

**ESTUDIOS Y DISEÑO DE LA VÍA SAN FRANCISCO – INSPECCIÓN DE
POLICÍA DE SAN ANTONIO MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO
DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO**

ING. MIGUEL ANGEL SUAREZ CHAMORRO

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA DE CARRETERAS
SAN JUAN DE PASTO
2011**

**ESTUDIOS Y DISEÑO DE VIA SAN FRANCISCO – INSPECCION DE POLICIA
DE SAN ANTONIO MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO
DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO**

ING. MIGUEL ANGEL SUAREZ CHAMORRO

**Trabajo de Aplicación como requisito para optar el título de
Especialista en Ingeniería de Carreteras**

**Ing. MANUEL ALEJANDRO LASSO
Director**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA DE CARRETERAS
SAN JUAN DE PASTO
2011**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado, son de responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1° del acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, 29 de Agosto de 2011

AGRADECIMIENTOS

A mis maestros.

Gracias por su tiempo, por su apoyo así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional, en especial

*A la **Universidad de Nariño** y en especial a la **Facultad de Ingeniería Civil** que me dieron la oportunidad de formar parte de ellas.*

*Al Ing. **Manuel Alejandro Lasso Lucero Director de Trabajo de Grado**, por guiarme respecto al desarrollo teórico y conceptual del mismo, su valioso tiempo y las diferentes herramientas aportadas a este trabajo.*

¡Gracias!

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi Esposa

Por ser alguien muy especial en mi vida y por demostrarme que en todo momento puedo contar con ella

A mis hijos

Que son la razón de mi ser.

A mis Hermanos

Porque siempre he contado con ellos para todo, gracias a la confianza que siempre nos hemos tenido; por el apoyo y amistad

A mis Familiares.

Gracias a todos mis sobrinos que directamente me impulsaron para llegar hasta este lugar, a todos mis familiares que me resulta muy difícil poder nombrarlos en tan poco espacio, sin embargo ustedes saben quiénes son.

MIGUEL ANGEL SUAREZ CHAMORRO

RESUMEN

Este trabajo comprende los estudios y diseños para el mejoramiento de la vía que conduce desde la cabecera municipal de San Francisco a la Inspección de Policía de San Antonio.

La primer etapa de este proyecto la componen los estudios técnicos necesarios tales como *levantamiento topográfico, estudio de tránsito y estudio geotécnico*, posteriormente se realiza el mejoramiento del diseño geométrico analizando uno a uno de los parámetros que conforman el alineamiento horizontal, alineamiento vertical y sección transversal de acuerdo con las condiciones de esta carretera y cumpliendo al máximo con las especificaciones del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008.

Se realiza el diseño de la estructura de pavimento, para lo cual se presenta tres alternativas correspondientes a pavimento rígido, flexible y tratamiento superficial doble. Luego se realiza una comparación entre las dos primeras alternativas analizando aspectos técnicos y económicos para finalmente recomendar la mejor opción de pavimentación para la vía en estudio.

ABSTRACT

This work includes studies and designs for the improvement of the road leading from the township of San Francisco to the Police Inspectorate of San Antonio.

The first stage of this project is composed of the necessary technical studies such as surveying, traffic studies and geotechnical study, then the improvement is done by analyzing the geometric design one by one the factors that make the horizontal alignment, vertical alignment and cross section under the conditions of this road and meeting the most specifications of the Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008.

It makes the design of the pavement structure, for which three alternatives are presented for rigid pavement, flexible and double surface treatment. Then a comparison is made between the first two alternatives analyzing technical and economic aspects and finally suggest the best option for road paving in the study.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	7
INTRODUCCIÓN	18
1 IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO	20
1.1 TÍTULO	20
1.2 ALCANCE Y DELIMITACIÓN.....	20
1.3 MODALIDAD	21
2 PROBLEMA OBJETO DE ESTUDIO.....	22
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	22
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	23
3 OBJETIVOS	24
3.1 OBJETIVO GENERAL	24
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
4 JUSTIFICACIÓN	26
5 METODOLOGIA.....	27
5.1 INVESTIGACIÓN PRELIMINAR	27
5.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE LA VÍA.....	27
5.3 ESTUDIOS GEOTÉCNICOS	27
5.4 DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA VÍA.....	28
5.5 PRESENTACIÓN DOCUMENTO FINAL	28
6 RESULTADOS ESPERADOS	29
6.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	29
6.2 MEJORAMIENTO DEL DISEÑO GEOMETRICO.....	29
6.3 DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO	29
6.3.1 <i>Determinación de las unidades homogéneas.....</i>	<i>29</i>
6.3.2 <i>Determinación del tránsito de diseño</i>	<i>30</i>
6.3.3 <i>Dimensionamiento de las estructuras de pavimento</i>	<i>30</i>
6.3.4 <i>Análisis comparativo entre las alternativa de pavimento obtenidas</i>	<i>30</i>
7 RECURSOS	31
7.1 HUMANOS.....	31
7.2 TECNOLÓGICOS.....	31
8 MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL	32
8.1 GENERALIDADES	32
8.1.1 <i>Definición de Carretera.....</i>	<i>32</i>
8.1.2 <i>Definición de pavimento</i>	<i>33</i>
8.1.2.1 Clasificación de los pavimentos.....	33
8.1.2.1.1 Tratamiento Superficial	33
8.1.2.1.2 Pavimentos semi-rígidos.....	34
8.1.2.1.3 Pavimentos rígidos	34
8.1.2.1.4 Pavimentos articulados.....	36
8.1.3 <i>Factores a considerar en el diseño de pavimentos</i>	<i>36</i>
8.1.3.1 Tránsito	36

8.1.3.2	Subrasante	37
8.1.3.3	El clima.....	37
8.1.3.4	Los materiales disponibles	37
8.1.4	Obras de drenaje y subdrenaje en carreteras	38
9	LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCION DE LA ZONA DEL PROYECTO.....	39
9.1	LOCALIZACIÓN GENERAL Y CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA	39
9.2	GEOLOGIA	40
9.3	MORFOLOGIA	40
9.4	POBLACIÓN	41
9.5	HIDROGRAFIA.....	41
9.6	CLIMA	42
9.7	ECONOMIA.....	42
9.8	INFRAESTRUCTURA VIAL Y TRANSPORTE.....	43
9.9	AREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	45
9.9.1	Área de influencia directa	45
9.9.2	Área de influencia indirecta	45
10	MEJORAMIENTO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA VÍA SAN FRANCISCO – INSPECCION DE POLICÍA DE SAN ANTONIO MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO	46
10.1	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA.....	46
10.1.1	Clasificación de la Carretera.....	46
10.1.2	Tipo de Terreno	46
10.1.3	Longitud de la carretera	46
10.2	CONTROLES PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO	46
10.2.1	Velocidad de diseño.....	46
10.2.1.1	Velocidad de diseño del tramo homogéneo (VTR).....	47
10.2.1.2	Velocidad específica de los elementos que integran el trazado en planta y perfil 48	
10.2.1.3	Velocidad específica de la curva horizontal (V_{CH})	49
10.2.1.4	Velocidad en la entretangencia horizontal (V_{ETH})	51
10.2.1.5	Velocidad específica de la curva vertical (V_{CV}).....	52
10.2.1.6	Velocidad específica de la tangente vertical (V_{TV}).....	52
10.2.2	Vehículo de Diseño.....	52
10.2.3	Distancia de visibilidad de adelantamiento (D_a).....	53
10.3	DISEÑO EN PLANTA DEL EJE DE LA CARRETERA.....	55
10.3.1	Curvas Horizontales.....	55
10.3.1.1	Empalme Espiral – Círculo – Espiral (E-C-E).....	55
10.3.1.2	Empalme Espiral – Espiral (E-E)	56
10.3.1.3	Radio de curvatura mínimo ($RC_{mín}$)	56
10.3.1.4	Relación entre los radios de Curvas Horizontales Contiguas	57
10.3.1.5	Longitud mínima de la espiral.....	60
10.3.1.6	Curvas Espirales.....	64
10.3.1.6.1	Empalme Espiral – Círculo – Espiral	64
10.3.1.6.2	Empalme Espiral – Espiral	65
10.3.1.7	Transición del Peralte	65
10.3.1.7.1	Peralte Máximo.....	65
10.3.1.7.2	“Valor del Peralte (e) en función de la Velocidad Específica de la curva horizontal (V_{CH}) y el Radio de curvatura adoptado (RC)	66
10.3.1.7.3	“Transición del Peralte	68

10.3.1.7.4	"Rampa de Peralte.....	69
10.3.2	"Entretangencia Horizontal.....	71
10.3.2.1	Entretangencia mínima.....	71
10.3.2.2	Entretangencia máxima.....	72
10.4	DISEÑO EN PERFIL DEL EJE DE LA CARRETERA.....	73
10.4.1	Pendiente.....	74
10.4.1.1	Pendiente Mínima.....	74
10.4.1.2	Pendiente Máxima.....	74
10.4.2	Longitud mínima y máxima de tangentes Verticales.....	76
10.4.2.1	Longitud Mínima.....	76
10.4.2.2	"Longitud Máxima.....	77
10.4.2.2.1	Longitud crítica de la tangente vertical.....	77
10.4.3	"Determinación de la longitud de la curva vertical.....	78
10.4.3.1	Criterio de seguridad.....	79
10.4.3.2	Criterio de operación.....	80
10.4.3.3	Criterio de drenaje.....	81
10.5	DISEÑO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CARRETERA.....	83
10.5.1	Elementos geométricos de la sección transversal.....	83
10.5.1.1	"Ancho de Zona o Derecho de Vía.....	83
10.5.1.2	Corona.....	84
10.5.1.2.1	Ancho de calzada.....	84
10.5.1.2.2	Pendiente transversal en entretangencias horizontales.....	85
10.5.1.2.3	Ancho de berma.....	86
10.5.1.3	Diseño de cunetas.....	87
10.5.1.3.1	Selección del tipo, diseño de la cuneta y longitud máxima.....	87
11	ESTUDIO DE TRANSITO EN LA VÍA SAN FRANCISCO – INSPECCION DE POLICÍA DE SAN ANTONIO MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO.....	91
12	ESTUDIO GEOTECNICO DE LA VÍA SAN FRANCISCO – INSPECCION DE POLICÍA DE SAN ANTONIO MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO.....	93
12.1	TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO.....	93
12.2	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SUBRASANTE.....	95
13	DISEÑO ESTRUCTURA EN CONCRETO RIGIDO DE LA VÍA SAN FRANCISCO – INSPECCION DE POLICÍA DE SAN ANTONIO MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO.....	97
13.1	INFORMACION EXISTENTE.....	97
13.2	PERIODO DE DISEÑO.....	97
13.3	ANÁLISIS DEL TRÁNSITO.....	98
13.3.1	Factor de proyección del tránsito.....	98
13.3.2	Proyección del tránsito al periodo de diseño.....	98
13.3.3	Cargas máximas y distribución de cargas por eje.....	99
13.3.4	Espectro de cargas.....	100
13.4	CARACTERISTICAS DE RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE.....	101
13.4.1	Módulo de reacción K de la subrasante.....	101
13.4.2	Espesor de la subbase.....	103
13.5	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO.....	103
13.5.1	Parámetros de diseño.....	104
13.5.2	Diseño final.....	104
13.5.3	Diseño Juntas del Pavimento.....	105
13.5.3.1	Diseño de Juntas Longitudinales.....	105

13.5.3.2	Diseño de Juntas transversales, grietas inducidas con pasador	107
13.5.3.3	Juntas de expansión o aislamiento.....	109
13.6	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD METODO DE LA PCA.....	111
14	DISEÑO ESTRUCTURA EN PAVIMENTO ASFALTICO DE LA VIA SAN FRANCISCO – INSPECCION DE POLICIA DE SAN ANTONIO, MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO	115
14.1	METODOLOGIA DE DISEÑO	115
14.2	PERIODO DE DISEÑO	115
14.3	TRANSITO	116
14.4	DETERMINACION DE LA CATEGORIA DE CLIMA.....	119
14.5	CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE	121
14.6	CATEGORIA DE LA SUBRASANTE	122
14.7	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	123
14.7.1	Alternativas estructurales	123
14.8	ALGORITMO DE DISEÑO DEL MÉTODO AASHTO-93.....	124
14.8.1	Confiabilidad	124
14.8.2	Coeficientes estructurales	124
14.8.3	Coeficientes de drenaje de las capas granulares no tratadas	125
14.9	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS FAVORABLE	126
15	DISEÑO DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE EN LA VÍA SAN FRANCISCO – INSPECCION DE POLICÍA DE SAN ANTONIO MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO	128
15.1	INFORMACIÓN EXISTENTE Y RECOPIADA	128
15.1.1	Condiciones climáticas de la zona.....	128
15.1.2	Características de la vía y estructura de apoyo.....	128
15.2	CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL	129
15.2.1	Condiciones de tránsito.....	129
15.2.2	Selección del ligante	130
15.3	DISEÑO POR FORMULACIÓN BASADA EN ENSAYOS DE LABORATORIO	130
15.3.1	Primer riego	130
15.3.2	Segundo riego.....	131
15.3.3	Correcciones de la Dosificación por Reacomodo, Afinidad y Concentración	132
15.4	DISEÑO POR FORMULACIÓN BASADA EN DOSIFICACIONES TEÓRICAS MÉTODO DE LICKENHEIL	133
15.4.1	Diseño del primer riego	135
15.4.2	Diseño del segundo riego.....	135
15.4.3	Cantidad de emulsión requerida.....	136
15.5	DISEÑO POR EL MÉTODO CRR (BÉLGICA)	136
15.5.1	Diseño del primer riego	136
15.5.2	Diseño del segundo riego.....	136
15.5.3	Cantidad de emulsión requerida.....	137
15.6	DISEÑO POR MÉTODO SHELL	137
15.6.1	Diseño del primer riego	137
15.6.2	Diseño del segundo riego.....	139
15.6.3	Cantidad de emulsión requerida.....	140
15.7	COMPARACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE LIGANTE RESIDUAL OBTENIDO EN LOS DIFERENTES MÉTODOS.....	140
15.8	ANÁLISIS DE RESULTADOS	140

16 ANALISIS COMPARATIVO DE LAS ALTERNATIVAS DE PAVIMENTACION DE LA VIA SAN FRANCISCO – INSPECCION DE POLICIA DE SAN ANTONIO	142
16.1 ASPECTOS TECNICOS	142
16.1.1 Disponibilidad de materiales de construcción	142
16.1.2 Suelo de subrasante	143
16.1.3 Clima	143
16.2 ASPECTOS ECONOMICOS.....	143
16.2.1 Costos de construcción y conservación	143
16.3 OTROS FACTORES	144
CONCLUSIONES	145
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	147
ANEXOS	148
ANEXO A: CONTEO VEHICULAR.....	149
ANEXO B: PRESUPUESTO GENERAL Y APU DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE LA CARRETERA EN ESTUDIO.....	152
ANEXO C: PRESUPUESTO GENERAL Y APU DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA EN ESTUDIO.....	153
ANEXO D: PLANOS DE LA VÍA: PLANTA, PERFIL Y SECCIÓN TRANSVERSAL.....	154
ANEXO E: CARTERA DE LOCALIZACIÓN DE EJE DEFINITIVO EN PLANTA.....	155
ANEXO F: CARTERAS DE MOVIMIENTO DE TIERRA	156
ANEXO G: DETALLE CONSTRUCTIVO ALCANTARILLA	157
ANEXO H: PROYECTO FINAL DILIGENCIADO EN LA METODOLOGÍA GENERAL AJUSTADA	158

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Caracterización de vías del municipio de San Francisco departamento del Putumayo...	22
Tabla 9.1 Proyección de la población con base en el censo de 2005. Fuente DANE.....	41
“Tabla 10.1 Valores de la velocidad de diseño de los tramos homogéneos (V_{TR}) en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno”	48
“Tabla 10.2 Velocidad específica de una curva horizontal (VCH) incluida en un tramo homogéneo con velocidad de diseño (VTR)”	50
Tabla 10.3 Asignación de velocidades específicas a curvas horizontales (V_{CH}).....	51
Tabla 10.4 Mínima distancia de visibilidad de adelantamiento para carreteras de dos carriles dos sentidos	54
Tabla 10.5. Radios mínimos para peralte máximo emáx = 6 % y fricción máxima”	56
Tabla 10.6 Asignación de radios a curvas horizontales	57
Tabla 10.7. Ecuaciones de la relación entre radios de curvas contiguas	58
Tabla 10.8 Relación entre Radios de curvas horizontales consecutivas con entretangencia de longitud menor o igual a cuatrocientos metros (400 m)”	58
Tabla 10.9 Relación entre radios de curvas horizontales consecutivas	60
Tabla 10.10 Variación de la Aceleración centrífuga (J)	61
Tabla 10.11 Asignación de longitud de espirales	63
Tabla 10.12 Asignación de longitudes circulares L_c en empalmes E-C-E.....	64
Tabla 10.13 Curvas horizontales diseñadas con empalme espiral – espiral ($\Delta c \leq 20^\circ$).....	65
Tabla 10.14 Radios (R_c) según Velocidad Específica (VCH) y Peralte (e) para emáx=6%.”	67
Tabla 10.15 Asignación de peralte a curvas horizontales	68
Tabla 10.16 Longitud de transición de peralte en curvas horizontales.....	69
Tabla 10.17 Valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para rampas de peraltes....	70
Tabla 10.18 Chequeo de rampa de peraltes	71
Tabla 10.19 Chequeo de entretangencias; longitud mínima y máxima	73
Tabla 10.20 Relación entre la pendiente máxima (%) y la Velocidad Específica de la tangente vertical (VTV).....	75
Tabla 10.21 Asignación de pendientes a entretangencias verticales	76
Tabla 10.22 Longitud mínima de la tangente vertical”	76
Tabla 10.23 Cheque de longitud mínima entretangencias verticales	77
“Tabla 10.24. Valores de $K_{mín}$ para el control de la distancia de visibilidad de parada y longitudes mínimas según criterio de operación en curvas verticales”	80
Tabla 10.25 Asignación de longitudes a curvas verticales.....	82
Tabla 10.26 Ancho de Zona	83
Tabla 10.27 Ancho de calzada (metros)”	85
Tabla 10.28. Bombeo de la calzada”	86
Tabla 10.29 Ancho de bermas.....	87
10.30 Las dimensiones de la cuenta se presentan en la siguiente tabla:.....	88
Tabla 10.31 Elementos geométricos de diseño de la sección transversal	90
Tabla 11.1 Formato de aforo vehicular	92
Tabla 11.2 Información general del conteo de tránsito realizado.	92
Tabla 12.1 Resultados de los ensayos de C.B.R. realizados a la subrasante del proyecto.	95
Tabla 13.1 Información general del conteo de tránsito realizado.....	98
Tabla 13.2 Proyección del tránsito al periodo de diseño	99
Tabla 13.3 Máximo peso por eje para los vehículos de transporte de carga. (Fuente: Resolución 4100 de 2004).....	100
Tabla 13.4 Ejes sencillos, tándem y tridem para 1000 camiones.	100
Tabla 13.5 Espectro de cargas de diseño.....	101

Tabla 13.6 Clasificación del suelo según AASHTO y rangos de valores de K recomendados para los diferentes tipos de suelos	102
Tabla 13.7 Requisitos mínimos para pasadores en juntas transversales de pavimentos rígidos..	107
Tabla 13.8 Parámetros para análisis de sensibilidad	111
Tabla 13.9 Análisis de sensibilidad	113
Tabla 14.1 Información del tránsito de la vía.....	116
Tabla 14.2 Factor Daño por tipo de vehículo.	116
Tabla 14.3 Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal	118
Tabla 14.4 Niveles de tránsito	119
Tabla 14.5 Clasificación climática de Thornthwite	119
Tabla 14.6 Categorías de clima por temperatura	120
Tabla 14.7 Categorías de la subrasante.	122
Tabla 14.8 Alternativas estructurales	123
Tabla 14.9 Coeficientes estructurales capas del pavimento	125
Tabla 14.10 Coeficientes de drenaje de las capas granulares no tratadas	125
Tabla 14.11 Alternativas estructurales	126
Tabla 15.1 Principales características de las gravillas para el tratamiento superficial	129
Tabla 15.2 Características del ligante asfáltico	129
Tabla 15.3 Granulometría gravilla - primer riego	133
Tabla 15.4 Granulometría gravilla - segundo riego.....	134
Tabla 15.5 Factor de corrección del ligante	138
Tabla 15.6 Comparación de los contenidos de ligante residual obtenido en los diferentes métodos	140

LISTA DE FIGURAS

Figura 9.1 Localización del Proyecto	45
"Figura 10.1 Sección transversal típica en vías Terciarias"	83
Figura 10.2 Diseño de cuneta en concreto	88
Figura 10.3 Sección transversal tipo en la vía San Francisco – Inspección de Policía de San Antonio	90
Figura 13.1 Representación esquemática de los vehículos de transporte de carga más comunes en el país. (Fuente: Resolución 4100 de 2004)	99
Figura 13.2 Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos y los valores de CBR y K	103
Figura 13.3 Detalle Software BS-PCA	104
Figura 13.4 Corte transversal diseño final Método de la PCA.....	105
Figura 13.5 Esquema de juntas transversales	108
Figura 13.6 Esquema representativo de un pavimento de concreto.	109
Figura 13.7 Detalle de localización de juntas en cruces de vías.....	109
Figura 13.8 Localización de diferentes tipos de juntas	110
Figura 13.9 Sellado de Juntas	110
Figura 13.10 Detalle refuerzo de Junta transversal	111
Figura 14.1 Mapa de climas de Colombia.....	120
Figura 14.2 Detalle programa de computador PAV-NT1	126
Figura 14.3 Detalle alternativa estructural seleccionada.	127

LISTA DE GRÁFICAS

Grafica 10.1 Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia para la estación Sibundoy Putumayo	89
Grafica 15.1 Curva granulométrica de gravilla – primer riego	133
Grafica 15.2 Curva granulométrica de gravilla – segundo riego	134
Grafica 15.3 Cantidad de agregado y de ligante – primer riego	138
Grafica 15.4 Cantidad de agregado y de ligante – segundo riego	139

INTRODUCCIÓN

Una infraestructura vial adecuada es fundamental para el desarrollo socio económico del país. El presente trabajo contiene el estudio y diseño geométrico y de la estructura de pavimento en concreto flexible y rígido para la vía ubicada en el sector rural del municipio de San Francisco en el departamento de Putumayo.

