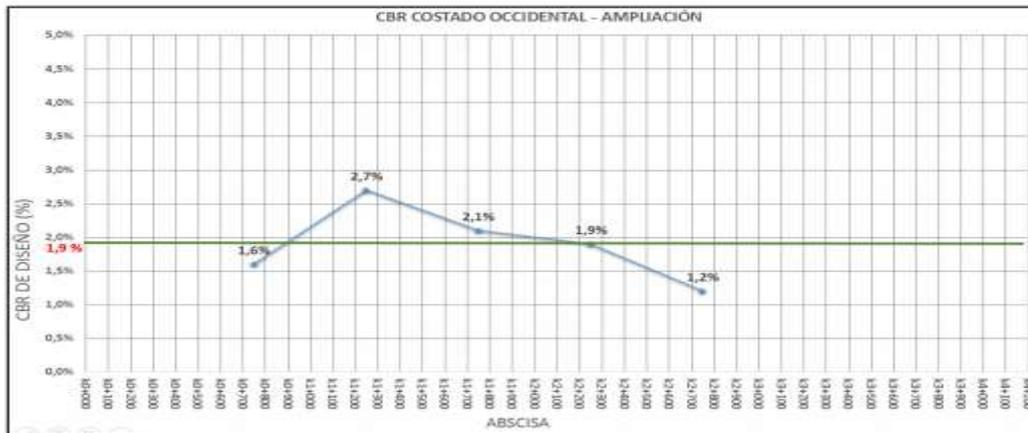
ESCENARIO OPTIMISTA CALZADA OCCIDENTAL											
AÑO	AÑO PROYECCIÓN	CRECIMIENTO	Auto	Bus	C2P	C2G	C3 - C4	C5	C6	EJES EQUIVALENTES DE 8,2 TON	EJES EQUIVALENTES DE 8,2 TON ACUMULADOS
<b>FACTOR DAÑO</b>			<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1,14</b>	<b>3,44</b>	<b>3,76</b>	<b>4,4</b>	<b>4,72</b>		
2015	0	5,4%	27468	3313	2580	1364	747	367	899	3.042.206	-
2016	1	5,4%	29127	3374	2676	1406	786	382	935	3.150.481	3.150.481
2017	2	5,4%	30886	3434	2771	1447	827	398	971	3.260.359	6.410.840
2018	3	5,4%	32751	3495	2867	1488	870	415	1008	3.371.919	9.782.760
2019	4	5,4%	34728	3556	2962	1530	916	432	1044	3.485.248	13.268.007
2020	5	4,3%	36790	3612	2859	1475	918	412	1013	3.411.386	16.679.394
2021	6	5,5%	39012	3672	2948	1514	966	429	1047	3.521.924	20.201.318
2022	7	5,5%	41368	3733	3038	1552	1016	447	1081	3.634.392	23.835.710
2023	8	5,5%	43866	3793	3127	1591	1069	466	1115	3.748.888	27.584.598
2024	9	5,5%	46515	3854	3216	1630	1125	486	1149	3.865.514	31.450.112
2025	10	5,5%	49323	3914	3306	1669	1184	506	1183	3.984.377	35.434.489
2026	11	5,5%	52302	3974	3395	1707	1246	527	1217	4.105.590	39.540.079
2027	12	5,5%	55460	4035	3484	1746	1311	549	1251	4.229.271	43.769.350
2028	13	5,5%	58809	4095	3574	1785	1380	572	1285	4.355.544	48.124.893
2029	14	5,6%	62360	4155	3663	1823	1452	596	1318	4.484.539	52.609.433
2030	15	5,6%	66126	4216	3752	1862	1528	621	1352	4.616.394	57.225.827
2031	16	5,6%	70119	4276	3842	1901	1608	647	1386	4.751.253	61.977.080
2032	17	5,6%	74353	4336	3931	1939	1692	675	1420	4.889.266	66.866.346
2033	18	5,6%	78843	4396	4020	1978	1780	703	1454	5.030.593	71.896.939
2034	19	5,6%	83604	4456	4110	2016	1873	732	1487	5.175.399	77.072.337
2035	20	5,6%	88653	4516	4199	2055	1971	763	1521	5.323.860	82.396.197

ESCENARIO OPTIMISTA CALZADA OCCIDENTAL											
AÑO	AÑO PROYECCIÓN	CRECIMIENTO	Auto	Bus	C2P	C2G	C3 - C4	C5	C6	EJES EQUIVALENTES DE 8,2 TON	EJES EQUIVALENTES DE 8,2 TON ACUMULADOS
<b>FACTOR DAÑO</b>			<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1,14</b>	<b>3,44</b>	<b>3,76</b>	<b>4,4</b>	<b>4,72</b>		
2015	0	5,4%	27468	3313	2580	1364	747	367	899	3.042.206	-
2016	1	5,4%	29127	3374	2676	1406	786	382	935	3.150.481	3.150.481
2017	2	5,4%	30886	3434	2771	1447	827	398	971	3.260.359	6.410.840
2018	3	5,4%	32751	3495	2867	1488	870	415	1008	3.371.919	9.782.760
2019	4	5,4%	34728	3556	2962	1530	916	432	1044	3.485.248	13.268.007
2020	5	4,3%	36790	3612	2859	1475	918	412	1013	3.411.386	16.679.394
2021	6	5,5%	39012	3672	2948	1514	966	429	1047	3.521.924	20.201.318
2022	7	5,5%	41368	3733	3038	1552	1016	447	1081	3.634.392	23.835.710
2023	8	5,5%	43866	3793	3127	1591	1069	466	1115	3.748.888	27.584.598
2024	9	5,5%	46515	3854	3216	1630	1125	486	1149	3.865.514	31.450.112
2025	10	5,5%	49323	3914	3306	1669	1184	506	1183	3.984.377	35.434.489
2026	11	5,5%	52302	3974	3395	1707	1246	527	1217	4.105.590	39.540.079
2027	12	5,5%	55460	4035	3484	1746	1311	549	1251	4.229.271	43.769.350
2028	13	5,5%	58809	4095	3574	1785	1380	572	1285	4.355.544	48.124.893
2029	14	5,6%	62360	4155	3663	1823	1452	596	1318	4.484.539	52.609.433
2030	15	5,6%	66126	4216	3752	1862	1528	621	1352	4.616.394	57.225.827
2031	16	5,6%	70119	4276	3842	1901	1608	647	1386	4.751.253	61.977.080
2032	17	5,6%	74353	4336	3931	1939	1692	675	1420	4.889.266	66.866.346
2033	18	5,6%	78843	4396	4020	1978	1780	703	1454	5.030.593	71.896.939
2034	19	5,6%	83604	4456	4110	2016	1873	732	1487	5.175.399	77.072.337