La vía en estudio comunica la Inspección de Policía de San Antonio y las veredas circundantes con la cabecera municipal de San Francisco y posee una longitud de 2.182,28 m. En la actualidad ésta vía presenta un regular estado de circulación (material de afirmado) y el mantenimiento de ella es competencia de la administración municipal.

Para la realización de los diferentes estudios, diseño geométrico, de la estructura de pavimento y obras de defensa y drenaje de esta vía, se realizara inicialmente el Levantamiento Topográfico altimétrico y planimétrico del sector a intervenir, el estudio de tránsito, cuyo objetivo principal es obtener el número de ejes equivalentes (N) de 8.2 toneladas para un número de repeticiones de carga en un determinado período de diseño establecido en años, basado en la características particulares de la vía en mención, la cual se considera de tipo rural y que por ella circula un tránsito bajo, con esto se proyectará el número de ejes equivalentes con una confiabilidad del 95%, para lograr un buen nivel de confianza en las repeticiones esperadas y obtener una mayor tiempo de durabilidad.

En los estudios de geotecnia se presentarán los análisis y resultados de los sondeos y apiques realizados, en donde se tomarán muestras para ensayos de laboratorio y, con esta información se obtendrá el CBR para el diseño de las estructuras de pavimento.

Finalmente con el resultado del Levantamiento Topográfico, análisis del tránsito y el estudio geotécnico, se presentara el Diseño para el mejoramiento de la vía con base en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 y el diseño de estructuras de pavimento en concreto rígido y flexible. Para el diseño de las estructuras de pavimento se emplearán los métodos más reconocidos y utilizados en el país, tomando como referencia los Manuales vigentes desarrollados por el Instituto Nacional de Vías sobre la materia.

Obtenidas las alternativas estructurales de pavimento para esta vía, se evaluarán el costo de las obras de construcción, previo análisis de costos unitarios de la zona a la fecha de realización del presente estudio y se presentará un análisis comparativo entre ellas. Se realizarán las correspondientes conclusiones, recomendaciones para su construcción y se entregará el proyecto final diligenciado en la Metodología General Ajustada para que el proyecto pueda ingresar al sistema “Banco de proyectos de inversión” del Departamento Nacional de Planeación y se pueda gestionar de recursos para su construcción.

1 IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.1 TÍTULO

“ESTUDIOS Y DISEÑO DE LA VÍA SAN FRANCISCO – INSPECCIÓN DE POLICÍA DE SAN ANTONIO MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO”

1.2 ALCANCE Y DELIMITACIÓN

Los Estudios y Diseño de la Vía San Francisco – Inspección de Policía de San Antonio del municipio de San Francisco en el departamento del Putumayo, propuesto estará siempre encaminado a aprovechar al máximo el alineamiento horizontal, las estructuras de rodamiento y las obras de arte existentes, con el fin de buscar la mayor economía en la alternativa seleccionada obteniendo finalmente una estructura de pavimento tal que garantice una buena transitabilidad, durabilidad, seguridad, confort, ahorro de tiempo y disminución en los costos de operación de los vehículos, a partir de la aplicación de métodos racionales, empíricos y mecanicistas utilizados en el diseño de pavimentos flexibles y rígidos.

Para realizar el diseño de la estructura de pavimento, así como las obras de defensa y drenaje se efectuara inicialmente el Levantamiento Topográfico, estudio de tránsito, estudio geotécnico, y la aplicación de los métodos AASHTO, RACIONAL y el de la PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, con el fin de obtener varias alternativas y posteriormente seleccionar la más favorable bajo la consideración de aspectos técnicos, de seguridad y economía.

El diseño de las obras menores de ingeniería se ajustará a modelos prediseñados por la secretaría de obras públicas del departamento de Antioquia y los modelos del INVIAS.

Con la obtención de las cantidades de obra a partir de los diseños y con las especificaciones generales para la construcción se elaborarán los análisis de precios unitarios que permitan determinar el presupuesto final y la formulación del proyecto en Metodología General Ajustada MGA con el ánimo de registrarlo en un banco de programas y proyectos de inversión a nivel departamental y nacional.

1.3 MODALIDAD

La modalidad de este proyecto es de aplicación, porque se enfatiza en el estudio de un proyecto en el área de Ingeniería de carreteras, que mejore las condiciones de vida de una comunidad, mediante la aplicación de tecnologías aprendidas durante la especialización.

2 PROBLEMA OBJETO DE ESTUDIO

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La red vial en el departamento del Putumayo sufre un acelerado proceso de deterioro teniendo entre las causas más importantes: La falta de fuentes de financiación adecuadas, los escasos recursos económicos de los departamentos, la deficiente transferencia de tecnología y capacitación del INVIAS, la falta de programa de mantenimiento vial, etc.

Los municipios que integran el Valle de Sibundoy, se interrelacionan en mayor grado a nivel comercial, social, cultural y de servicios con el departamento de Nariño, especialmente con la ciudad de San Juan de Pasto, la cual además es paso obligado tanto para el centro del país como para la vecina República del Ecuador.

El municipio de San Francisco por sus características de economía las cuales están orientadas hacia actividades como la agricultura y la ganadería principalmente, requiere de una adecuada y aceptable red de vías de orden terciario, las cuales garanticen el transporte y la comercialización de los productos agrícolas y semovientes principalmente a la ciudad de Pasto. En la actualidad cuenta con un número muy limitado de vías en buen estado de ahí la necesidad de pavimentar y mejorar la transitabilidad de estas vías como es el caso de la vía que comunica la Inspección de Policía de San Antonio y las veredas circundantes con la cabecera municipal. En la actualidad presenta un regular estado de circulación (material de afirmado) y el mantenimiento de ella es competencia de la administración municipal.

Tabla 2.1 Caracterización de vías del municipio de San Francisco departamento del Putumayo

VIA	LONGITUD
San Antonio – San José del Chunga	3,50
San Antonio – San Antonio Central	0,87
Vía Canal	1,70
Vía La Dársena – Puente Amarillo	1,00
Vía San Silvestre – Bajo San José	3,60
Vía San Silvestre – La Menta	4,22
Vía La Menta – San Agustín	1,10
Vía La Dársena – Central San Antonio	1,70

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la alternativa más apropiada desde los puntos de vista técnico y económico para el mejoramiento geométrico y pavimentación de la vía que conduce desde el municipio de San Francisco hasta la Inspección de Policía de San Antonio, departamento del Putumayo?

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio para el mejoramiento geométrico y diseño de las estructuras de pavimento rígido, flexible y tratamiento superficial de la vía San Francisco – Inspección de Policía de San Antonio, en el tramo comprendido entre las abscisas k0 + 000 y k2 + 182.28

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Efectuar el Levantamiento Topográfico del Sector a Intervenir.
- Realizar un aforo vehicular de la vía en estudio, para determinar los parámetros de tránsito necesarios para el diseño geométrico y de las estructuras de pavimento rígido, flexible y tratamiento superficial.
- Efectuar el estudio geotécnico para el posterior diseño de la estructura de pavimento rígido y flexible.
- Realizar el análisis de los parámetros geométricos que componen los alineamientos horizontal y vertical y sección transversal de la vía, con el objeto de plantear la solución más apropiada para el mejoramiento vial empleando los criterios establecidos en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008.
- Dimensionar las alternativas estructurales de pavimento flexible, rígido y tratamiento superficial apropiadas para la vía.
- Diseñar y localizar las obras de arte, de protección y drenaje.
- Realizar un análisis comparativo de las alternativas de pavimentación de la vía en estudio, recomendando la más favorable desde los puntos de vista técnico y económico.
- Elaborar el presupuesto de las obras de construcción en base al mejoramiento geométrico realizado y alternativa de pavimentación seleccionada, tomando como referencia el análisis de precios unitarios y mercado de la zona, las cantidades de obra.

- Diligenciar la Metodología General Ajustada para que el proyecto pueda ingresar al sistema “Banco de proyectos de inversión” del Departamento Nacional de Planeación y se pueda gestionar de recursos para su construcción.

4 JUSTIFICACIÓN

En el departamento del Putumayo existen gran cantidad de vías en mal estado, especialmente en el tramo comprendido entre la Inspección de Policía de San Antonio y el municipio de San Francisco y las veredas circunvecinas, influyendo enormemente en las áreas productivas y ganaderas e incidiendo en los costos ya que se encarece el transporte de estos productos, retardando los despachos de las cosechas que suelen deteriorarse o perderse. Por otro lado el hecho de transitar los vehículos y tener que repararlos y reponerlos con frecuencia por el daño ocasionado por el mal estado de la vía aumenta el costo por tonelada de productos transportada y mermando el beneficio de los productores, que aunque hacen grandes esfuerzos por producir los alimentos que la población necesita ve un obstáculo por la falta de atención de la vía carretable.

La importancia del diseño para el mejoramiento de la vía San Francisco – Inspección de Policía San Antonio y sus veredas aledañas, permitirá incentivar la producción agrícola y ganadera de esta importante zona del departamento del Putumayo, mejorando los aspectos comerciales, sociales, culturales y turísticos de la región con el resto de los municipios del departamento del Putumayo y otros departamentos, como con el departamento de Nariño, facilitando el flujo de bienes y servicios con el interior del país.

5 METODOLOGIA

La siguiente es la metodología a desarrollar para dar cumplimiento a los objetivos propuestos en el presente estudio.

5.1 INVESTIGACIÓN PRELIMINAR

Se reunirá información pertinente al proyecto en cuestión como cartografía, fotografías aéreas, información hidrográfica, estudios de tránsito, fuentes de materiales y términos de referencia para la consecución del proyecto, además se realizará un reconocimiento de la zona y de sus áreas de influencia.

5.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE LA VÍA

Se realizara con Estación Total Marca TOPCON REF GTS 239 W y colectora de datos SOKKIA SDR 31.

Se tomará topografía con curvas de nivel a 50 cms, en aquellos lugares donde por el análisis de la localización directa y del diseño de rasante así lo requieran; de esta manera contaremos con la información necesaria para poder realizar el cálculo de movimiento de tierras en donde se efectúen cortes mayores u obras de arte.

A partir del eje localizado se realizará un levantamiento de detalles tales como cunetas, bermas, taludes, barrancos, alcantarillas, muros de contención, pontones, puentes y viviendas que vayan a afectar el alineamiento.

5.3 ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

Se realizarán los ensayos necesarios para poder obtener la resistencia del suelo de subrasante y así poder determinar el CBR de diseño de las estructuras de pavimento.

5.4 DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA VÍA

Como se trata de una obra de mejoramiento vial, el alineamiento horizontal de la vía existente se conservará en lo posible, ajustándose a los parámetros de diseño previstos, tomando como base las normas del Ministerio de Transporte para la red terciaria, como también de estudios de tránsito efectuados durante quince días y la determinación de las características del terreno. Con ello se hará una localización del proyecto, pretendiendo mejorar las características geométricas existentes, de visibilidad, de radios mínimos, relación entre radios de curvas horizontales consecutivas, peralte máximo, de transición de peraltado, rampa de peralte y entretangencias mínimas y máximas.

El diseño de rasante tendrá por objeto ceñirse en lo posible al perfil existente generado por el eje definido, con el fin de aprovechar el afirmado existente como una parte de la estructura de pavimento - subbase o mejoramiento de subrasante-.

Una vez dibujados la planta y el perfil del proyecto se procederá a localizar sobre estos las respectivas obras de arte.

5.5 PRESENTACIÓN DOCUMENTO FINAL

Se entregará memoria descriptiva del proyecto en la que se incluirá planos en planta, perfil y sección transversal, carteras de diseño geométrico, estudio de suelos, especificaciones técnicas, cuadros de cálculo, presupuesto y se entregará proyecto final en la Metodología General Ajustada (MGA) que permita la consecución de recursos para su construcción.

6 RESULTADOS ESPERADOS

6.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Se realizara con Estación Total Marca TOPCON REF GTS 239 W y colectora de datos SOKKIA SDR 31.

6.2 MEJORAMIENTO DEL DISEÑO GEOMETRICO

Se realizará el análisis de los parámetros geométricos que componen los alineamientos horizontal y vertical y sección transversal de la vía, con el objeto de plantear la solución más apropiada para el mejoramiento vial empleando los criterios establecidos en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008. Se realizarán los ajustes necesarios para satisfacer las especificaciones que para este tipo de carreteras y sus características establece el INVIAS.

6.3 DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO

Una estructura de pavimento cualquiera que sea su dimensionamiento y composición, debe diseñarse en función de diversas variables, tales como: cargas de tránsito y su composición, materiales que conforman su estructura, geometría de la calzada, condiciones climáticas y ambientales, etc., por lo tanto, un diseñador debe tener conocimiento en la interpretación de los distintos resultados de los ensayos de laboratorio sobre la caracterización de los materiales, propiedades físico mecánicas de los ligantes bituminosos y del cemento Portland en cada caso, y de las limitaciones que ofrecen los distintos métodos utilizados en el diseño. Es importante aclarar que se deben adecuar las distintas especificaciones a los materiales disponibles en la zona del proyecto y no los materiales a las especificaciones tipo.

6.3.1 Determinación de las unidades homogéneas

Con base en el análisis del estudio de suelos realizado y en función de los resultados obtenidos, se determinarán unidades homogéneas de diseño que presenten características similares en cuanto a topografía, geología de la zona, propiedades mecánicas, geotecnia y condiciones de drenaje.

Inicialmente se programaran sondeos cada 250 metros y de los resultados obtenidos se programaran los apiques necesarios.

6.3.2 Determinación del tránsito de diseño

Se determinara la variable tránsito expresada en el número de ejes equivalentes de una carga de referencia de 8.2 toneladas que circularán en el carril de diseño durante el periodo de diseño, asimismo la composición del tránsito. Para esto se realizara un conteo vehicular en un sitio estratégico de la vía, el conteo se realizará durante dos días estratégicos con periodos de doce horas diarias comprendidas entre las seis a.m. y las siete p.m.

6.3.3 Dimensionamiento de las estructuras de pavimento

Se plantearán varias alternativas de solución ante las solicitudes planteadas, tanto para pavimento flexible, tratamiento superficial y rígido. Se emplearán los métodos de diseño más reconocidos y utilizados en el país y los manuales de diseño desarrollados por el Ministerio de Transporte – INVIAS

6.3.4 Análisis comparativo entre las alternativa de pavimento obtenidas

Se realizará un análisis comparativo entre las alternativas de pavimentación obtenidas para la vía en estudio, recomendando la más favorable desde los puntos de vista técnico y económico.

7 RECURSOS

En la realización del proyecto titulado “ESTUDIO Y DISEÑO DE LA VIA SAN FRANCISCO – INSPECCION DE POLICIA DE SAN ANTONIO MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO”, se considera pertinente la disposición de recursos que contribuyan a su desarrollo alcanzando así las metas para lograr los objetivos propuestos. Para el logro de tal fin, se requiere los siguientes recursos:

7.1 HUMANOS

En el proyecto a realizar se tiene contemplado la utilización de un Ingeniero estudiante de la especialización en Ingeniería de Carreteras, el que realizara el proyecto de diseño, un Ingeniero Especialista en Ingeniería de Vías, quien cumplirá la función de Asesor y Director del proyecto, un geotecnólogo, quien estará a cargo de los ensayos y estudio de suelos y una comisión de topografía quien realizara el Levantamiento topográfico.

7.2 TECNOLÓGICOS

Para la realización del proyecto, se hará uso de:

- Equipo de topografía como estación total Marca Topcon Ref: GTS 239 W y colectora de datos Sokkia SDR 31.
- Equipos e instrumentos para la realización de los estudios de suelos.
- Equipo de computación, dispuesto con programas para el diseño de pavimentos y presentación de la sustentación.

8 MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL

8.1 GENERALIDADES

8.1.1 Definición de Carretera.

“Infraestructura del transporte cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. Puede estar constituida por una o varias calzadas, uno o varios sentidos de circulación o uno o varios carriles en cada sentido, de acuerdo con las exigencias de la demanda de tránsito y la clasificación funcional de la misma.”¹

Según Choconta, el Diseño Geométrico de Carreteras se define como “El proceso de correlacionar los elementos físicos de la vía con las condiciones de operación de los vehículos y las características del terreno”².

Se debe lograr un diseño geométrico consistente, que contribuya a reducir las violaciones de las expectativas del conductor, de tal manera que éste aprecie homogeneidad en el trazado y sus diferentes componentes. Esto hace referencia a una adecuada coordinación por parte del diseñador del alineamiento en planta y el alineamiento en perfil.

Los criterios que priman en el diseño de una carretera son: seguridad, comodidad, eficiencia y funcionalidad. Como criterios secundarios, pero no de menor importancia están el entorno, economía, estética y ajustabilidad.

Principales Elementos de una carretera: no necesariamente deben estar todos estos elementos presentes en una carretera, su existencia depende del tipo de carretera, condiciones topográficas, geológicas, hidrológicas, etc.

- ✓ Señales verticales
- ✓ Demarcación horizontal
- ✓ Superficie: ya sea en pavimento flexible, rígido, articulado o en afirmado
- ✓ Muros de contención

¹INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008, p. 269

²CHOCONTA ROJAS, Pedro Antonio. DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002.

- ✓ Puentes, viaductos, pontones
- ✓ Reductores de velocidad
- ✓ Obras de seguridad vial y Vallas informativas
- ✓ Obras de protección
- ✓ Túneles

8.1.2 Definición de pavimento

Se define como pavimento a una estructura constituida por varias capas de materiales seleccionados, diseñada y construida técnicamente con el objeto de brindar el tránsito de vehículos de una manera cómoda, rápida, segura eficiente y económica.

8.1.2.1 Clasificación de los pavimentos

En nuestro medio los pavimentos se clasifican en: pavimentos flexibles, pavimentos semi-rígidos o semi-flexibles, pavimentos rígidos y pavimentos articulados.

8.1.2.1.1 Tratamiento Superficial

Tratamiento superficial bituminoso es un revestimiento en el que un agregado es colocado uniformemente sobre un ligante bituminoso, previamente aplicado sobre la calzada, para luego ser compactado. Su espesor es aproximadamente igual a la mayor dimensión de los fragmentos pétreos.

Se designa por tratamiento superficial a cualquier tipo de revestimiento bituminoso delgado con un espesor menor a una pulgada.

Tipos de Tratamientos Superficiales:

- Riegos antipolvo.
- Riegos de imprimación.
- Tratamientos superficiales simples.
- Tratamientos superficiales múltiples.
- Tratamientos superficiales con mezclas en instalación fija.
- Sellados con lechada asfáltica.
- Riegos en negro.
- Capas de adherencia.
- Riegos de sellado.

Finalidades

Función principal:

- Servir como revestimiento de los caminos.
- Proporcionar un movimiento más suave y seguro a los vehículos, librándolos del polvo.
- Proteger la estructura subyacente de la acción dañina de las aguas de infiltración.

Funciones Complementarias:

- Restaurar pavimentos (gastados, oxidados, deformados, fisurados, etc.).
- Obtener textura antideslizante.

Principios básicos de comportamiento

- El material bituminoso debe ser aplicado en cantidad suficiente como para aglutinar y mantener firmes los fragmentos del agregado.
- El agregado debe ser aplicado de tal modo que cubra íntegramente al material bituminoso uniformemente distribuido sin excesos ni defectos.
- El grado de retención o aglutinación entre los dos materiales constituyentes debe ser capaz de impedir que el agregado sea arrancado por la acción de las ruedas.

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra.

8.1.2.1.2 Pavimentos semi-rígidos

Aunque este tipo de pavimentos guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos. El empleo de estos aditivos tiene la finalidad básica de corregir o modificar las propiedades mecánicas de Los materiales locales que no son aptos para la construcción de las capas del pavimento, teniendo en cuenta que los adecuados se encuentran a distancias tales que encarecerían notablemente los costos de construcción.

8.1.2.1.3 Pavimentos rígidos

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material

seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aún cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

Funciones de las capas de un pavimento rígido

La subbase

- La función más importante es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia de material fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas. El agua que penetra a través de las juntas licúa el suelo fino de la subrasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulantes a través de las losas.
- Servir como capa de transición y suministrar un apoyo uniforme, estable y permanente del pavimento.
- Facilitar los trabajos de pavimentación.
- Mejorar el drenaje y reducir por tanto al mínimo la acumulación de agua bajo el pavimento.
- Ayudar a controlar los cambios volumétricos de la subrasante y disminuir al mínimo la acción superficial de tales cambios volumétricos sobre el pavimento.
- Mejorar en parte la capacidad de soporte del suelo de la subrasante.

Losa de concreto

- Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta en el flexible más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que le apliquen.

8.1.2.1.4 Pavimentos articulados

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí, esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de ésta y de la magnitud y frecuencia de las cargas que circularán, por dicho pavimento.

Funciones de las capas de un pavimento articulado

La base: Es la capa colocada entre la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa le da mayor espesor y capacidad estructural al pavimento. Puede estar compuesta por dos o más capas de materiales seleccionados.

Capa de arena: Es una capa de poco espesor, de arena gruesa y limpia que se coloca directamente sobre la base; sirve de asiento a los adoquines y como filtro para el agua que eventualmente pueda penetrar por las juntas

Adoquines: Deben tener una resistencia adecuada para soportar las cargas del tránsito y en especial, el desgaste producido por éste.

Sello de arena: Está constituido por arena fina que se coloca como llenante de las juntas entre los adoquines; sirve como sello de las mismas y contribuye al funcionamiento como un todo, de los elementos de la capa de rodadura.

8.1.3 Factores a considerar en el diseño de pavimentos

8.1.3.1 Tránsito

Interesan para el dimensionamiento de los pavimentos las cargas más pesadas por eje (simple, tandem o tridem esperadas en el carril de diseño (el más solicitado, que determinará la estructura del pavimento de la carretera) durante el período de diseño adoptado. La repetición de las cargas del tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento (fatiga) son fundamentales para el cálculo. Además, se deben tener en cuenta las máximas presiones de contacto, las sollicitaciones tangenciales en tramos especiales (curvas, zonas de frenado y aceleración, etc.), las velocidades de operación de los vehículos (en especial las lentas en zonas de estacionamiento de vehículos pesados), la canalización del tránsito, etc.

La determinación del tráfico es de vital importancia para poder adelantar actividades como la de realizar el diseño adecuado de la estructura de pavimento y la evaluación del proyecto.

8.1.3.2 Subrasante

De la calidad de esta capa depende; en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea éste flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la Humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento - retracción). Los cambios de volumen de un suelo de subrasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre éste, por esta razón cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelos deberá tomarse a precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura. Otra forma de enfrentar este problema es mediante la estabilización de este tipo de suelo con algún aditivo, en nuestro medio los mejores resultados se han logrado mediante la estabilización de suelos con cal.

8.1.3.3 El clima

Los factores que en nuestro medio más afectan a un pavimento son las lluvias y los cambios de temperatura. Las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel freático influyen en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de subrasante especialmente. Este parámetro también influye en algunas actividades de construcción tales como el movimiento de tierras y la colocación y compactación de capas granulares y asfálticas.

Los cambios de temperatura en las losas de pavimentos rígidos ocasionan en éstas esfuerzos muy elevados, que en algunos casos pueden ser superiores a los generados por las cargas de los vehículos que circulan sobre ellas.

En los pavimentos flexibles y dado que el asfalto tiene una alta susceptibilidad térmica, el aumento o la disminución de temperatura puede ocasionar una modificación sustancial en el módulo de elasticidad de las capas asfálticas, ocasionando en ellas y bajo condiciones especiales, deformaciones o agrietamientos que influirían en el nivel de servicio de la vía.

8.1.3.4 Los materiales disponibles

Los materiales disponibles son determinantes para la selección de la estructura de pavimento más adecuada técnica y económicamente. Por una parte, se consideran los agregados disponibles en canteras y depósitos aluviales del área. Además de la calidad requerida, en la que se incluye la deseada homogeneidad, hay que atender al volumen disponible aprovechable, a las facilidades de explotación y al precio, condicionado en buena medida por la distancia de acarreo.

Por otra parte, se deben considerar los materiales básicos de mayor costo: ligantes y conglomerantes, especialmente.

El análisis de los costos de construcción debe complementarse con una prevención del comportamiento del pavimento durante el período de diseño, la conservación necesaria y su costo actualizado y, finalmente, una estimación de futuros refuerzos estructurales, renovaciones superficiales o reconstrucciones.

Deberá tenerse en cuenta además, los costos del usuario relacionados con su seguridad y con las demoras que se originan en carreteras relativamente congestionadas por los trabajos de conservación y repavimentación.

8.1.4 Obras de drenaje y subdrenaje en carreteras

Obras de drenaje: Las estructuras de drenaje tienen como objetivo controlar el agua que llega a la vía y la afectan por escurrimiento superficial, independientemente que las aguas hayan caído sobre o fuera de la vía.

Obras de subdrenaje: El subdrenaje en las carreteras permite reducir Los efectos desfavorables del agua interna sobre la estabilidad de las calzadas y de las explanaciones. El agua interna tiene normalmente dos orígenes, interior y exterior.

El agua puede manifestarse por ascensión capilar a partir del nivel freático (más precisamente por fenómenos de succión en fase líquida, o aún en fase vapor). Además, pueden aparecer en Los taludes o en la banca, fuentes de agua aislada o repartida que, no solamente dificultan la realización de las obras nuevas, sino que también comprometen la estabilidad de las carreteras posteriormente a su construcción.

El agua de lluvias no se evacúa totalmente por los dispositivos de drenaje superficial, parte se infiltra a través de los taludes, de las bermas u ocasionalmente del pavimento.

Los objetivos del drenaje interno de las carreteras son:

- Facilitar la ejecución de las explanaciones durante la fase de construcción de la carretera.
- Aumentar la capacidad portante de la subrasante y reducir así el espesor del pavimento.
- Contribuir en la estabilidad de los taludes mediante a orientación más favorable de los flujos de agua interna, la reducción de las presiones intersticiales y en consecuencia el mejoramiento de las propiedades geotécnicas.

9 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCION DE LA ZONA DEL PROYECTO

9.1 LOCALIZACIÓN GENERAL Y CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA

El municipio de San Francisco se encuentra ubicado al sur occidente de la República de Colombia, en las estribaciones de las montañas del macizo Colombiano y al noroccidente del departamento del Putumayo en la subregión denominada Valle de Sibundoy. Hace parte de la región Andino Amazónica y sus coordenadas geográficas son: 1°00' 21", 1°22' 42 " de latitud norte y 76°43' 46" y 76°59' 18" de longitud oeste.

La última delimitación fue ratificada por la Asamblea departamental del Putumayo, mediante ordenanza No 014 de mayo de 1996, la cual quedó así:

“Desde el nacimiento del río San Francisco en el Páramo El Cascabel, aguas abajo hasta su desembocadura en el río Putumayo; río Putumayo aguas abajo hasta su confluencia con el río Blanco; éste aguas arriba hasta su confluencia con la quebrada Cristales, éste aguas arriba hasta su nacimiento. De allí en línea recta hasta encontrar el nacimiento de la quebrada La Tortuga; éste aguas abajo hasta su desembocadura con el río Mocoa, río Mocoa aguas arriba hasta su confluencia con el río Titango, éste aguas arriba hasta su nacimiento, de allí en línea recta imaginaria hasta el nacimiento del río Cascabel en límites del departamento del Putumayo con el departamento de Nariño, siguiendo este límite en sentido sur hasta encontrar el nacimiento del río San Pedro y de allí en línea recta imaginaria hasta encontrar el nacimiento del río San Francisco, punto de partida.

Geográficamente el municipio está limitado al norte con el municipio de Mocoa y el Tablón en el departamento de Nariño; por el occidente con el Tablón Nariño, Municipios de Sibundoy, Colón y Santiago; por el sur con el municipio de Villagarzón y por el oriente con el municipio de Mocoa.

Extensión total: 573.7 Km²

Extensión área urbana: 0.5549 Km²

Extensión área rural: 573.1451 Km²

Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 2.100 m.s.n.m.
distancia de referencia: 85 Km de Mocoa, capital del departamento del Putumayo.

9.2 GEOLOGIA

Regionalmente el área de interés se encuentra sobre la unidad litológica OAS: depósitos y abanicos. Fluvio-lacustres del Valle de Sibundoy, generados por acumulación de alta y media energía formando depósitos coluviales y abanicos que producen rellenos de diferente composición que marcan bruscos cambios de pendiente. (INGEOMINAS 2001)

La geología del Valle de Sibundoy se encuentra constituida por rocas intrusivas y metamórficas del precámbrico, las cuales han sufrido intensas deformaciones y plegamientos a gran escala dando origen a fuertes cambios topográficos. Estas rocas se encuentran en contacto discordante con rocas volcánicas (extrusivas) y sedimentarias del Mesozoico; suprayaciendo estas rocas del Mesozoico se encuentran rocas más recientes pertenecientes al terciario y Cuaternario, provenientes de los diferentes focos que bordean la parte plana del Valle de Sibundoy y depósitos aluvio-coluviales que forman terrazas en ríos y quebradas. Entre los cerros que bordean el Valle de Sibundoy están, Doña Juana, Cascabel, Portachuelo y los volcanes Bordoncillo y Patascoy entre otros; estos focos se encuentran ubicados en forma lineal a lo largo de las principales zonas de falla tanto local como regional. Además el Cuaternario se caracteriza por la presencia de glaciares, las cuales acabaron de moldear las formas y rellenar los valles con depósitos denudados de los focos nombrados anteriormente.

9.3 MORFOLOGIA

San Francisco presenta una trama urbana básicamente de conformación regular de manzanas en su mayoría cuadradas en la parte central del casco urbano y rectangulares o alargadas en las zonas periféricas, ya en la parte alta del casco urbano la trama es atípica producto de la adaptación del relieve, en la parte baja de la ciudad la trama también es modificada por las condicionantes geográficas y se observa disminuida con respecto a la retícula tipo damero, que se ubica en el centro y en casi todo el casco urbano.

Un rompimiento brusco que se observa, es el que genera la vía interdepartamental, que da la sensación de partir en dos la población principalmente por el mayor flujo vehicular que se realiza por esta vía.

En el casco urbano de San Francisco se puede leer la conformación de una trama regular, modificada únicamente por adaptación al terreno en la parte sur y norte.

“El tejido se puede definir como una red o malla de carácter público que delimita áreas de uso privado. La red cumple las funciones de circulación y es el soporte

para la infraestructura de servicios. Estos espacios se denominan calles y los ensanchamientos plazas.”

La ciudad de San Francisco ha tenido una dinámica urbana que se ha venido aplacando en las últimas décadas, no ha mostrado cambios significativos en su estructura lo que ha permitido conservar el patrimonio arquitectónico.

De esta manera San Francisco se ha conformado morfológicamente como una ciudad de calles y manzanas, en donde las calles van en sentido norte - sur y las carreras en sentido oriente – occidente, con un espacio central que cumple las funciones de espacio público urbano, nodo o punto de referencia, enmarcado por los edificios institucionales y de servicios, dándole un carácter primario con respecto a las demás estructuras de la población.

9.4 POBLACIÓN

La Población CENSO 2005 Conciliada a junio 30 de 2005, es de 6.808 habitantes. La población proyectada para 2007 es de 6.917 habitantes Según el Censo 2005 la población del municipio es de 5.270 habitantes El 50% de la población son mujeres y el 50% hombres El 45% de la población vive en área rural y el 55% en el área urbana. En el municipio habitan en promedio 14,35 habitantes por Km cuadrado. El municipio de San Francisco posee una tasa de crecimiento de población promedio de 2.25% según DANE.

Tabla 9.1 Proyección de la población con base en el censo de 2005. Fuente DANE

SEC/AÑO	2005	2006	2007	2008
Total	6808	6845	6864	6890
Urbano	3713	3771	3816	3863
Rural	3095	3074	3048	3027

9.5 HIDROGRAFIA

La región cuenta con un alto potencial hidrográfico, sus principales ríos son: Putumayo, San Francisco, Blanco, Titango, Tortuga y gran cantidad de quebradas como Patoyaco, Vijagual, Sachamates, Minchoy, Agua Bonita, Cofradía, Solterayaco, Cristalina, Portachuelo, Saladoyaco entre otras.

El principal de ellos por supuesto es el río Putumayo que da origen al nombre del Departamento, cruza el Valle de Sibundoy y recoge las aguas de los 4 Municipios

que conforman la región, las corrientes se caracterizan por ser fuertes, en suelos muy permeables y que en períodos de alta pluviosidad acarrean grandes cantidades de material sedimentario, particularmente las ubicadas en cuencas del Portachuelo, Saladoyaco y Solterayaco.

9.6 CLIMA

La caracterización del clima de la región depende de la pluviosidad en la vertiente del macizo Colombiano, debido a la acción de los vientos Alisios, que contienen masas de aire caliente, que al ascender en la montaña se enfrían, ocasionando precipitaciones en la mayor parte del año; y la variada diferencia altitudinal, esto permite diferenciar cuatro zonas de vida: La parte baja, entre 750 y 850 metros sobre el nivel del mar, localizado cerca de la confluencia del río Blanco en el río Putumayo, corresponde a la zona de vida bosque muy húmedo tropical, con promedio de 24 °C.

La parte intermedia del Municipio, con altitudes inferiores a los 2.000 metros sobre el nivel del mar como Minchoy, Patoyaco, Titango, El Porotal y pequeñas zonas en la subcuenca del río Blanco, corresponde a la zona de vida bosque pluvial pre montano, con temperaturas entre 17 °C. y 24 °C.

La cabecera municipal de San Francisco y las áreas aledañas como las veredas San Isidro, Porotoyaco, Balsayaco, San José, La Menta, y las zonas montañosas entre los 2.000 y 2.740 metros de altura sobre el nivel del mar, corresponde a la zona de vida bosque húmedo montano bajo, con temperaturas entre 6 °C. y 17 °C.

Las zonas más alejadas y ubicadas a altitudes superiores a los 2.800 metros de altura sobre el nivel del mar y hasta los 3.300 metros de altura sobre el nivel del mar, en el cerro Tortuga, a pesar de que no dispone de registros meteorológicos, se puede ubicar de acuerdo al conocimiento subjetivo de la zona como bosque montano con temperaturas que oscilan entre 3 °C. y 12 °C.

9.7 ECONOMIA

Siendo un municipio poblado principalmente por campesinos de origen nariñense ha cimentado durante toda su historia una estructura económica basada en la agricultura y la ganadería.

El municipio de San Francisco es el mayor productor de leche del Valle de Sibundoy con 8.747 litros diarios, y es uno de los renglones económicos más fuertes del municipio, razón por la cual se organizó con domicilio en la vereda San Isidro la Cooperativa de Productores de Leche del Valle de Sibundoy –

COOPLEVAS empresa de economía mixta y del orden regional, que enfría, clarifica y transporta 10.000 litros de leche cada dos días hacia la ciudad de Armenia.

La sobreproducción lechera del país unida a la importación de leche en polvo han disminuido considerablemente los beneficios obtenidos con este producto, desestimulando al ganadero que ha optado por otras alternativas agrícolas como la producción de frijol y frutales.

Aunque es el único municipio del Valle de Sibundoy que desde hace más de 50 años ha explotado renglones alternativos como el industrial con la producción de cal y ladrillo quemado, debido a la limitada visión de las personas dedicadas a esta explotación, que se han dedicado a estas actividades con una cultura extractivista, sin la visión empresarial que permita una evolución tecnológica para mejorar la productividad, minimizar los impactos ambientales y ser competitivos a nivel regional y nacional, es una industria que se ha quedado en el pasado, razón por la cual no se han proyectado a otros mercados e inclusive, paulatinamente ha perdido los conquistados.

Con el inicio de la explotación de la mina de mármol en los años 70, se vislumbró una nueva dinámica económica para el municipio y la región, pero la explotación artesanal de este producto no le permitió ser competitivo a pesar de la buena calidad del mismo; a esto se sumó la escasa visión de los concesionarios, que por su insuficiente capacidad empresarial y de compromiso con la región, prefirieron trasladarse a la ciudad de Pasto para procesar el mármol y obtener sus derivados.

El municipio de San Francisco, no ha sido la excepción de la recesión económica que ha golpeado al país en los últimos años. La producción industrial de cal y ladrillo, los productos lácteos y la agricultura han sufrido una baja en su producción que ocasionan un impacto directo sobre sus habitantes con la consecuente baja de ingresos familiares, pérdida de empleo y aumento en el índice de NBI.

9.8 INFRAESTRUCTURA VIAL Y TRANSPORTE

En el casco urbano de San Francisco se cuenta con una estructura vial dinámica, en la escala de transporte intermunicipal con una vía principal asfaltada de 10 Km. hasta Sibundoy de los cuales 1.5 Km. se encuentran dentro del municipio y más exactamente en el casco urbano, en vías pavimentadas el casco urbano cuenta con 2.56 Km. de vía, en vías sin pavimentar 5.42 Km. de vía, en vías proyectadas 3.85 Km. de vías, con lo anterior nos damos cuenta que se debe mejorar la estructura vial para mejorar las condiciones de vida de algunas familias que se le dificulta acceder a sus viviendas como es el caso de los barrios el Recreo y La

Libertad, que cuentan con una sola vía de acceso respectivamente, también dentro de las vías que deben realizarse está el proyecto de una avenida circunvalar que pasaría en la parte norte del municipio y que descongestionaría la calle 2° para bienestar de la comunidad en general.

El municipio de San Francisco cuenta con una red vial favorable en la zona plana (Valle del Sibundoy), carreteras que se comunican entre sí las cuales han sido construidas y conservadas por el INCORA - HIMAT (actual INAT). De la misma manera dispone de servicios de transporte que ofrecen las empresas de Cootransmayo, Transibundoy, Transportes especiales de camperos, facilitando de esta manera la comercialización de los productos agrícolas y pecuarios. En la actualidad estas vías se encuentran en un estado de total abandono, el servicio de taxi es también la alternativa más simple para desplazarse con los municipios vecinos con tarifas económicas y buen servicio entre el municipio de San Francisco y el de Sibundoy hay cerca de 30 taxis.

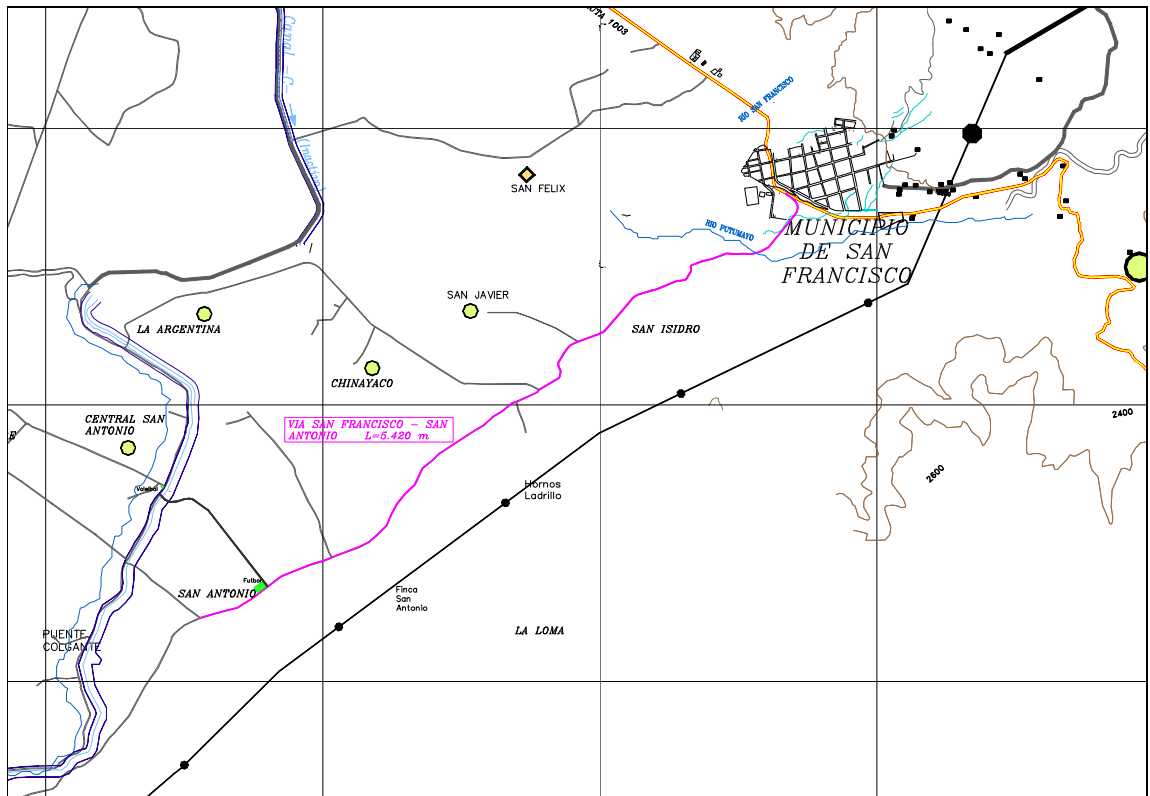
En lo que hace referencia a las veredas más distantes a la cabecera municipal, (Minchoy, Patoyaco, Titango) cuentan con un proyecto de carretera en construcción avanzado en un 10%. Por esta zona se proyecta la carretera nacional que comunicaría al municipio de San Francisco con La capital del departamento del Putumayo facilitando de esta manera la comercialización y el transporte de la producción agrícola y pecuaria también de paso integraría más las zonas distantes del municipio.