ESCENARIO OPTIMISTA CALZADA OCCIDENTAL											
AÑO	AÑO PROYECCIÓN	CRECIMIENTO	Auto	Bus	C2P	C2G	C3 - C4	C5	C6	EJES EQUIVALENTES DE 8,2 TON	EJES EQUIVALENTES DE 8,2 TON ACUMULADOS
2035	20	5,6%	88653	4516	4199	2055	1971	763	1521	5.323.860	82.396.197

Sector	Apique	Abscisa	Costado	Estrato	Tipo de muestreo	Profundidad (m)		Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Gravas (%)	Arenas (%)	Finos (%)	USCS	Peso unitario (kN/m <sup>3</sup> )	CBR corregido a 0,1" (%)		CBR corregido a 0,2" (%)		EXPANSION TOTAL (%)	Contenido De Materia Orgánica (%)	
						Inicial	Final										Natural	Sumergido	Natural	Sumergido			
AUTONORTE	AU-18-M2	K3+750	OCCIDENTAL	ARCILLA	Alterada	0,60	1,20	56,47	53,33	9,45	43,88	0,00	15,50	84,50	CH								
AUTONORTE	AU-20-M3	K3+250	OCCIDENTAL	ARCILLA	Molde CBR	0,45	1,00	28,62	69,17	26,45	42,72	0,00	1,70	98,30	CH	16,07	4,30	3,00	3,50	2,70	0,0116		
AUTONORTE	AU-22-M2	K2+750	OCCIDENTAL	LIMO	Alterada	0,30	0,80	29,47	55,14	34,73	20,41	0,00	7,30	92,70	MH								
AUTONORTE	AU-22-M3	K2+750	OCCIDENTAL	ARCILLA	Molde CBR	0,80	1,50	42,14	88,18	27,92	60,26	0,00	1,30	98,70	CH	17,10	1,40	1,20	1,20	1,00	0,007		
AUTONORTE	AU-24-M2	K2+250	OCCIDENTAL	LIMO	Alterada	0,30	0,85	29,43	NLL	NLP	NIP	0,00	21,30	78,70	ML								16,65
AUTONORTE	AU-24-M3	K2+250	OCCIDENTAL	LIMO	Molde CBR	0,85	1,50	36,86	57,83	45,49	12,34	0,00	1,90	98,10	MH	15,89	3,10	1,90	2,60	1,60	0,0306		
AUTONORTE	AU-26-M2	K1+750	OCCIDENTAL	ARCILLA	Molde CBR	0,50	0,90	31,92	67,22	28,60	38,62	0,00	2,00	98,00	CH	17,04	2,90	2,10	2,40	1,70	0,0320		
AUTONORTE	AU-26-M3	K1+750	OCCIDENTAL	ARCILLA	Alterada	0,90	1,50	46,09	81,98	30,80	51,18	0,00	0,00	100,00	CH								
AUTONORTE	AU-28-M3	K1+250	OCCIDENTAL	LIMO	Alterada	1,00	1,30	68,66	NLL	NLP	NIP	0,00	5,00	95,00	ML								39,58
AUTONORTE	AU-28-M4	K1+250	OCCIDENTAL	LIMO	Molde CBR	1,30	1,50	42,84	61,14	36,28	24,87	0,00	3,00	97,00	MH	13,78	4	2,7	2,9	2,4	0,0090		
AUTONORTE	AU-30-M3	K0+750	OCCIDENTAL	LIMO	Molde CBR	1,00	1,50	76,76	114,09	83,76	30,33	0,00	1,80	98,20	MH	13,78	1,8	1,6	1,6	1,5	0,0010		
AUTONORTE	AU-32-M4	K0+250	OCCIDENTAL	LIMO	Molde CBR	1,10	1,50	39,04	39,71	35,54	4,18	0,00	3,00	97,00	ML	15,42	4,7	3,9	4	3,1	0,0010		

## EVALUACIÓN SUBRASANTE.



SELECCIÓN DEL CBR		
CBR	Número de valores iguales o mayores	Porcentaje de valores iguales o mayores
1,2%	5	100,0%
1,6%	4	80,0%
1,9%	3	60,0%
2,1%	2	40,0%
2,7%	1	20,0%