En las veredas Porotal y Bajo Porotal éstas no cuentan con vías de penetración únicamente caminos de herradura desmotivando a los propietarios de esta zona para una implementación tecnificada de cultivo especialmente lulo, tomate y ganado de leche se tiene estimado que desde el Río Blanco en el punto de Los Monos.

9.9 AREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

9.9.1 Área de influencia directa

Figura 9.1 Localización del Proyecto



El área de influencia directa del proyecto la constituye las veredas: San Isidro, Chinayaco, San Javier, Central San Antonio, San José del Chunga, San Silvestre, La Menta, La Loma, San Agustín, La Argentina y en general toda la zona suroccidental del Municipio de San Francisco que tiene que transitar por esta vía para acceder a la localidad.

9.9.2 Área de influencia indirecta

Con la pavimentación de esta importante vía se verán beneficiados todos los habitantes del municipio de San Francisco y sus visitantes, ya que podrán transitar con condiciones de comodidad y seguridad.

10 MEJORAMIENTO DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA VÍA SAN FRANCISCO – INSPECCION DE POLICÍA DE SAN ANTONIO MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO

El diseño geométrico de la vía San Francisco – Inspección de Policía de San Antonio, está encaminado a conservar en lo posible el trazado de la vía existente, es decir que se trata de un mejoramiento del diseño geométrico.

10.1 CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA

10.1.1 Clasificación de la Carretera

De acuerdo con el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008, esta carretera se clasifica como **TERCIARIA** debido a que es una vía de acceso que une la cabecera municipal de San Francisco – Inspección de Policía de San Antonio.

10.1.2 Tipo de Terreno

El terreno por donde pasa esta carretera está entre **PLANO** y **ONDULADO**, debido a que dominan las pendientes transversales al eje de la vía entre seis y trece grados (6-13°) y pendientes longitudinales en tre tres y seis por ciento (3-6%) esta carretera será diseñada sobre un TERRENO ONDULADO por ser el más dominante a lo largo de la vía.

10.1.3 Longitud de la carretera

Este estudio comprende una longitud de 2182.28 metros de carretera, la vía inicia en la abscisa K0 + 000 y termina en la abscisa K2 + 182.28

10.2 Controles para el Diseño Geométrico

10.2.1 Velocidad de diseño

“En el proceso de asignación de la velocidad de diseño se debe otorgar la máxima prioridad a la seguridad de los usuarios. Por ello la velocidad de diseño a lo largo del trazado debe ser tal que los conductores no sean sorprendidos por cambios bruscos y/o muy frecuentes en la velocidad a la que pueden realizar con seguridad el recorrido.

El diseñador, para garantizar la consistencia en la velocidad, debe identificar a lo largo del corredor de ruta tramos homogéneos a los que por las condiciones topográficas se les pueda asignar una misma velocidad. Esta velocidad, denominada velocidad de diseño del tramo homogéneo (V_{TR}), es la base para la definición de las características de los elementos geométricos incluidos en dicho tramo.

Para identificar los tramos homogéneos y establecer su velocidad de diseño (V_{TR}) se debe atender a los siguientes criterios:

- La longitud mínima de un tramo de carretera con una velocidad de diseño dada debe ser de tres (3) kilómetros para velocidades entre veinte y cincuenta kilómetros por hora (20 y 50 km/h) y de cuatro (4) kilómetros para velocidades entre sesenta y ciento diez kilómetros por hora (60 y 110 km/h).
- La diferencia de la velocidad de diseño entre tramos adyacentes no puede ser mayor a veinte kilómetros por hora (20 km/h).

No obstante lo anterior, si debido a un marcado cambio en el tipo de terreno en un corto sector del corredor de ruta es necesario establecer un tramo con longitud menor a la especificada, la diferencia de su velocidad de diseño con la de los tramos adyacentes no puede ser mayor de diez kilómetros por hora (10 km/h).³

10.2.1.1 Velocidad de diseño del tramo homogéneo (V_{TR})

“La velocidad de diseño de un tramo homogéneo (V_{TR}) está definida en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno. A un tramo homogéneo se le puede asignar una velocidad de diseño (V_{TR}) en el rango que se indica en la Tabla 10.1.”⁴

³ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 37

⁴ Ibíd., p 37

“Tabla 10.1 Valores de la velocidad de diseño de los tramos homogéneos (V_{TR}) en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno”⁵

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO V_{TR} (Km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Primaria de una calzada	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Secundaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Terciaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										

Para esta carretera terciaria y tipo de terreno ondulado, de la anterior tabla se obtiene un rango de Velocidad de Diseño de un Tramo Homogéneo V_{TR} entre 30 Km/h a 40 Km/h. Para efectos de este diseño se toma como V_{TR} el límite inferior, es decir 30 Km/h.

Para este $V_{TR} = 30$ Km/h el tramo debería contar con una longitud mínima de tramo homogéneo de 3000 metros, debido a que la longitud con la que se dispone es de 2182.28 metros inferior a la especificada se debe cumplir que “la diferencia de su velocidad de diseño con la de los tramos adyacentes no puede ser mayor de diez kilómetros por hora (10 km/h)”.

10.2.1.2 Velocidad específica de los elementos que integran el trazado en planta y perfil

“La velocidad máxima más probable con que sería abordado cada elemento geométrico es justamente su velocidad específica y es con la que se debe diseñar ese elemento. El valor de la velocidad específica de un elemento geométrico depende esencialmente de los siguientes parámetros:

- Del valor de la velocidad de diseño del tramo homogéneo (V_{TR}) en que se encuentra incluido el elemento. La condición deseable es que a la mayoría de los elementos geométricos que integran el tramo homogéneo se les pueda asignar como velocidad específica el valor de la velocidad de diseño (V_{TR}).

⁵ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 38

- De la geometría del trazado inmediatamente antes del elemento considerado, teniendo en cuenta el sentido en que el vehículo realiza el recorrido.

Para asegurar la mayor homogeneidad posible en la velocidad específica de curvas y entretangencias, lo que necesariamente se traduce en mayor seguridad para los usuarios, se obliga a que las velocidades específicas de los elementos que integran un tramo homogéneo sean como mínimo iguales a la velocidad de diseño del tramo (V_{TR}) y no superen esta velocidad en más de veinte kilómetros por hora ($V_{TR} + 20 \text{ km/h}$).⁶

“La secuencia general para la asignación de la velocidad específica de los elementos geométricos en planta y perfil es la siguiente:

A. En el proceso de diseño del eje en planta:

- Partiendo de la velocidad de diseño del tramo homogéneo adoptada (V_{TR}), asignar la Velocidad Específica a cada una de las curvas horizontales (V_{CH}).
- Partiendo de la velocidad específica asignada a las curvas horizontales (V_{CH}), asignar la velocidad específica a las entretangencias horizontales (V_{ETH}).

B. En el proceso de diseño del eje en perfil:

- Partiendo de la velocidad específica asignada a las curvas horizontales (V_{CH}) y a las entretangencias horizontales (V_{ETH}), asignar la velocidad específica a las curvas verticales (V_{CV}).
- Partiendo de la velocidad específica asignada a las entretangencias horizontales (V_{ETH}), asignar la velocidad específica a las tangentes verticales (V_{TV}).⁷

10.2.1.3 Velocidad específica de la curva horizontal (V_{CH})

“La velocidad específica de cada una de las curvas horizontales se debe establecer atendiendo a los siguientes criterios:

- La velocidad específica de una curva horizontal (V_{CH}) no puede ser menor que la velocidad de diseño del tramo ($V_{CH} \geq V_{TR}$) ni superior a ésta en veinte kilómetros por hora ($V_{CH} \leq V_{TR} + 20$).

⁶ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 39

⁷ Ibid., p 39 y 40

- La velocidad específica de una curva horizontal debe ser asignada teniendo en cuenta la velocidad específica de la curva horizontal anterior y la longitud del segmento recto anterior.”⁸

Se ha establecido que los conductores, en función de la velocidad a la que recorren una curva horizontal y la longitud del segmento recto que encuentran al salir de dicha curva, adoptan el patrón de comportamiento que se tipifica en cinco casos. Tales casos se ilustran para la situación de velocidades de diseño relativamente altas (V_{TR} entre 60 y 110 km/h) y se consignan en la Tabla 10.2. Cuando la Velocidad de Diseño del tramo (V_{TR}) es relativamente baja (entre 30 y 50 km/h) la longitud del Segmento Recto, en función de la cual los conductores toman la decisión para ajustar su velocidad, es menor, tal como se puede observar en la Tabla 10.2.

“Tabla 10.2 Velocidad específica de una curva horizontal (V_{CH}) incluida en un tramo homogéneo con velocidad de diseño (V_{TR})”⁹

Velocidad Específica de la Curva horizontal anterior V_{CH} (Km/h)	Velocidad de Diseño del Tramo (V_{TR}) ≤ 50 Km/h					Velocidad de Diseño del Tramo (V_{TR}) > 50 Km/h				
	Longitud del Segmento recto anterior (m)					Longitud del Segmento recto anterior (m)				
	$L \leq 70$	$70 < L \leq 250$		$250 < L \leq 400$	$L > 400$	$L \leq 150$	$150 < L \leq 400$		$400 < L \leq 600$	$L > 600$
		$\Delta < 45^\circ$	$\Delta \geq 45^\circ$				$\Delta < 45^\circ$	$\Delta \geq 45^\circ$		
V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$	V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$
$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$
$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$
CASO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

La asignación de la velocidad específica de las curvas horizontales (V_{CH}) se debe realizar simulando primero el desplazamiento de un vehículo en un sentido de circulación y luego en el otro. La velocidad específica que se le asigne como definitiva a una curva debe ser la mayor que resulte de la simulación en ambos sentidos.

Cabe anotar, en el caso de tratarse un diseño geométrico en planta con empalmes de tipo espiral, la longitud del segmento recto anterior corresponde al tramo recto (entretangencia) más la mitad de la longitud de espiral anterior y la mitad de la longitud de espiral siguiente.

En seguida se presenta la asignación de (V_{CH}) para lo cual se indica la abscisa de inicio y terminación de cada curva, el tipo de empalme empleado en la misma, la deflexión del alineamiento, la longitud del segmento recto anterior y la asignación de velocidades específicas en el sentido creciente, decreciente y definitiva así:

⁸ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 , p 40

⁹ Ibíd., p 43

Tabla 10.3 Asignación de velocidades específicas a curvas horizontales (V_{CH})

PI No.	Abscisa Inicio	Abscisa Fin	Tipo de Empalme	Deflexión Δc (grados)	Longitud del Segmento Recto Anterior (m)	Velocidad Específica de la Curva Horizontal V_{CH} (Km/h)		
						Sentido Creciente	Sentido Decreciente	Definitiva
1	K0+067.96	K0+127.96	Espiral - Espiral	1°32'27"	-	30	30	30
2	K0+162.19	K0+228.95	Espiral - Circulo - Espiral	23°55'35"	61.73	30	30	30
3	K0+286.60	K0+358.10	Espiral - Circulo - Espiral	24°9'58"	83.15	30	30	30
4	K0+365.44	K0+409.44	Espiral - Espiral	15°34'37"	31.34	30	30	30
5	K0+410.57	K0+454.57	Espiral - Espiral	17°47'46"	23.13	30	30	30
6	K0+458.98	K0+541.28	Espiral - Circulo - Espiral	29°57'57"	30.41	30	30	30
7	K0+584.75	K0+644.75	Espiral - Espiral	9°51'34"	73.47	30	30	30
8	K0+660.34	K0+710.34	Espiral - Espiral	6°34'48"	43.09	30	30	30
9	K0+725.35	K0+828.16	Espiral - Circulo - Espiral	59°35'38"	42.51	30	30	30
10	K0+835.84	K0+928.92	Espiral - Circulo - Espiral	65°0'20"	35.18	30	30	30
11	K1+018.33	K1+068.33	Espiral - Espiral	4°54'51"	114.41	30	30	30
12	K1+209.55	K1+315.14	Espiral - Circulo - Espiral	33°5'35"	170.22	30	30	30
13	K1+398.07	K1+454.07	Espiral - Espiral	3°13'59"	110.93	30	30	30
14	K1+556.89	K1+660.27	Espiral - Circulo - Espiral	27°15'58"	132.82	30	30	30
15	K1+836.64	K1+935.85	Espiral - Circulo - Espiral	37°38'42"	210.87	30	30	30
16	K1+996.92	K2+080.18	Espiral - Circulo - Espiral	50°57'37"	86.57	30	30	30
17	K2+087.24	K2+182.28	Espiral - Circulo - Espiral	82°33'6"	29.06	30	30	30

Como resultado del anterior procedimiento se obtuvo que para todas las curvas horizontales su velocidad específica será igual al V_{TR} o 30 Km/h.

En esencia, las velocidades específicas V_{ET} , V_{CV} y V_{TV} dependen de las V_{CH} . Como se puede evidenciar en la anterior tabla, esta carretera está constituida por una sola velocidad específica V_{CH} que corresponde a 30 Km/h y por tanto las demás velocidades específicas serán también de 30 Km/h.

A continuación se indica las teorías que permiten asignar las velocidades específicas V_{ET} , V_{CV} y V_{TV} , mas sin embargo estos procedimientos no se realizaron por lo anteriormente expuesto.

10.2.1.4 Velocidad en la entretangencia horizontal (V_{ETH})

“Para la verificación de la Distancia de visibilidad de adelantamiento (V_a) en una entretangencia horizontal y para la asignación de la Velocidad Específica de una curva vertical (V_{CV}) incluida en dicha entretangencia es necesario establecer la probable velocidad a la que circularían los vehículos por ella.

En carreteras de una calzada, un vehículo puede ingresar a la entretangencia saliendo de la curva horizontal localizada en un extremo, que tiene una determinada Velocidad Específica (V_{CH}), ó saliendo de la curva localizada en el otro extremo, que también tiene su propia Velocidad Específica (V_{CH}). Los vehículos van a circular por la entretangencia a la velocidad a la que salieron de la curva siendo críticos los que entraron a la entretangencia desde la curva horizontal que presenta la Velocidad Específica mayor.

En consecuencia, la Velocidad Específica de la entretangencia horizontal (V_{ETH}) debe ser igual a la mayor de las dos Velocidades Específicas de las curvas horizontales extremas.”¹⁰

10.2.1.5 Velocidad específica de la curva vertical (V_{CV})

“La velocidad específica de la curva vertical (V_{CV}), cóncava ó convexa, es la máxima velocidad a la que puede ser recorrida en condiciones de seguridad. Con ella se debe elegir su longitud y verificar la distancia de visibilidad de parada (D_P).

Si la curva vertical coincide con una curva horizontal que tiene una velocidad específica dada (V_{CH}), la velocidad específica de la curva vertical (V_{CV}) debe ser igual a la velocidad específica de la curva horizontal.

Si la curva vertical está localizada dentro de una entretangencia horizontal con una velocidad específica dada (V_{ETH}), la velocidad específica de la curva vertical (V_{CV}) debe ser igual a la velocidad específica de la entretangencia horizontal.”¹¹

10.2.1.6 Velocidad específica de la tangente vertical (V_{TV})

“Dado que la carretera es una sola, la velocidad específica con la que se diseñen los elementos geométricos en perfil debe coincidir con la velocidad específica asignada a los elementos geométricos en planta.

La pendiente máxima que se le puede asignar a una tangente vertical es la asociada a la velocidad específica de la entretangencia horizontal coincidente.

En consecuencia, la velocidad específica de la tangente vertical (V_{TV}) es igual a la velocidad específica de la entretangencia horizontal (V_{ETH}).”¹²

10.2.2 Vehículo de Diseño

“El diseño geométrico de una vía está orientado a definir un trazado que facilite la circulación de los vehículos tanto en el sentido longitudinal como en su ubicación en el sentido transversal de la calzada. El vehículo representativo de todos los vehículos que puedan circular por dicha vía se denomina vehículo de diseño. La selección del vehículo de diseño debe ser tal que corresponda con la composición del tránsito definida en el estudio de ingeniería de tránsito para el proyecto en estudio. Es necesario tener en cuenta que esta selección incide directamente en la definición de las dimensiones de los anchos de carril, calzada, bermas y

¹⁰ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 46

¹¹ Ibid., p 47

¹² Ibid., p 47

sobreanchos de la sección transversal, el radio mínimo de giro en el diseño de las intersecciones y el gálibo bajo las estructuras (pasos elevados).”¹³

Considerando que la vía hace parte del sector rural del municipio de San Francisco, donde se desarrollan actividades agrícolas y ganaderas se considera conveniente tomar como vehículo de diseño un camión C2G. Esta asignación también corresponde con lo observado en cuanto al tránsito que por esta vía circula.

10.2.3 Distancia de visibilidad de adelantamiento (Da)

“Se dice que un tramo de carretera tiene distancia de visibilidad de adelantamiento, cuando la distancia de visibilidad en ese tramo es suficiente para que, en condiciones de seguridad, el conductor de un vehículo pueda adelantar a otro que circula por el mismo carril a una velocidad menor, sin peligro de interferir con un tercer vehículo que venga en sentido contrario y se haga visible al iniciarse la maniobra de adelantamiento.

La distancia de visibilidad de adelantamiento debe considerarse únicamente para las carreteras de dos carriles con tránsito en las dos direcciones, donde el adelantamiento se realiza en el carril del sentido opuesto.”¹⁴

“En la Tabla 10.4 se presentan los valores mínimos recomendados para la distancia de visibilidad de adelantamiento (Da), calculados con los anteriores criterios para carreteras de dos carriles dos sentidos.

¹³ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 50

¹⁴ *Ibíd.*, p 61

Tabla 10.4 Mínima distancia de visibilidad de adelantamiento para carreteras de dos carriles dos sentidos

VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA ENTRETANGENCIA HORIZONTAL EN LA QUE SE EFECTÚA LA MANIOBRA V_{ETH} (Km/h)	VELOCIDAD DEL VEHÍCULO ADELANTADO (Km/h)	VELOCIDAD DEL VEHÍCULO QUE ADELANTADO, V (Km/h)	MÍNIMA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO D_A (m)	
			CALCULADA	REDONDEADA
20	-	-	130	130
30	29	44	200	200
40	36	51	266	270
50	44	59	341	345
60	51	66	407	410
70	59	74	482	485
80	65	80	538	540
90	73	88	613	615
100	79	94	670	670
110	85	100	727	730
120	90	105	774	775
130	94	109	812	815

Se debe procurar obtener la máxima longitud posible en que la visibilidad de adelantamiento sea superior a la mínima de la tabla anterior. Por lo tanto, como norma de diseño, se debe proyectar, para carreteras de dos carriles dos sentidos, tramos con distancia de visibilidad de adelantamiento, de manera que en tramos de cinco kilómetros, se tengan varios subtramos de distancia mayor a la mínima especificada, de acuerdo a la velocidad del elemento en que se aplica.”

De acuerdo a lo anterior, para la carretera en estudio con una velocidad específica en todas las entretangencias igual a 30 Km/h, se debe contar como mínimo con tramos rectos de longitud igual a 200 metros. Al chequear este aspecto en las entretangencias horizontales que caracterizan este diseño geométrico se puede evidenciar que ninguna de ellas satisface tal condición.

En conclusión, el diseño geométrico de esta carretera no cuenta con distancia de visibilidad de adelantamiento debido a que no se trata de un diseño nuevo sino de un mejoramiento al diseño geométrico de una carretera ya existente, donde además se tiene el gran limitante de ceñirse a dicho trazado para no generar excesivos costos de construcción y de adquisición de predios privados.

10.3 DISEÑO EN PLANTA DEL EJE DE LA CARRETERA

“Los elementos geométricos de una carretera deben estar convenientemente relacionados, para garantizar una operación segura, a una velocidad de operación continua y acorde con las condiciones generales de la vía.

Lo anterior se logra haciendo que el proyecto sea gobernado por un adecuado valor de velocidad de diseño; y, sobre todo, estableciendo relaciones cómodas entre este valor, la curvatura y el peralte. Se puede considerar entonces que el diseño geométrico propiamente dicho se inicia cuando se define, dentro de criterios técnico – económicos, la velocidad de diseño para cada Tramo homogéneo en estudio.

El alineamiento horizontal está constituido por alineamientos rectos, curvas circulares y curvas de grado de curvatura variable que permiten una transición suave al pasar de alineamientos rectos a curvas circulares o viceversa o también entre dos curvas circulares de curvatura diferente. El alineamiento horizontal debe permitir una operación segura y cómoda a la velocidad de diseño.

Durante el diseño de una carretera nueva se deben evitar tramos en planta con alineamientos rectos demasiado largos. Tales tramos son monótonos durante el día, especialmente en zonas donde la temperatura es relativamente alta, y en la noche aumenta el peligro de deslumbramiento de las luces del vehículo que avanza en sentido opuesto.”¹⁵

10.3.1 Curvas Horizontales

La carretera en estudio cuenta con un total de 17 curvas horizontales y todas con empalme espiral clotoide (empalme básico para conformar los diferentes tipos de curvas espiralizadas). En este diseño, se emplea este tipo de espiral ya que sus bondades con respecto a otros elementos geométricos curvos permiten obtener carreteras cómodas, seguras y estéticas.

Más específicamente, el alineamiento horizontal de la vía “San Francisco – Inspección de Policía San Antonio”, está compuesta por 10 curvas con empalme Espiral – Circulo – Espiral y 7 curvas con empalme Espiral – Espiral.

10.3.1.1 Empalme Espiral – Círculo – Espiral (E-C-E)

“Corresponde al empalme de dos líneas rectas con un ángulo de deflexión (Δ) mediante arcos de transición y un arco circular de Radio (R_c). Los arcos de transición corresponden a espirales Clotoides que pueden ser de igual o diferente

¹⁵ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008, p. 73

parámetro (A), es decir el empalme espiralizado puede ser simétrico de igual parámetro o asimétrico de diferente parámetro A1 y A2 para cada espiral.”¹⁶

10.3.1.2 Empalme Espiral – Espiral (E-E)

“Corresponde al empalme de dos alineamientos rectos mediante dos ramas de espiral con un radio único en el centro, pero sin tramo circular ($\Delta_c = 0$ y $L_c = 0$). Puede ser un empalme espiralizado simétrico o asimétrico, es decir los parámetros de las espirales pueden ser iguales o diferentes.”¹⁷

10.3.1.3 Radio de curvatura mínimo ($R_{c\min}$)

“El radio mínimo ($R_{c\min}$) es el valor límite de curvatura para una Velocidad Específica (V_{CH}) de acuerdo con el peralte máximo ($e_{\max}$) y el coeficiente de fricción transversal máxima ($f_{T\max}$). El Radio mínimo de curvatura solo debe ser usado en situaciones extremas, donde sea imposible la aplicación de radios mayores. El radio mínimo se calcula de acuerdo al criterio de seguridad ante el deslizamiento mediante la aplicación de la ecuación de equilibrio:

$$R_{c\min} = \frac{V_{CH}^2}{127*(e_{\max} + f_{T\max})} \quad [1]$$

En la Tabla 10.5 se indican los valores de Radio mínimo para diferentes Velocidades Específicas (V_{CH}) según el peralte máximo ($e_{\max}$) y la fricción máxima ($f_{T\max}$).

Tabla 10.5. Radios mínimos para peralte máximo $e_{\max} = 6 \%$ y fricción máxima”¹⁸

Velocidad Específica V_{CH} (Km/h)	Peralte Maximo (%)	Coeficiente de Fricción Transversal $f_{T\max}$	Total $e_{\max} + f_{T\max}$	Radio mínimo R (m)	
				Calculado	Redondeado
20	6.0	0.35	0.41	7.7	15
30	6.0	0.28	0.34	20.8	21
40	6.0	0.23	0.29	43.4	43
50	6.0	0.19	0.25	78.7	79
60	6.0	0.17	0.23	123.2	123

La anterior tabla indica que para una velocidad específica de 30 Km/h el radio mínimo con que se debe diseñar dicha curva es de 21 metros, por tanto el diseño de las curvas horizontales de esta carretera considera como valor mínimo 21 metros.

¹⁶ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008, p. 79

¹⁷ Ibíd., p 83

¹⁸ Ibíd., p.104

A continuación se muestra la asignación de radios a las curvas horizontales que integran la vía San Francisco – Inspección de Policía de San Antonio.

Tabla 10.6 Asignación de radios a curvas horizontales

PI No.	Abscisa Inicio	Abscisa Fin	Tipo de Empalme	VCH (Km/h)	Radio Mínimo (m)	Radio Asignado (m)
1	K0+067.96	K0+127.96	Espiral - Espiral	30.00	21.00	150.000
2	K0+162.19	K0+228.95	Espiral - Circulo - Espiral	30.00	21.00	100.000
3	K0+286.60	K0+358.10	Espiral - Circulo - Espiral	30.00	21.00	107.873
4	K0+365.44	K0+409.44	Espiral - Espiral	30.00	21.00	80.000
5	K0+410.57	K0+454.57	Espiral - Espiral	30.00	21.00	70.830
6	K0+458.98	K0+541.28	Espiral - Circulo - Espiral	30.00	21.00	100.000
7	K0+584.75	K0+644.75	Espiral - Espiral	30.00	21.00	145.085
8	K0+660.34	K0+710.34	Espiral - Espiral	30.00	21.00	100.000
9	K0+725.35	K0+828.16	Espiral - Circulo - Espiral	30.00	21.00	70.000
10	K0+835.84	K0+928.92	Espiral - Circulo - Espiral	30.00	21.00	60.000
11	K1+018.33	K1+068.33	Espiral - Espiral	30.00	21.00	90.000
12	K1+209.55	K1+315.14	Espiral - Circulo - Espiral	30.00	21.00	130.000
13	K1+398.07	K1+454.07	Espiral - Espiral	30.00	21.00	130.000
14	K1+556.89	K1+660.27	Espiral - Circulo - Espiral	30.00	21.00	150.000
15	K1+836.64	K1+935.85	Espiral - Circulo - Espiral	30.00	21.00	100.000
16	K1+996.92	K2+080.18	Espiral - Circulo - Espiral	30.00	21.00	70.000
17	K2+087.24	K2+182.28	Espiral - Circulo - Espiral	30.00	21.00	50.000

10.3.1.4 Relación entre los radios de Curvas Horizontales Contiguas

“Curvas sucesivas con entretangencia menor de cuatrocientos metros (400 m) se consideran dependientes, por lo tanto deben cumplir con una relación que se establece en la Tabla 10.7 para curvas de salida con Velocidad Específica (V_{CH}) < 80 km/h y para curvas de salida con Velocidad Específica (V_{CH}) $\geq$ 80 km/h. En la Tabla 10.8 se indican los valores obtenidos con la relación indicada en la Tabla 10.7

Tabla 10.7. Ecuaciones de la relación entre radios de curvas contiguas

CONDICIÓN	RADIO DE SALIDA
$V_{CH} \geq 80 \text{ Km/h}$	$1.5 \cdot R + 1.05 \cdot 10^{-8} \cdot (R-250)^3 \cdot R$ $250 < R < 700$
$V_{CH} < 80 \text{ Km/h}$	$1.5 \cdot R + 4.693 \cdot 10^{-8} \cdot (R-50)^3 \cdot R$ $50 < R < 300$

Tabla 10.8 Relación entre Radios de curvas horizontales consecutivas con entretangencia de longitud menor o igual a cuatrocientos metros (400 m)”19

VCH < 80 Km/h			VCH ≥ 80 Km/h		
RADIO DE ENTRADA (m)	RADIO DE SALIDA (m)		RADIO DE ENTRADA (m)	RADIO DE SALIDA (m)	
	MÁXIMO	MÍNIMO		MÁXIMO	MÍNIMO
50	75	50	250	375	250
60	90	50	260	390	250
70	105	50	270	405	250
80	120	53	280	420	250
90	135	60	290	435	250
100	151	67	300	450	250
110	166	73	310	466	250
120	182	80	320	481	250
130	198	87	330	497	250
140	215	93	340	513	250
150	232	100	350	529	250
160	250	106	360	545	250
170	269	112	370	562	250
180	289	119	380	579	253
190	309	125	390	596	260
200	332	131	400	614	267
210	355	137	410	633	273
220	381	143	420	652	280
230	408	149	430	671	287
240	437	154	440	692	293
250	469	160	450	713	300
260	503	165	460	735	306
270	540	171	470	758	313
280	580	176	480	781	319
290	623	181	490	806	326
300	670	186	500	832	332
310		190	510	859	338
320		195	520	887	345
330		199	530	917	351
340		204	540	948	357
350		208	550	981	363

¹⁹ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 120

360		22	560	105	369
370		216	570	1051	375
380		220	580	1089	381
390		223	590	1128	386
400		227	600	1170	392
410		231	610	1214	398
420		234	620	1260	403
430		238	640	1359	414
440		241	660	1468	424
450		244	680	1588	434
460		247	700	1720	444
470		250	720	> 1720	453
480	> 670	253	740		462
490		256	760		471
500		259	780		479
510		262	800		488
520		265	820		495
530		267	840		503
540		270	860		510
550		273	880		517
560		275	900		524
570		278	920		531
580		280	940		537
590		282	960		544
600		285	980		550
610		287	1000		556
620		289	1020		561
640		294	1040		567
660		298	1060		572
680		302	1080		578
700		306	1100		583

En seguida se presenta el proceso de corroboración de “Relación entre Radios de curvas horizontales consecutivas con entretangencia de longitud menor o igual a cuatrocientos metros” de los radios ya asignados así:

Tabla 10.9 Relación entre radios de curvas horizontales consecutivas

PI No. Analizado	Curvas Horizontales Consecutivas	Radio de Entrada (m)	Radio de la Curva Analizada			Observación
			Radio Máximo (m)	Radio Mínimo (m)	Radio Asignado (m)	
1	-	-	-	-	150.000	-
2	DEPENDIENTES	150.00	232.00	100.00	100.000	OK
3	DEPENDIENTES	100.00	151.00	67.00	107.873	OK
4	DEPENDIENTES	107.87	162.81	71.72	80.000	OK
5	DEPENDIENTES	80.00	120.00	53.00	70.830	OK
6	DEPENDIENTES	70.83	106.25	50.25	100.000	OK
7	DEPENDIENTES	100.00	151.00	67.00	145.085	OK
8	DEPENDIENTES	145.09	223.65	96.56	100.000	OK
9	DEPENDIENTES	100.00	151.00	67.00	70.000	OK
10	DEPENDIENTES	70.00	105.00	50.00	60.000	OK
11	DEPENDIENTES	60.00	90.00	50.00	90.000	OK
12	DEPENDIENTES	90.00	135.00	60.00	130.000	OK
13	DEPENDIENTES	130.00	198.00	87.00	130.000	OK
14	DEPENDIENTES	130.00	198.00	87.00	150.000	OK
15	DEPENDIENTES	150.00	232.00	100.00	100.000	OK
16	DEPENDIENTES	100.00	151.00	67.00	70.000	OK
17	DEPENDIENTES	70.00	105.00	50.00	50.000	OK

Todas las curvas horizontales presentes en esta carretera son dependientes debido a que las entretangencias que las separa son menores a los 400 metros.

Todos los radios asignados a las curvas horizontales se encuentran dentro del rango establecido con base en la “Relación entre Radios de curvas horizontales consecutivas con entretangencia de longitud menor o igual a cuatrocientos metros”. Por tanto este diseño cumple con tal condición de manera satisfactoria.

10.3.1.5 Longitud mínima de la espiral

“La longitud mínima de la espiral se puede definir mediante el parámetro mínimo de la Clotoide, el cual se establece con base en el estudio y análisis de tres criterios relacionados con la seguridad y comodidad del usuario de la vía. El valor del parámetro de diseño, se tomará de acuerdo con la envolvente superior de los valores determinados para cada uno de los criterios establecidos. Los criterios anunciados son los siguientes:

Criterio I. Variación uniforme de la aceleración centrífuga (J), no compensada por el peralte; su valor se determina mediante la siguiente relación:

$$A_{\min} = \sqrt{\frac{V_{CH} * R_c}{46.656 * J} \left(\frac{V_{CH}^2}{R_c} - 1.27(e) \right)} \quad [2]$$

Donde:

Se adoptan para J, los valores específicos dados en la Tabla 11.10

Tabla 10.10 Variación de la Aceleración centrífuga (J)

V _{CH} (Km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
J (m/s ³)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4

Criterio II. Limitación por transición del peralte, en la determinación de los valores del parámetro mínimo, se tendrá en cuenta la inclinación máxima permitida de la rampa de peraltes (Δs). Así mismo, la distancia del eje de giro al borde de calzada (a), la cual toma valores de 3.00, 3.30, 3.50 y de 3.65 metros.

$$A_{\min} = \sqrt{R * \frac{e * a}{\Delta s}} \quad [3]$$

Criterio III. Condición de percepción y de estética, la longitud de la curva de transición ha de ser suficiente para que se perciba de forma clara el cambio de curvatura, orientando adecuadamente al conductor y creando alineamientos armoniosos.

Para ello, es necesario que se cumplan los siguientes requisitos:

- **Criterio III.1.** Se asume el disloque mínimo de 0.25 m.

$$A_{\min} \geq \sqrt[4]{6 * R^3} \quad [4]$$

- **Criterio III.2.** Angulo de giro de la espiral mínimo de 3 grados, $\theta_e \geq 3$ grados

$$A_{\min} = 0.3236 * R \quad [5]$$

Donde:

A_{mín}: Parámetro mínimo, en metros.

V_{CH}: Velocidad Específica de la curva horizontal, en km/h.

R_c: Radio de cálculo de la clotoide, en metros.

J: Variación de la aceleración centrífuga, en m/s^3 .

e: Peralte de la curva, en porcentaje (%).

a: Distancia del eje de giro al borde de la calzada, (m)

Δs : Inclinación de la rampa de peraltes, (%).

- a) Además, el valor máximo del parámetro ($A_{\text{máx}}$), debe ser igual a 1.1 veces el radio de cálculo de la espiral: $A_{\text{máx.}} = 1.1 R$
- b) Para terrenos de topografía muy difícil, en los cuales sólo tienen aplicación radios pequeños, es indispensable colocar mayores anchos de calzada, para mantener condiciones de conducción favorables al usuario de vehículos pesados tipo camión.
- c) En algunos casos excepcionales, puede ser necesario utilizar valores inferiores a los estipulados en los puntos anteriores, llegándose a un mínimo radio del eje de la calzada de 12.50 metros y el borde interior no menor a 5.30 metros. El valor del parámetro del arco de transición podrá entonces estar contenido en el rango comprendido entre $R < A < 1.2 R$, donde A es el parámetro de la clotoide, en metros; y R es el radio último de la clotoide, por el eje, en metros.”²⁰

En seguida se presenta la asignación de las longitudes espirales considerando los valores mínimos y máximos determinados a partir de la anterior teoría.

²⁰ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 88 - 91

Tabla 10.11 Asignación de longitud de espirales

PI No.	Tipo de empalme	Peralte e% (Diseño)	Radio R (m)	Ve (m/s)	Criterio I A mín (m)	Criterio II A mín (m)	Criterio III1 A mín (m)	Criterio III2 A mín (m)	Envolvente superior A mín (m)	A max = 1.1R (m)	Le mín (m)	Le máx (m)	Le Asignado (m)	Observación
1	Espiral - Espiral Simétrica	3.2	150.000	30.00	16.33	35.18	67.08	48.54	67.08	165.00	30.00	181.50	30.00	OK
2	Espiral - Circulo - Espiral Simétrica	3.8	100.000	30.00	19.58	31.30	49.49	32.36	49.49	110.00	24.49	121.00	25.00	OK
3	Espiral - Circulo - Espiral Simétrica	3.7	107.87	30.00	19.00	36.62	52.39	34.91	52.39	118.66	25.44	130.52	26.00	OK
4	Espiral - Espiral Simétrica	4.0	80.000	30.00	21.29	28.72	41.87	25.89	41.87	88.00	21.91	96.80	22.00	OK
5	Espiral - Espiral Simétrica	4.2	70.830	30.00	21.90	27.69	38.21	22.92	38.21	77.91	20.62	85.70	22.00	OK
6	Espiral - Circulo - Espiral Simétrica	3.8	100.000	30.00	19.58	31.30	49.49	32.36	49.49	110.00	24.49	121.00	30.00	OK
7	Espiral - Espiral Simétrica	3.3	145.085	30.00	16.38	35.13	65.43	46.95	65.43	159.59	29.50	175.55	30.00	OK
8	Espiral - Espiral Simétrica	3.8	100.000	30.00	19.58	31.30	49.49	32.36	49.49	110.00	24.49	121.00	25.00	OK
9	Espiral - Circulo - Espiral Simétrica	4.2	70.000	30.00	21.99	27.53	37.88	22.65	37.88	77.00	20.49	84.70	30.00	OK
10	Espiral - Circulo - Espiral Simétrica	4.5	60.000	30.00	22.62	26.38	33.74	19.42	33.74	66.00	18.97	72.60	25.00	OK
11	Espiral - Espiral Simétrica	3.9	90.000	31.00	22.11	30.08	45.73	29.12	45.73	99.00	23.24	108.90	25.00	OK
12	Espiral - Circulo - Espiral Asimétrica	3.4	130.00	30.00	17.64	33.76	60.26	42.07	60.26	143.00	27.93	157.30	33.00	OK
					17.64	33.76	60.26	42.07	60.26	143.00	27.93	157.30	28.00	OK
13	Espiral - Espiral Simétrica	3.4	130.000	30.00	17.64	33.76	60.26	42.07	60.26	143.00	27.93	157.30	28.00	OK
14	Espiral - Circulo - Espiral Simétrica	3.2	150.000	30.00	16.33	35.18	67.08	48.54	67.08	165.00	30.00	181.50	32.00	OK
15	Espiral - Circulo - Espiral Asimétrica	3.8	100.00	30.00	19.58	31.30	49.49	32.36	49.49	110.00	24.49	121.00	37.00	OK
					19.58	31.30	49.49	32.36	49.49	110.00	24.49	121.00	30.00	OK
16	Espiral - Circulo - Espiral Simétrica	4.2	70.000	30.00	21.99	27.53	37.88	22.65	37.88	77.00	20.49	84.70	21.00	OK
17	Espiral - Circulo - Espiral Simétrica	4.8	50.000	30.00	23.38	24.87	29.43	16.18	29.43	55.00	17.32	60.50	23.00	OK

10.3.1.6 Curvas Espirales

El diseño geométrico en planta de esta carretera está constituido en su totalidad por curvas espirales, razón por la cual es necesario considerar dentro de su proyección ciertos parámetros que las caracterizan y que son muy importantes para asegurar un recorrido seguro, cómodo, económico y rápido por la vía.

10.3.1.6.1 Empalme Espiral – Círculo – Espiral

- Longitud del Empalme Circular:

$$L_c = \Delta c \cdot Rc; \Delta c \text{ en radianes} \quad [6]$$

La longitud mínima aceptable del tramo circular para la espiral – círculo – espiral, simétrica, es la correspondiente a la distancia que pueda recorrer un vehículo a la Velocidad Específica V_{CH} del elemento durante dos segundos (2s), es decir:

$$L_c \text{ mín} = 0.556 \times V_{CH}; V_{CH}: \text{Velocidad Específica en Km/h}^{21}$$

Como todas las curvas horizontales de esta vía presentan una V_{CH} de 30 Km/h, la longitud mínima del empalme circular corresponde a **16.68 metros**. Bajo esta condición se realiza el diseño de aquellas curvas horizontales que tengan empalme espiral – círculo – espiral y dicho procedimiento se indica en seguida:

Tabla 10.12 Asignación de longitudes circulares L_c en empalmes E-C-E

PI No.	Abscisa Inicio	Abscisa Fin	Tipo de Empalme	Longitud Circular L_c mín (m)	Longitud Circular L_c Asignada (m)	Observación
2	K0+162.19	K0+228.95	Espiral - Círculo - Espiral	16.68	16.76	OK
3	K0+286.60	K0+358.10	Espiral - Círculo - Espiral	16.68	19.50	OK
6	K0+458.98	K0+541.28	Espiral - Círculo - Espiral	16.68	22.30	OK
9	K0+725.35	K0+828.16	Espiral - Círculo - Espiral	16.68	42.81	OK
10	K0+835.84	K0+928.92	Espiral - Círculo - Espiral	16.68	43.07	OK
12	K1+209.55	K1+315.14	Espiral - Círculo - Espiral	16.68	44.59	OK
14	K1+556.89	K1+660.27	Espiral - Círculo - Espiral	16.68	39.38	OK
15	K1+836.64	K1+935.85	Espiral - Círculo - Espiral	16.68	32.20	OK
16	K1+996.92	K2+080.18	Espiral - Círculo - Espiral	16.68	41.26	OK
17	K2+087.24	K2+182.28	Espiral - Círculo - Espiral	16.68	49.04	OK

²¹ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Santafé de Bogotá, Agosto de 1998, p. 79

10.3.1.6.2 Empalme Espiral – Espiral

“Este tipo de empalme está limitado a casos en que la deflexión total (Δ) no exceda de veinte grados (20°). Además, el ángulo θ_e de cada una de las espirales estará limitado a un valor máximo de diez grados (10°) y prefiriendo utilizar el empalme espiral – espiral simétrico al asimétrico.”²²

Por lo anterior, en el presente diseño geométrico de la vía San Francisco – Inspección de Policía de San Antonio, se concebirán como curvas horizontales con empalme Espiral – Espiral cuyos PI's presenten una deflexión del alineamiento inferior a los 20 grados, tal como se indica en seguida:

Tabla 10.13 Curvas horizontales diseñadas con empalme espiral – espiral ($\Delta c \leq 20^\circ$)

PI No.	Abscisa Inicio	Abscisa Fin	Deflexión Δc (grados)	Tipo de Empalme a Emplear
1	K0+067.96	K0+127.96	1°32'27"	Espiral - Espiral
4	K0+365.44	K0+409.44	15°34'37"	Espiral - Espiral
5	K0+410.57	K0+454.57	17°47'46"	Espiral - Espiral
7	K0+584.75	K0+644.75	9°51'34"	Espiral - Espiral
8	K0+660.34	K0+710.34	6°34'48"	Espiral - Espiral
11	K1+018.33	K1+068.33	4°54'51"	Espiral - Espiral
13	K1+398.07	K1+454.07	3°13'59"	Espiral - Espiral

10.3.1.7 Transición del Peralte

10.3.1.7.1 Peralte Máximo

“Cuando un vehículo circula por una curva horizontal a una velocidad dada, el diseño de la vía en dicha curva debe garantizar al conductor un recorrido seguro y confortable. Para lograr este objetivo es necesario recurrir a las leyes de la física mediante la ecuación de equilibrio, esta permite definir la relación entre el radio (R_c) de la curva horizontal, la Velocidad Específica (V_{CH}), el peralte (e) y la fricción transversal (f_T), con la cual se tiene el equilibrio de las fuerzas que participan en la circulación del vehículo en la curva evitando el deslizamiento hacia la parte externa de la curva. La ecuación de la curva es la siguiente:

$$R_c = \frac{V_{CH}^2}{127 * (e + f_T)} \quad [7]$$

²² INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 83

Donde:

R_c: Radio de la curva circular, en metros.

V_{CH}: Velocidad Específica para la que se diseña la curva, en km/h.

e: Peralte de la calzada en la curva, en tanto por uno.

f_t: Coeficiente de fricción transversal.”²³

“Para carreteras Terciarias

En carreteras Terciarias, especialmente en terreno montañoso y escarpado, es difícil disponer de longitudes de entretangencia amplias, por lo que no es fácil hacer la transición de peralte. Por lo anterior se considera que el peralte máximo más adecuado para este caso es de seis por ciento (6%).”²⁴

10.3.1.7.2 “Valor del Peralte (e) en función de la Velocidad Específica de la curva horizontal (V_{CH}) y el Radio de curvatura adoptado (R_c)

A cada una de las curvas horizontales se le asigna su Velocidad Específica atendiendo a los criterios consignados en el Capítulo 2 del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 y la Relación entre los Radios de curvas horizontales contiguas.

Una vez asignada la Velocidad Específica (V_{CH}) a cada curva horizontal y con el Radio de curvatura elegido (R_c), que se supone es el que permite ajustar de la mejor manera la trayectoria de la curva a la topografía del terreno, es necesario asignar el peralte que debe tener dicha curva para que con su Radio (R_c) permita que los vehículos puedan circular con plena seguridad a la Velocidad Específica (V_{CH}). Para ello, el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 ha adoptado el criterio de la AASHTO denominado Método 5, incluido en su versión AASHTO – 2004. Éste método involucra el principio fundamental de que cuando un vehículo recorre una trayectoria curva la compensación de la fuerza centrífuga es realizada fundamentalmente por el peralte de la calzada y cuando el peralte ya resulta insuficiente, completa lo requerido para la compensación de la fuerza centrífuga demandando fricción transversal.

Lo anterior implica que para curvas de Radios superiores al mínimo, la fricción transversal demandada no es la fricción transversal máxima (f_{Tmáx}) sino que su valor es establecido en el Método 5 mediante una función parabólica.

²³ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 102

²⁴ Ibíd., p 103

En la Tabla 10.14 se presenta el valor del peralte en función de la V_{CH} y el R_c para carreteras Terciarias ($e_{m\acute{a}x} = 6\%$).

Tabla 10.14 Radios (R_c) según Velocidad Especifica (V_{CH}) y Peralte (e) para $e_{m\acute{a}x}=6\%$.²⁵

e (%)	$V_{CH} = 20 \text{ Km/h}$ R(m)	$V_{CH} = 30 \text{ Km/h}$ R(m)	$V_{CH} = 40 \text{ Km/h}$ R(m)	$V_{CH} = 50 \text{ Km/h}$ R(m)	$V_{CH} = 60 \text{ Km/h}$ R(m)
1.5	194	421	738	1050	1440
2.0	138	299	525	750	1030
2.2	122	265	465	668	919
2.4	109	236	415	599	825
2.6	97	212	372	540	746
2.8	87	190	334	488	676
3.0	78	170	300	443	615
3.2	70	152	269	402	561
3.4	61	133	239	364	511
3.6	51	113	206	329	465
3.8	42	96	177	294	422
4.0	36	82	155	261	380
4.2	31	72	136	234	343
4.4	27	63	121	210	311
4.6	24	56	108	190	283
4.8	21	50	97	172	258
5.0	19	45	88	156	235
5.2	17	40	79	142	214
5.4	15	36	71	128	195
5.6	15	32	63	115	176
5.8	15	28	56	102	156
6.0	15	21	43	79	123

A continuación se presenta la asignación de peralte para las curvas horizontales que conforman el diseño geométrico de esta carretera.

²⁵ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 103

Tabla 10.15 Asignación de peralte a curvas horizontes

PI No.	Abscisa Inicio	Abscisa Fin	VCH (Km/h)	Radio Asignado (m)	Peralte Teórico e (%)	Peralte Asignado e(%)
1	K0+067.96	K0+127.96	30.00	150.000	3.2	3.2
2	K0+162.19	K0+228.95	30.00	100.000	3.8	3.8
3	K0+286.60	K0+358.10	30.00	107.873	3.7	3.7
4	K0+365.44	K0+409.44	30.00	80.000	4.0	4.0
5	K0+410.57	K0+454.57	30.00	70.830	4.2	4.2
6	K0+458.98	K0+541.28	30.00	100.000	3.8	3.8
7	K0+584.75	K0+644.75	30.00	145.085	3.3	3.3
8	K0+660.34	K0+710.34	30.00	100.000	3.8	3.8
9	K0+725.35	K0+828.16	30.00	70.000	4.2	4.2
10	K0+835.84	K0+928.92	30.00	60.000	4.5	4.5
11	K1+018.33	K1+068.33	30.00	90.000	3.9	3.9
12	K1+209.55	K1+315.14	30.00	130.000	3.4	3.4
13	K1+398.07	K1+454.07	30.00	130.000	3.4	3.4
14	K1+556.89	K1+660.27	30.00	150.000	3.2	3.2
15	K1+836.64	K1+935.85	30.00	100.000	3.8	3.8
16	K1+996.92	K2+080.18	30.00	70.000	4.2	4.2
17	K2+087.24	K2+182.28	30.00	50.000	4.8	4.8

10.3.1.7.3 “Transición del Peralte

Las longitudes de transición se consideran a partir del punto donde el borde exterior del pavimento comienza a elevarse partiendo de un bombeo normal, hasta el punto donde se forma el peralte total de la curva. La longitud de transición está constituida por dos tramos principales: 1) la distancia (N) necesaria para levantar el borde exterior, del bombeo normal a la nivelación con el eje de la vía, llamado aplanamiento y 2) la distancia (L) necesaria para pasar de este punto al peralte total en la curva circular. La longitud total de transición se define mediante la siguiente expresión:

$$Lt = L + N \quad [8]$$

$$N = \frac{BN*L}{e_f} \quad [9]$$

Donde:

Lt: Longitud total de transición, en metros.

L: Longitud del punto donde el peralte es cero al punto del peralte total en la curva circular, en metros.

N: Aplanamiento, en metros.

BN: Bombeo normal (vía pavimentada BN = 2%)

er: Peralte total, en porcentaje (%).²⁶

En la tabla siguiente se determina el cálculo para la longitud de transición del peralte con base en la anterior ecuación.

Tabla 10.16 Longitud de transición de peralte en curvas horizontales

PI No.	Abscisa Inicio	Abscisa Fin	Peralte e%	Longitud Le (m)	Longitud de Transición de Peralte (m)
1	K0+067.96	K0+127.96	3.2	30.00	48.75
2	K0+162.19	K0+228.95	3.8	25.00	38.16
3	K0+286.60	K0+358.10	3.7	26.00	40.05
4	K0+365.44	K0+409.44	4.0	22.00	33.00
5	K0+410.57	K0+454.57	4.2	22.00	32.48
6	K0+458.98	K0+541.28	3.8	30.00	45.79
7	K0+584.75	K0+644.75	3.3	30.00	48.18
8	K0+660.34	K0+710.34	3.8	25.00	38.16
9	K0+725.35	K0+828.16	4.2	30.00	44.29
10	K0+835.84	K0+928.92	4.5	25.00	36.11
11	K1+018.33	K1+068.33	3.9	25.00	37.82
12	K1+209.55	K1+315.14	3.4	33.00	52.41
				28.00	44.47
13	K1+398.07	K1+454.07	3.4	28.00	44.47
14	K1+556.89	K1+660.27	3.2	32.00	52.00
15	K1+836.64	K1+935.85	3.8	37.00	56.47
				30.00	45.79
16	K1+996.92	K2+080.18	4.2	21.00	31.00
17	K2+087.24	K2+182.28	4.8	23.00	32.58

10.3.1.7.4 “Rampa de Peralte

Se define la rampa de peralte como la diferencia relativa que existe entre la inclinación del eje longitudinal de la calzada y la inclinación del borde de la misma, y se determina por:

$$\Delta s = a \times \left(\frac{ef - ei}{L} \right) \quad [10]$$

²⁶ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 108

Donde:

Δs : Inclínación longitudinal de la rampa de peraltes, en porcentaje (%).

L: Longitud de transición, $L = L_t - N$, en metros.

e_r : Peralte al finalizar el tramo de transición o peralte total, en porcentaje (%).

e_i : Peralte al iniciar el tramo de transición, en porcentaje (%).

a: Distancia del eje de giro al borde exterior de la calzada, en metros.

Para los valores de “a” se debe tener en cuenta el número de carriles que giran alrededor del eje de giro y el tipo de rotación. Para curvas circulares compuestas e_i es igual al peralte de la curva inicial y e_r el peralte de la curva siguiente, para curvas espiralizadas o circulares simples e_i es igual a cero (0%) y e_r el peralte total en la curva circular.

Estos valores de la inclinación de la rampa garantizan no solamente la comodidad de la marcha de los vehículos, sino una adecuada apariencia de la carretera y cualquiera que sea el sistema seguido para conformar el peralte total, no deben ser excedidos.

La Tabla 11.17 presenta los valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para la rampa de peraltes. La pendiente mínima, está determinada, para cualquier velocidad de diseño como la décima parte de la distancia entre el eje de giro y el borde de la calzada.

Tabla 10.17 Valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para rampas de peraltes

VELOCIDAD ESPECÍFICA (V_{ch}) (km/s)	PENDIENTE RELATIVA DE LA RAMPA DE PERALTES Δs	
	Máxima (%)	Mínima (%)
20	1.35	0,1*a
30	1.28	
40	0.96	
50	0.77	
60	0.60	
70	0.55	
80	0.50	
90	0.47	
100	0.44	
110	0.41	
120	0.38	
130	0.38	

En seguida se presenta la asignación de la rampa de peraltes para el diseño geométrico de la vía San Francisco – Inspección de Policía de San Antonio.

Tabla 10.18 Chequeo de rampa de peraltes

PI No.	Abscisa Inicio	Abscisa Fin	Longitud Le (m)	Peralte e%	Distancia a (m)	ΔS max	ΔS min	ΔS Asignada (%)	Observación
1	K0+067.96	K0+127.96	30.00	3.2	3.0	1.28	0.30	0.32	OK
2	K0+162.19	K0+228.95	25.00	3.8	3.0	1.28	0.30	0.46	OK
3	K0+286.60	K0+358.10	26.00	3.7	3.0	1.28	0.30	0.43	OK
4	K0+365.44	K0+409.44	22.00	4.0	3.0	1.28	0.30	0.55	OK
5	K0+410.57	K0+454.57	22.00	4.2	3.0	1.28	0.30	0.57	OK
6	K0+458.98	K0+541.28	30.00	3.8	3.0	1.28	0.30	0.38	OK
7	K0+584.75	K0+644.75	30.00	3.3	3.0	1.28	0.30	0.33	OK
8	K0+660.34	K0+710.34	25.00	3.8	3.0	1.28	0.30	0.46	OK
9	K0+725.35	K0+828.16	30.00	4.2	3.0	1.28	0.30	0.42	OK
10	K0+835.84	K0+928.92	25.00	4.5	3.0	1.28	0.30	0.54	OK
11	K1+018.33	K1+068.33	25.00	3.9	3.0	1.28	0.30	0.47	OK
12	K1+209.55	K1+315.14	33.00	3.4	3.0	1.28	0.30	0.31	OK
			28.00			1.28	0.00	0.36	OK
13	K1+398.07	K1+454.07	28.00	3.4	3.0	1.28	0.30	0.36	OK
14	K1+556.89	K1+660.27	32.00	3.2	3.0	1.28	0.30	0.30	OK
15	K1+836.64	K1+935.85	37.00	3.8	3.0	1.28	0.30	0.31	OK
			30.00			1.28	0.30	0.38	OK
16	K1+996.92	K2+080.18	21.00	4.2	3.0	1.28	0.30	0.60	OK
17	K2+087.24	K2+182.28	23.00	4.8	3.0	1.28	0.30	0.63	OK

10.3.2 “Entretangencia Horizontal

10.3.2.1 Entretangencia mínima

- Para curvas de distinto Sentido

Considerando el empleo de curvas espirales, se puede prescindir de tramos de entretangencia rectos.

Si el alineamiento se hace con curvas circulares únicamente, la longitud de entretangencia debe satisfacer la mayor de las condiciones dadas por la longitud de transición, de acuerdo con los valores de pendiente máxima para rampa de peraltes y por la distancia recorrida en un tiempo de 5 segundos (5 s) a la menor de las Velocidades Específicas (V_{CH}) de las curvas adyacentes a la entretangencia en estudio.

- Para curvas del mismo sentido

En el diseño con curvas espirales la entretangencia no puede ser menor a la distancia recorrida en un tiempo de 5 segundos (5 s) a la Velocidad Específica de la entretangencia horizontal (V_{ETH}).

Para diseños con curvas circulares, especialmente en terreno plano, la entretangencia no puede ser menor al espacio recorrido en un tiempo no menor de quince segundos (15 s) a la Velocidad Específica de la entretangencia horizontal (V_{ETH}).

Por su misma naturaleza, las curvas del mismo sentido se deben considerar indeseables en cualquier proyecto de carreteras, por la inseguridad y disminución de la estética que representan. Ya que por dificultades del terreno, son a veces imposibles de evitar, se debe intentar siempre el reemplazo de dos curvas del mismo sentido por una sola curva que las envuelva.

10.3.2.2 Entretangencia máxima

Se deben acondicionar entretangencias suficientemente largas que permitan cumplir con la Distancia de Visibilidad de Adelantamiento (D_a), pero en el caso que se excedan estas distancias por razones propias del diseño es necesario procurar que la longitud máxima de recta no sea superior a quince (15) veces la Velocidad Específica de la entretangencia horizontal (V_{ETH}) expresada en kilómetros por hora (km/h). Este criterio se aplica de igual forma para curvas de igual sentido como para curvas de diferente sentido.”²⁷

El chequeo de este parámetro dentro del diseño geométrico de la vía San Francisco – Inspección de Policía de San Antonio está basado sobre curvas espirales. Para lo cual, si la entretangencia se encuentra entre dos curvas del mismo sentido su valor puede ser mayor o igual a cero. Por el contrario, si la entretangencia se encuentra en medio de dos curvas del mismo sentido su valor debe ser como mínimo de 5 segundos a la Velocidad Específica (V_{ETH}) y como las (V_{ETH}) para toda la vía son iguales a 30 Km/h se tendrá que garantizar una distancia de por lo menos 41.67 metros para este tipo de entretangencias.

La longitud máxima corresponde a 15 veces la (V_{ETH}), es decir 450 metros para $V_{ETH} = 30$ Km/h.

A continuación se presenta dicho chequeo, para lo cual se indicara: la abscisa de inicio y terminación de cada entretangencia a chequear, si las curvas que la

²⁷ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 120

rodean son o no de igual sentido, la longitud mínima y máxima que debería tener, la longitud existente y de ser necesario una observación.

Tabla 10.19 Chequeo de entretangencias; longitud mínima y máxima

Entratan. No.	Abscisa Inicio	Abscisa Fin	Curvas de Igual Sentido	Longitud Mínima	Longitud Máxima (m)	Longitud Asignada (m)	Observación
1	K0+127.96	K0+162.19	SI	41.67	450.00	34.23	No cumple
2	K0+228.95	K0+286.60	SI	41.67	450.00	57.65	OK
3	K0+358.10	K0+365.44	NO	0.00	450.00	7.34	OK
4	K0+409.44	K0+410.57	NO	0.00	450.00	1.13	OK
5	K0+454.57	K0+458.98	NO	0.00	450.00	4.41	OK
6	K0+541.28	K0+584.75	NO	0.00	450.00	43.47	OK
7	K0+644.75	K0+660.34	NO	0.00	450.00	15.59	OK
8	K0+710.34	K0+725.35	SI	41.67	450.00	15.01	No cumple
9	K0+828.16	K0+835.84	NO	0.00	450.00	7.68	OK
10	K0+928.92	K1+018.33	NO	0.00	450.00	89.41	OK
11	K1+068.33	K1+209.55	SI	41.67	450.00	141.22	OK
12	K1+315.14	K1+398.07	NO	0.00	450.00	82.93	OK
13	K1+454.07	K1+556.89	SI	41.67	450.00	102.82	OK
14	K1+660.27	K1+836.64	NO	0.00	450.00	176.37	OK
15	K1+935.85	K1+996.92	SI	41.67	450.00	61.07	OK
16	K2+080.18	K2+087.24	NO	0.00	450.00	7.06	OK

Como se puede observar en la tabla anterior, la mayoría de las entretangencias cumplen con longitud mínima y longitud máxima y tan solo dos presentan longitudes por fuera del rango establecido para las mismas. Lo anterior se debe a que este diseño está encaminado a conservar en lo posible el trazado de la vía existente para no elevar costos en su construcción, compra de predios privados y demás.

10.4 DISEÑO EN PERFIL DEL EJE DE LA CARRETERA

El alineamiento vertical está formado por una serie de rectas empalmadas por arcos parabólicos, a los que dichas rectas son tangentes. La pendiente de las rectas verticales y la longitud de las curvas dependen básicamente de la configuración topográfica del terreno, del alineamiento horizontal, de la visibilidad de parada, de la velocidad del proyecto, de los costos de construcción, de los costos de operación y del porcentaje de vehículos pesados.

Gracias a que las Velocidades Específicas de los elementos que integran el alineamiento vertical de esta vía son iguales a las de los elementos del alineamiento horizontal y todas a su vez igual al VTR de 30 Km/h, el diseño de estos dos alineamientos es consistente y balanceado.

El diseño geométrico en perfil de la vía San Francisco – Inspección de Policía de San Antonio consta de 13 curvas verticales de las cuales 8 tienen su inflexión de tipo cóncava y las restantes su inflexión es de tipo convexa, también consta de 13 entretangencias verticales con pendientes entre 0.47 % y 5.50 %.

10.4.1 Pendiente

10.4.1.1 Pendiente Mínima

“La pendiente mínima longitudinal de la rasante debe garantizar especialmente el escurrimiento fácil de las aguas lluvias en la superficie de rodadura y en las cunetas. La pendiente mínima que garantiza el adecuado funcionamiento de las cunetas debe ser de cero punto cinco por ciento (0.5%) como pendiente mínima deseable y cero punto tres por ciento (0.3%) para diseño en terreno plano o sitios donde no es posible el diseño con la pendiente mínima deseable. En la selección de uno de los dos valores anteriores se debe tener en cuenta el criterio de frecuencia, intensidad de las lluvias y el espaciamiento de las obras de drenaje tales como alcantarillas y aliviaderos.”²⁸

10.4.1.2 Pendiente Máxima

“La pendiente máxima de una tangente vertical está en relación directa con la velocidad a la que circulan los vehículos, teniendo en dicha velocidad una alta incidencia el tipo de vía que se desea diseñar. Para vías Primarias las pendientes máximas se establecen considerando velocidades altas, entre sesenta y ciento treinta kilómetros por hora (60 - 130 km/h). En las vías Terciarias las pendientes máximas se ajustan a velocidades entre veinte y sesenta kilómetros por hora (20 - 60 km/h), en donde la necesidad de minimizar los movimientos de tierra y pobre superficie de rodadura son las condiciones dominantes.

Para la selección de la pendiente máxima de una tangente vertical en particular, está asociada a la Velocidad Específica de la tangente vertical (V_{TV}). En la Tabla 10.20 se indican los valores de la pendiente máxima permitida, que depende de la categoría de la carretera y la Velocidad Específica de la tangente vertical (V_{TV}).

²⁸ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 127

Tabla 10.20 Relación entre la pendiente máxima (%) y la Velocidad Específica de la tangente vertical (VTV)

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	VELOCIDAD ESPECIFICA DE LA TANGENTE VERTICAL VTV (Km/h)											
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Primaria de dos calzadas	-	-	-	-	-	6	6	6	5	5	4	4
Primaria de una calzada	-	-	-	-	8	7	6	6	5	5	5	-
Secundaria	-	-	10	9	8	7	6	6	6	-	-	-
Terciaria	14	12	10	10	10	-	-	-	-	-	-	-

Los valores indicados en la Tabla 10.20, que corresponden a los valores máximos para una tangente vertical, pueden ser aumentados en dos por ciento (2%) cuando en una tangente vertical de pendiente máxima se diseñan dos curvas verticales consecutivas, una convexa y la siguiente cóncava o viceversa. Además, no existe segmento recto vertical entre tales curvas verticales consecutivas o lo que es lo mismo, el PTV de la curva anterior coincide con el PCV de la siguiente.

Para ser más explícitos, toda la longitud de la tangente vertical, de PIV a PIV, está cubierta por la rama de salida de la curva vertical anterior y por la rama de entrada de la curva vertical siguiente.²⁹

El diseño en perfil de esta carretera tendrá como pendiente mínima 0.5 % y como pendiente máxima 12 % valores determinados para las condiciones de carretera terciaria y velocidades específicas V_{TV} de 30 Km/h.

A continuación se presenta el cumplimiento de la pendiente mínima y pendiente máxima de las 13 entretangencias verticales así:

²⁹ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 127

Tabla 10.21 Asignación de pendientes a entretangencias verticales

Entratan. Vertical No.	Abscisa Inicio	Abscisa Fin	Pendiente Mínima (%)	Pendiente Máxima (%)	Pendiente Asignada (%)
1	PR0+000.00	PR0+086.49	0.50	12.00	-3.74
2	PR0+116.49	PR0+177.96	0.50	12.00	-2.14
3	PR0+207.96	PR0+525.00	0.50	12.00	-2.93
4	PR0+555.00	PR0+596.75	0.50	12.00	-1.40
5	PR0+626.75	PR0+656.01	0.50	12.00	-2.27
6	PR0+786.01	PR0+904.22	0.50	12.00	5.05
7	PR1+034.21	PR1+331.41	0.50	12.00	-1.70
8	PR1+361.41	PR1+388.60	0.50	12.00	-0.59
9	PR1+428.60	PR1+523.35	0.50	12.00	0.96
10	PR1+553.36	PR1+652.45	0.50	12.00	1.76
11	PR1+682.45	PR1+758.27	0.50	12.00	1.01
12	PR1+848.27	PR1+913.32	0.50	12.00	-1.07
13	PR2+003.32	PR1+082.50	0.50	12.00	2.66

10.4.2 Longitud mínima y máxima de tangentes Verticales

10.4.2.1 Longitud Mínima

“La longitud mínima de las tangentes verticales con Velocidad Específica menor o igual a cuarenta kilómetros por hora ($V_{TV} \leq 40$ km/h) será equivalente a la distancia recorrida en siete segundos (7 s) a dicha velocidad, medida como proyección horizontal, de PIV a PIV. Las tangentes verticales con Velocidad Específica mayor a cuarenta kilómetros por hora ($V_{TV} > 40$ km/h) no podrán tener una longitud menor a la distancia recorrida en diez segundos (10 s) a dicha velocidad, longitud que debe ser medida como proyección horizontal entre PIV y PIV. En la Tabla 11.22 se presentan los valores para diferentes Velocidades Específicas de la tangente vertical (V_{TV}).

Tabla 10.22 Longitud mínima de la tangente vertical”³⁰

VELOCIDAD ESPECIFICA DE LA TANGENTE VERTICAL V_{TV} (Km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
LONGITUD MINIMA DE LA TANGENTE VERTICAL (m)	40	60	80	140	170	195	225	250	280	305	335	360

³⁰ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 129

En seguida se presenta el chequeo de la longitud mínima de las tangentes verticales para una V_{TV} de 30 Km/h, es decir que la longitud medida en proyección horizontal entre PIV y PIV debe ser como mínimo 60 metros.

Tabla 10.23 Cheque de longitud mínima entretangencias verticales

Entratan. Vertical No.	Abscisa PIV anterior	Abscisa PIV siguiente	Longitud Mínima (m)	Longitud Asignada entre PIV y PIV (m)
1	PR0+000.00	PR0+101.49	60.00	101.49
2	PR0+101.49	PR0+192.96	60.00	91.47
3	PR0+192.96	PR0+540.00	60.00	347.04
4	PR0+540.00	PR0+611.75	60.00	71.75
5	PR0+611.75	PR0+721.01	60.00	109.26
6	PR0+721.01	PR0+969.22	60.00	248.21
7	PR0+969.22	PR1+331.41	60.00	362.19
8	PR0+331.41	PR1+408.60	60.00	77.19
9	PR0+408.60	PR1+538.35	60.00	129.75
10	PR0+538.35	PR1+667.45	60.00	129.10
11	PR0+667.45	PR1+803.27	60.00	135.82
12	PR0+803.27	PR1+958.32	60.00	155.05
13	PR0+958.32	PR1+100.00	60.00	141.68

10.4.2.2 “Longitud Máxima

10.4.2.2.1 Longitud crítica de la tangente vertical

El diseño del eje en perfil de la carretera debe considerar la longitud máxima de la tangente vertical. Este criterio debe ser aplicado en el desarrollo de la Fase 1, cuando se realiza el trazado de la línea pendiente, ya que es fundamental dejar habilitado el corredor para que sea congruente con la pendiente máxima y la longitud crítica de las tangentes verticales.

La longitud crítica de la tangente vertical se define como la máxima longitud en ascenso sobre la cual un camión puede operar sin ver reducida su velocidad por debajo de un valor prefijado. Para establecer éstos parámetros es necesario considerar los siguientes aspectos:

- Relación peso/potencia del vehículo pesado de diseño.
- Velocidad media de operación de los vehículos pesados en tramos a nivel de la carretera que se diseña.

- La velocidad media de operación de los vehículos pesados se estima con base en los resultados del estudio de tránsito y de la geometría de la vía.

- Pérdida aceptable de velocidad de los vehículos pesados en la tangente vertical.

Se considera que la Longitud crítica de la tangente vertical es aquella en la que el vehículo pesado seleccionado para el diseño sufre una reducción en su velocidad de veinticinco kilómetros por hora (25 km/h) con respecto a su velocidad media de operación en tramos a nivel de la carretera que se diseña.

El parque de vehículos de carga que circula por las carreteras colombianas, presenta en la práctica, unas características de operación que, en promedio, se pueden asimilar a las siguientes relaciones Peso/potencia:

- Camiones de chasis rígido (Categoría 2 y Categoría 3): 150 kg/HP.

- Camiones articulados (Categoría 3S2 y Categoría 3S3): 180 kg/HP.”³¹

El análisis de longitud crítica de la tangente vertical aplica únicamente para aquellas cuya pendiente sea superior al 3%. Por tanto, las entretangencias presentes en este diseño a la cuales se les debe analizar este aspecto serían únicamente dos (2), que para las condiciones de velocidad 30 Km/h, relación peso potencia de 150 Kg/HP (para camiones de chasis rígido C2 y C3 que transitan por esta vía) y pendientes de 3.74 % y 5.05 % de los ábacos propuestos por el INVIAS en su Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 para efectos de este estudio, resultan longitudes críticas pendientes de 2000 metros y 880 metros respectivamente. Estos valores resultan ser superiores a las longitudes que estas entretangencias verticales poseen, que son de 86.49 metros y 118.21 metros respectivamente.

Por lo anterior, el diseño del alineamiento en perfil de la vía San Francisco – Inspección de Policía de San Antonio cumple con el parámetro de longitud crítica pendiente establecido por el INVIAS en su Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008.

10.4.3 “Determinación de la longitud de la curva vertical

Los criterios para la selección de la longitud de la curva vertical que a continuación se indican son aplicables para las curvas simétricas y asimétricas y son los siguientes:

³¹ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p. 130

10.4.3.1 Criterio de seguridad

Establece una longitud mínima que debe tener la curva vertical para que en toda su trayectoria la distancia de visibilidad sea mayor o igual a la de parada (D_P). Es pertinente manifestar que en algunos casos el nivel de servicio deseado puede obligar a diseñar curvas verticales que satisfagan la distancia de visibilidad de adelantamiento (D_a)³².

- **Curvas Convexas**

“El control de la distancia de visibilidad de parada (D_P) se hace mediante el parámetro K , el cual es igual a la relación L/A (distancia horizontal, en metros necesaria para tener un cambio de pendiente de uno por ciento (1%) a lo largo de la curva). Lo anterior se traduce en:

$$K_{min} = \frac{L}{A} \quad [11]$$

Y utilizando la ecuación adoptada se tiene:

$$K = \frac{Dp^2}{658} \quad [12]$$

Los valores de K_{min} para curvas convexas se presentan en la Tabla 10.24 para diferentes Velocidades Específicas de las curvas verticales (V_{cv}) de acuerdo con la expresión anterior. Por lo tanto, para obtener la longitud mínima de la curva se emplea la expresión:

$$L_{min} = K_{min} * A \quad [13]$$

Donde A en porcentaje (%) y L_{min} en metros.³³

- **Curvas Cóncavas**

“Los valores de K_{min} para curvas cóncavas se presentan en la Tabla 10.24 para diferentes Velocidades Específicas de las curvas verticales (V_{cv}) de acuerdo con la expresión anterior. Por lo tanto, para obtener la longitud mínima de la curva se emplea la expresión:

$$L_{min} = K_{min} * A \quad [14]$$

Donde A en porcentaje (%) y L_{min} en metros.³⁴

³² INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 136

³³ *Ibíd.*, p 138

³⁴ *Ibíd.*, p 141

“Tabla 10.24. Valores de $K_{\min}$ para el control de la distancia de visibilidad de parada y longitudes mínimas según criterio de operación en curvas verticales”³⁵

VELOCIDAD ESPECIFICA V _{cv} (Km/h)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA (m)	VALORES DE K _{min}				LONGITUD MINIMA SEGÚN CRITERIO D OPERACIÓN (m)
		CURVA CONVEXA		CURVA CONCAVA		
		CALCULADO	REDONDEADO	CALCULADO	REDONDEADO	
20	20	0.6	1.0	2.1	3.0	20
30	35	1.9	2.0	5.1	6.0	20
40	50	3.8	4.0	8.5	9.0	24
50	65	6.4	7.0	12.2	13.0	30
60	85	11.0	11.0	17.3	18.0	36
70	105	16.8	17.0	22.6	23.0	42
80	130	25.7	26.0	29.4	30.0	48
90	160	38.9	39.0	37.6	38.0	54
100	185	52.0	2.0	44.6	45.0	60
110	220	73.6	74.0	54.4	55.0	66
120	250	95.0	95.0	62.8	63.0	72
130	285	123.4	124.0	72.2	73.0	78

10.4.3.2 Criterio de operación

Establece una longitud mínima que debe tener la curva vertical para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente.

- **Longitud mínima de la curva vertical convexa según el criterio de operación**

“La aplicación de este criterio evita el cambio súbito de pendiente y permite que el perfil de la vía en la curva vertical tenga una adecuada estética y apariencia. La longitud mínima de la curva vertical para cumplir con este criterio está en función de la Velocidad Específica (V_{cv}) y es dada por la siguiente expresión:

$$L_{\min} = 0.6 V_{cv} \quad [15]$$

Donde:

$L_{\min}$: Longitud mínima según criterio de operación, en metros.

V_{cv} : Velocidad Específica de la curva vertical, en km/h”³⁶

- **Longitud mínima de la curva vertical cóncava según el criterio de operación**

“Se aplica el mismo criterio de las curvas convexas y por lo tanto la longitud mínima de la curva cóncava se expresa por:

³⁵ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p. 142

³⁶ 139

$$L_{min} = 0.6 V_{CV} \quad [16]$$

Donde:

L_{mín}: Longitud mínima según criterio de operación, en metros.

V_{cv}: Velocidad Específica de la curva vertical, en km/h³⁷

10.4.3.3 Criterio de drenaje

Establece una longitud máxima que puede tener la curva vertical para evitar que, por ser muy extensa, en su parte central resulte muy plana dificultándose el drenaje de la calzada.

- **Longitud máxima de la curva vertical convexa según el criterio de drenaje**

“En el punto más alto de la cresta de una curva vertical convexa con pendiente S₁ y S₂ de diferente signo se tiene un corto tramo a nivel (pendiente = 0%), que dificulta el drenaje longitudinal, para lo cual la AASHTO – 2004 considera que un valor de A igual a cero punto seis por ciento (0.6%) en un tramo de la curva igual a treinta metros (30 m), provee el adecuado drenaje en el sector más plano de la curva.

$$K_{max} = \frac{30}{0.6} = 50 \quad [17]$$

Para garantizar el drenaje adecuado en la cresta de la curva vertical convexa se debe diseñar la curva con un valor de K menor o igual a cincuenta (50).³⁸

$$L_{max} = K_{max} * A \quad [18]$$

- **Longitud máxima de la curva vertical cóncava según el criterio de drenaje**

“Es necesario controlar la longitud máxima de la curva vertical cóncava para evitar el empozamiento de las aguas superficiales en la batea o punto más bajo de la curva. De acuerdo con este criterio, se debe diseñar la curva vertical cóncava con un valor de K menor o igual a cincuenta (50).³⁹

A continuación se presenta la asignación de la longitud de las curvas verticales de esta vía, atendiendo a las especificaciones anteriormente descritas.

³⁷ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 139

³⁸ Ibíd. ,p 139

³⁹ Ibíd. ,p 142

Tabla 10.25 Asignación de longitudes a curvas verticales

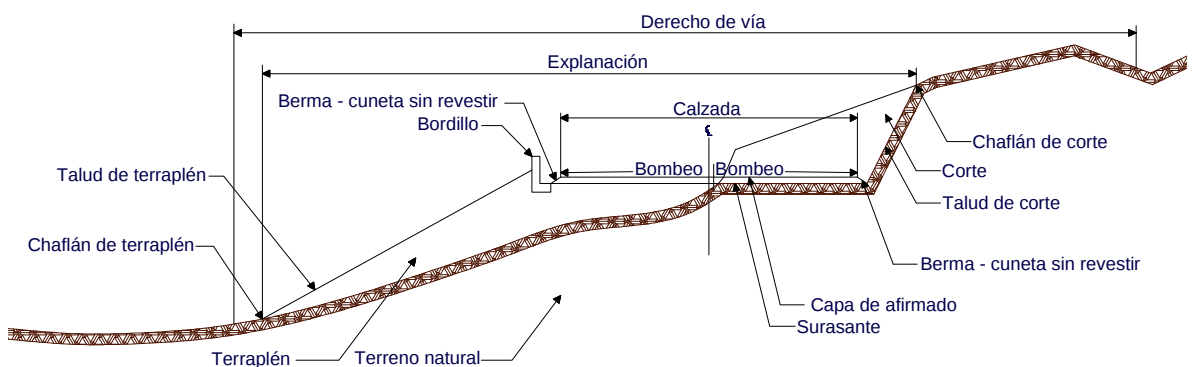
Curva Vertical No.	Forma de Inflexión	Abscisa Inicio	Abscisa Fin	S ₁ (%)	S ₂ (%)	Diferencia algebraica de pendientes (A)	V _{cv} (Km/h)	K _{min}	Longitud Mínima (m)		Longitud Máxima (m)	Longitud Asignada (m)	Observación
									Criterio Seguridad A*K _{min}	Criterio Operación 0.6*V _{cv}	Criterio Drenaje 50*K _{min}		
1	Concava	PR0+086.49	PR0+116.49	-3.74	-2.14	1.60	30.00	6.00	9.60	18.00	300.00	30.00	OK
2	Concava	PR0+177.96	PR0+207.96	-2.14	-0.47	1.67	30.00	6.00	10.02	18.00	300.00	30.00	OK
3	Concava	PR0+525.00	PR0+555.00	-2.93	-1.40	1.53	30.00	6.00	9.18	18.00	300.00	30.00	OK
4	Convexa	PR0+596.75	PR0+626.75	-1.40	-2.27	0.87	30.00	2.00	1.74	18.00	100.00	30.00	OK
5	Concava	PR0+656.01	PR0+786.01	-2.27	5.05	7.32	30.00	6.00	43.92	18.00	300.00	130.00	OK
6	Convexa	PR0+904.22	PR1+004.22	5.05	-1.70	6.75	30.00	2.00	13.50	18.00	100.00	100.00	OK
7	Concava	PR1+331.41	PR1+361.41	-1.70	-0.59	1.11	30.00	6.00	6.66	18.00	300.00	30.00	OK
8	Concava	PR1+388.60	PR1+428.60	-0.59	0.96	1.55	30.00	6.00	9.30	18.00	300.00	40.00	OK
9	Concava	PR1+523.35	PR1+553.35	0.96	1.76	0.80	30.00	6.00	4.80	18.00	300.00	30.00	OK
10	Convexa	PR1+652.45	PR1+682.45	1.76	1.01	0.75	30.00	2.00	1.50	18.00	100.00	30.00	OK
11	Convexa	PR1+758.27	PR1+848.27	1.01	-1.07	2.08	30.00	2.00	4.16	18.00	100.00	90.00	OK
12	Concava	PR1+913.32	PR2+003.32	-1.07	2.66	3.73	30.00	6.00	22.38	18.00	300.00	90.00	OK
13	Convexa	PR1+082.50	PR1+117.50	2.66	-0.24	2.90	30.00	2.00	5.80	18.00	100.00	35.00	OK

10.5 DISEÑO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CARRETERA

10.5.1 Elementos geométricos de la sección transversal

En la siguiente figura se representa la sección transversal típica para una carretera terciaria, en la cual se describen los elementos de la carretera en un plano normal a su eje.

“Figura 10.1 Sección transversal típica en vías Terciarias”⁴⁰



10.5.1.1 “Ancho de Zona o Derecho de Vía

Es la faja de terreno destinada a la construcción, mantenimiento, futuras ampliaciones, si la demanda de tránsito así lo exige, servicios de seguridad, servicios auxiliares y desarrollo paisajístico. A esta zona no se le puede dar uso privado.

El ancho de zona debe estar en el rango presentado en la Tabla 10.26 salvo que circunstancias particulares del proyecto justifiquen extrapolar el límite superior.

Tabla 10.26 Ancho de Zona

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	ANCHO DE ZONA (m)
Primaria de dos calzadas	>30
Primaria de una calzada	24 – 30
Secundaria	20 – 24
Terciaria	12

⁴⁰ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 150

Bajo estas condiciones, se establece un ancho de zona o derecho de vía para la carretera San Francisco – Inspección de Policía de San Antonio de 12 metros.

10.5.1.2 Corona

“Es el conjunto formado por la calzada y las bermas. El ancho de corona es la distancia horizontal medida normalmente al eje entre los bordes interiores de las cunetas.”⁴¹

Calzada

“La calzada es la parte de la corona destinada a la circulación de los vehículos y está constituida por dos o más carriles, entendiéndose por carril la faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos. Las calzadas pueden ser pavimentadas o no. Si son pavimentadas, queda comprendida entre los bordes internos de las bermas. La demarcación que ayuda a definir los carriles y el ancho total de la calzada se debe ejecutar de conformidad con las disposiciones del “Manual de Dispositivos para la regulación del Tránsito en calles y carreteras de Colombia”, del Ministerio de Transporte.”⁴²

10.5.1.2.1 Ancho de calzada

“En la Tabla 10.27 se indica el ancho de la calzada en función de la categoría de la carretera, del tipo de terreno y de la Velocidad de diseño del tramo homogéneo (V_{TR}). En carreteras de una sola calzada el ancho mínimo de ésta debe ser de seis metros (6 m) con el propósito de permitir el cruce de dos vehículos de diseño que viajen en sentido contrario.

⁴¹ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 147

⁴² *Ibíd.*, p 151

Tabla 10.27 Ancho de calzada (metros)⁴³

Categoría de la Carretera	Tipo de Terreno	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO (V_{TR}) (Km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Montañoso	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Escarapado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Montañoso	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-	-
	Escarapado	-	-	-	-	7.00	7.00	7.00	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	7.00	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Montañoso	-	-	6.60	7.00	7.00	7.00	-	-	-	-
	Escarapado	-	-	6.00	6.60	7.00	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	6.00	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Escarapado	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-	-

Para las condiciones de la vía San Francisco – Inspección de Policía de San Antonio como son: categoría de la carretera terciaria, tipo de terreno entre montañoso y ondulado y velocidad de diseño de tramo homogéneo $V_{TR} = 30$ Km/h, de la tabla anterior se obtiene como ancho de calzada mínimo 6.0 metros.

Esta carretera es diseñada con un ancho de calzada igual a 6.60 metros valor que satisface la condición anterior.

10.5.1.2.2 Pendiente transversal en entretangencias horizontales

“Es la pendiente que se da a la corona y a la Subrasante con el objeto de facilitar el escurrimiento superficial del agua.

En entretangencias horizontales las calzadas deben tener, con el propósito de evacuar las aguas superficiales, una inclinación transversal denominada bombeo, que depende del tipo de superficie de rodadura. En la Tabla 10.28 se presentan los valores correspondientes.

⁴³ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 151

Tabla 10.28. Bombeo de la calzada⁴⁴

Tipo de Superficie de rodadura	Bombeo (%)
Superficie en concreto hidráulico o asfáltico	2
Tratamientos superficiales	2-3
Superficie de tierra o grava	2-4

La vía San Francisco – Inspección de Policía de San Antonio, está diseñada con un bombeo del 2% debido a que dispondrá de una superficie de rodadura en concreto hidráulico por tanto

- **Bermas**

“La berma es la faja comprendida entre el borde de la calzada y la cuneta. Cumple cuatro funciones básicas: proporciona protección al pavimento y a sus capas inferiores, que de otro modo se verían afectadas por la erosión y la inestabilidad; permite detenciones ocasionales de los vehículos; asegura una luz libre lateral que actúa psicológicamente sobre los conductores aumentando de este modo la capacidad de la vía y ofrece espacio adicional para maniobras de emergencia aumentando la seguridad. Para que estas funciones se cumplan, las bermas deben tener ancho constante, estar libres de obstáculos y estar compactadas homogéneamente en toda su sección.”⁴⁵

10.5.1.2.3 Ancho de berma

“El ancho de las bermas depende de la categoría de la carretera, el tipo de terreno y la velocidad de diseño del tramo homogéneo (V_{TR}). En la Tabla 10.29 se presenta el ancho que deben tener.

⁴⁴ Ibíd. ,p 151

⁴⁵ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 152

Tabla 10.29 Ancho de bermas

Categoría de la Carretera	Tipo de Terreno	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO (V_{TR}) (Km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	2,5/1,0	2,5/1,0	2,5/1,0	2,5/1,0
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	2,0/1,0	2,0/1,0	2,5/1,0	2,5/1,0
	Montañoso	-	-	-	-	-	1,8/0,5	1,8/0,5	1,8/0,5	2,0/1,0	-
	Escarapado	-	-	-	-	-	1,8/0,5	1,8/0,5	1,8/1,0	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	2.00	2.00	2.50	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	1.80	2.00	2.00	2.5	-
	Montañoso	-	-	-	-	1.50	1.50	1.80	1.8	-	-
	Escarapado	-	-	-	-	1.50	1.50	1.80	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	1.00	1.50	1.8	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	1.00	1.00	1.50	1.8	-	-	-
	Montañoso	-	-	0.50	0.50	1.00	1	-	-	-	-
	Escarapado	-	-	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	0.50	1.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-	-	-
	Escarapado	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-	-	-

¹ Berma derecha/Berma izquierda

² Berma cuneta

Si la carretera tiene una sola calzada, las bermas deben tener anchos iguales. En caso de corresponder a una carretera unidireccional con calzadas separadas, existirán bermas interiores y exteriores en cada calzada, siendo las primeras de un ancho inferior.”⁴⁶

Con base en la tabla anterior y considerando las condiciones de esta vía como es $V_{TR} = 30$ Km/h, carretera terciaria y terreno ondulado se tiene como ancho de berma de mínimo 50 cm.

10.5.1.3 Diseño de cunetas

Para el diseño de cunetas de la vía es necesario conocer las características hidrológicas de la zona del proyecto, para nuestro caso se cuenta con información tomada de la estación hidrológica Sibundoy en donde han sido elaboradas la familia de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia a partir de la información obtenida a lo largo de los últimos años. A partir de las curvas I-D-F es posible inferir, para la zona del proyecto, que cantidad de lluvia caería (INTENSIDAD), medida en mm/hora, durante un aguacero de un número de minutos dado (DURACION) bajo el supuesto de que dicho aguacero se presenta una vez cada cierto número de años (FRECUENCIA O PERIODO DE RETORNO).

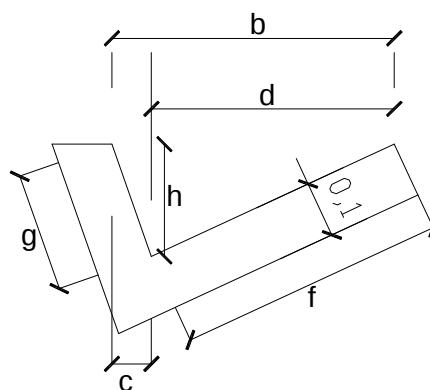
10.5.1.3.1 Selección del tipo, diseño de la cuneta y longitud máxima

⁴⁶ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008 p 153

Para la vía en estudio se diseñarán cunetas revestidas en concreto. Este tipo de cunetas se diseñan para que al final de su longitud su sección llegue al nivel de rebosamiento. El control de rebosamiento aplica para el caso más crítico, el cual se presenta cuando la cuneta tiene la pendiente longitudinal igual a la pendiente mínima de la vía. De acuerdo con el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 para proyectos de carreteras como las de este tipo se tiene una pendiente mínima de 0.5%

A continuación se presenta el diseño para la cuneta en concreto:

Figura 10.2 Diseño de cuneta en concreto



10.30 Las dimensiones de la cuenta se presentan en la siguiente tabla:

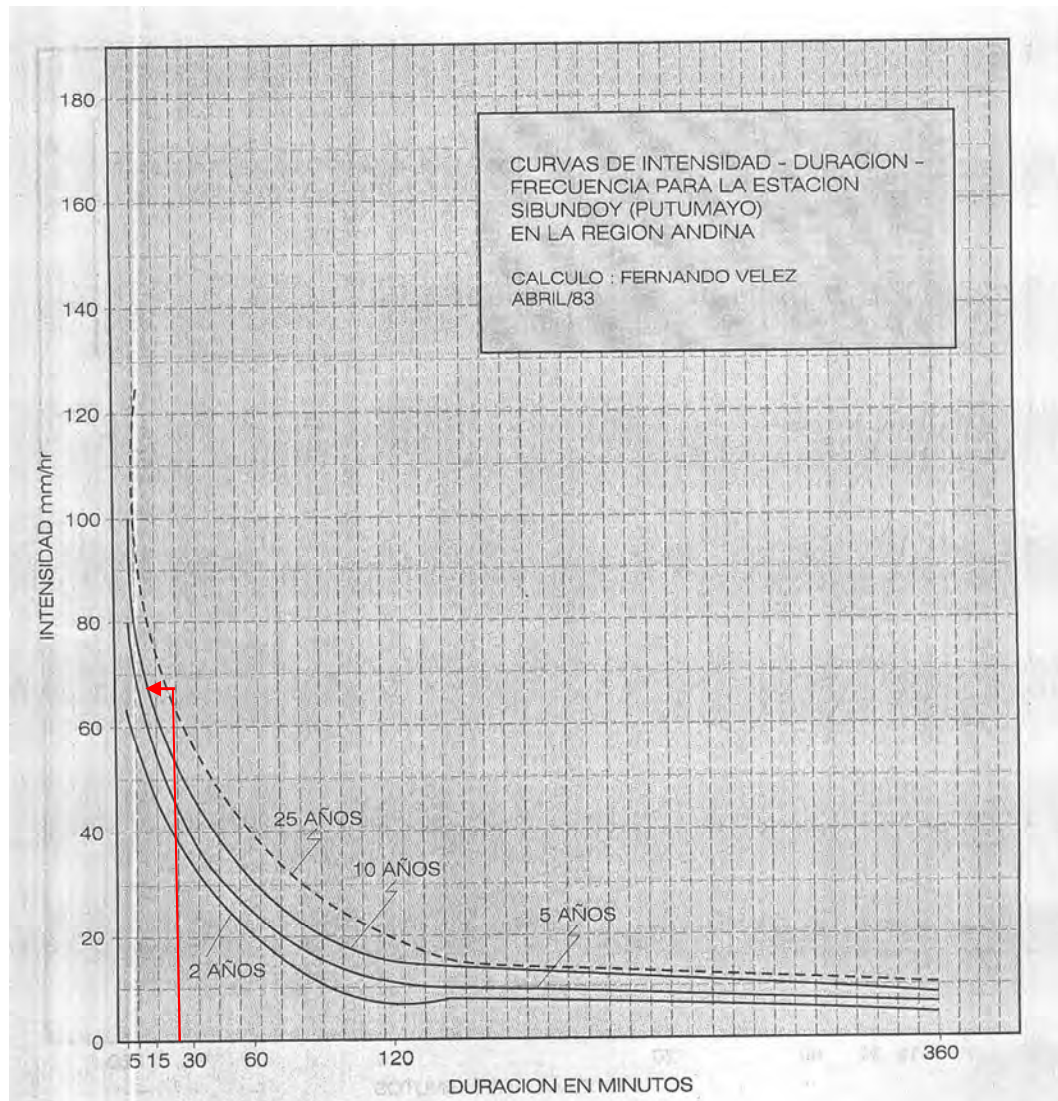
Ancho b	Prof. h	c	d	f	g	Área	Perím. mojado	R	Pendiente Mín vía	Coef. Rugosidad	Caudal
0.50	0.20	0.07	0.43	0.48	0.21	0.050	0.688	0.073	0.5%	0.015	0.041

Para el cálculo de la longitud máxima de la cuneta se considera conveniente tomar una duración del aguacero igual a 10 minutos y un periodo de retorno TR de cinco años.

Con la información anterior se obtiene en las curvas I-D-F obtenidas de la estación de conteo Sibundoy el valor de la Intensidad.

Extractada de curvas INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA EN REGIONES CLIMATOLOGICAS DE COLOMBIA, Velez Martín Fernando, Univ. Santo Tomás, 1983

Grafica 10.1 Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia para la estación Sibundoy Putumayo



Intensidad: 67 mm/hora

En la tabla 6.5 “Longitud máxima de cunetas revestidas en concreto (metros)” del Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, se obtiene para la cuneta adoptada (Tipo 2-C):.

Datos:

Intensidad: 67 mm/hora
89

Tipo de terreno: ondulado

Ancho de corona: entre 6 y 7 metros

Coefficiente de escorrentía: 0.450

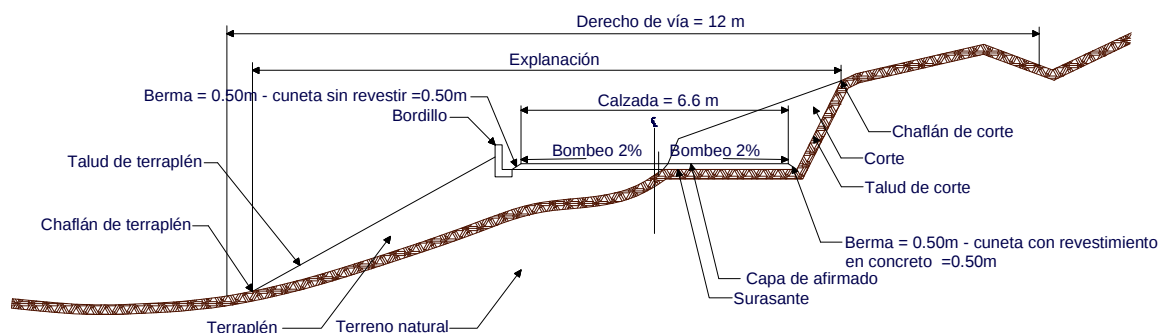
Se obtiene que la longitud máxima de cuneta revestida es de 155 metros. Se tiene entonces como conclusión que en los sitios donde la pendiente longitudinal de la vía sea igual a la mínima, 0.5%, debe ubicarse un aliviadero y una alcantarilla a los 155 metros medidos desde el inicio de la cuneta. En los demás tramos de la vía con pendientes superiores a la mínima la distancia entre alcantarillas puede superar los 155 metros sin peligro de rebosamiento, por lo tanto las alcantarillas pueden ubicarse de acuerdo a la topografía y a las fuentes de agua.

A continuación se presenta un resumen de los elementos geométricos que integran la sección transversal de la vía San Francisco – Inspección de Policía de San Antonio.

Tabla 10.31 Elementos geométricos de diseño de la sección transversal

Elemento geométrico	Valor de diseño
Ancho de zona o derecho de vía	12 metros
Ancho de calzada	6.60 metros
Bombeo de la calzada	2.0 %
Ancho de berma	0.50 metros
Ancho de cuneta	0.50 metros

Figura 10.3 Sección transversal tipo en la vía San Francisco – Inspección de Policía de San Antonio



11 ESTUDIO DE TRANSITO EN LA VÍA SAN FRANCISCO – INSPECCION DE POLICÍA DE SAN ANTONIO MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO

Se toma como base el estudio de tránsito realizado durante los días 25 y 26 de febrero de 2011. El estudio se orientó a definir el volumen de tránsito promedio diario que se tiene entre la cabecera municipal de San Francisco y la Inspección de Policía de San Antonio, asimismo la composición vehicular del tránsito y el efecto de la proporción de vehículos grandes y con radio de curvatura amplio en la determinación de las características geométricas o el peso de ellos en el diseño estructural del pavimento.

Este estudio se realizó durante dos días, en un día normal y un día de mercado; el periodo de conteo de cada día es de 12 horas, iniciando desde las 6:00 a.m. y finalizando a las 7:00 p.m. teniendo en cuenta que en este periodo se registra el tránsito de vehículos comerciales sobre la vía. Los datos de campo obtenidos se presentan en los anexos del presente trabajo.

Se tuvo en cuenta realizar los conteos de tránsito en un lugar representativo y central de la vía en donde no exista inferencia de otras vías y se pueda tener confiabilidad en los datos de campo obtenidos.

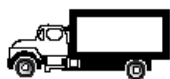
La hoja de campo empleada para la realización del estudio contempla la determinación del tránsito por tipo de vehículo y por intervalos de una hora a lo largo del día correspondiente. El formato empleado se indica a continuación:

Tabla 11.1 Formato de aforo vehicular

ESTUDIO DE TRANSITO

AFORADOR: _____ VIA: _____
 FECHA: _____ CLIMA: _____
 PERIODO: _____ REVISOR: _____

HORA	AUTOS	BUSES	CAMIONES		
			C2P	C2G	C3
6:00 - 7:00					
7:00 - 8:00					
8:00 - 9:00					
9:00 - 10:00					
10:00 - 11:00					
11:00 - 12:00					
12:00 - 1:00					
1:00 - 2:00					
2:00 - 3:00					
3:00 - 4:00					
4:00 - 5:00					
5:00 - 6:00					
6:00 - 7:00					



De los datos tomados en campo se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 11.2 Información general del conteo de tránsito realizado.

TPD	AUTOS	BUSES	CAMIONES	DISTRIBUCION PORCENTUAL DE CAMIONES				
	%A	%B	%C	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5
62	56	13	31	53%	32%	15%	0	0

12 ESTUDIO GEOTECNICO DE LA VÍA SAN FRANCISCO – INSPECCION DE POLICÍA DE SAN ANTONIO MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO

12.1 TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO

La evaluación geotécnica se adelantó en coordinación con la empresa LABORATORIO DE INGENIERIA CIVIL Y CONTROL DE CALIDAD. Del estudio realizado se destaca lo siguiente:

Para la evaluación geotécnica de la subrasante del proyecto se realizaron seis sondeos a cielo abierto en diferentes puntos de subrasante del proyecto con una profundidad aproximada de 2.0 m en cada estrato se tomaron muestras inalteradas para realizar diferentes ensayos con el objeto de caracterizar el suelo que servirá de apoyo a la estructura de pavimento. De la misma manera se evaluaron parámetros de resistencia mediante el ensayo de PDC y de drenaje. De los apiques realizados se obtuvo el perfil estratigráfico que se describe a continuación:

APIQUE A-1: Inicialmente y hasta una profundidad de 0.30 metros, se encuentra una arena limosa color gris verdoso, correspondiente a la capa de rodadura, que según la Clasificación Unificada de suelos es un SM y de acuerdo a la AASHTO de un A-1-b. A continuación y hasta una profundidad de 0.60 metros, se presenta una arena limosa color café claro, que según la U.S.C. se trata de un SM y a de acuerdo a la AASHTO de un A-1-b. Después del estrato anteriormente descrito y hasta la profundidad máxima de esta exploración que fue de 1.40 metros, se encuentra una arena limosa bien gradada color gris con vetas crema y presencia de bolos de diámetro máximo 0.60 metros, que de acuerdo a la U.S.C. se trata de un SM-SW y a la AASHTO de un A-1-a.

APIQUE A-2: Inicialmente y hasta una profundidad de 0.20 metros, se encuentra una arena limosa color café, correspondiente a la capa de rodadura, que según la Clasificación Unificada de Suelos se trata de un SM y de acuerdo a la AASHTO de un A-5-6. A continuación y hasta una profundidad de 0.90 metros, se presenta una arena limosa color gris oscuro, que según la U.S.C. se trata de un SM y a la AASHTO de un A-1-b. Después del estrato anteriormente descrito y hasta una profundidad de 1.10 metros, se encuentra una arena limosa color café oscuro, que según la U.S.C. se trata de un SM y a la AASHTO de un A-1-b. Finalmente y hasta la profundidad máxima de esta exploración que fue de 1.30 metros, se

encuentra una arena limosa bien gradada color gris con vetas crema y presencia de bolos, que de acuerdo a la U.S.C. se trata de un SM-SW y a la AASHTO de un A-1-a. Nivel freático a 0,50 m.

APIQUE A-3: Inicialmente y hasta una profundidad de 0.30 metros, se encuentra una arena limosa color café con vetas verdes, correspondiente a la capa de rodadura, que según la Clasificación Unificada de Suelos se trata de un SM y de acuerdo a la AASHTO de un A-4. A continuación y hasta una profundidad de 0.90 metros, se presenta una arena limosa color gris claro, que según la U.S.C. se trata de un SM y a la AASHTO de un A-1-b. Después del estrato anteriormente descrito y hasta la profundidad máxima de esta exploración que fue de 1.40 metros, se encuentra una arena limosa color gris con presencia de bolos y rocas de tamaño máximo 0.05 metros, que de acuerdo a la U.S.C. se trata de un SM y a la AASHTO de un A-1-a.

En este apique se encontró nivel freático a una profundidad de 0,80 metros.

APIQUE A-5: Inicialmente y hasta una profundidad de 0.50 metros, se encuentra una arena limosa color gris verdoso, correspondiente a la capa de rodadura, que según la Clasificación Unificada de Suelos se trata de un SM y de acuerdo a la AASHTO de un A-5-6. A continuación y hasta una profundidad de 0.90 metros, se presenta una arena limosa color café oscuro, que según la U.C.S. se trata de un SM y a la AASHTO de un A-1-b. Después del estrato anteriormente descrito y hasta la profundidad máxima de esta exploración que fue de 1.50 metros, se encuentra una grava limosa color amarillo claro, que de acuerdo a la U.S.C. se trata de un GM y a la AASHTO de un A-1-a.

En este apique se encontró nivel freático a una profundidad de 1.10 metros.

APIQUE A-6: Inicialmente y hasta una profundidad de 0.60 metros, se encuentra una arena limosa color gris verdoso, correspondiente a la capa de rodadura, que según la Clasificación Unificada de Suelos se trata de un SM y de acuerdo a la AASHTO de un A-5-6. A continuación y hasta una profundidad de 0.90 metros, se presenta una arena limosa color crema oscuro, que según la U.C.S. se trata de un SM y a la AASHTO de un A-1-b. Después del estrato anteriormente descrito y hasta la profundidad máxima de esta exploración que fue de 1.30 metros, se encuentra una arena limosa color ocre, que de acuerdo a la U.S.C. se trata de un SM y a la AASHTO de un A-6.

12.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SUBRASANTE

De la investigación general se destaca la presencia de tres materiales hasta una profundidad de entre 1,50 y 2,0 m. Una primera capa de material granular arena-limosa con un espesor promedio 30 cm capa de rodadura (afirmado), la segunda capa corresponde a una arena limosa color crema claro de espesor promedio 0.50 m y La tercera capa es una arena limosa color café oscuro de espesor promedio 0.60 m con presencia de rocas. Se destaca que en tres de los seis apiques realizados se encontró presencia de nivel freático a una profundidad promedio de 0.80 m. por tanto es necesario la construcción de obras de subdrenaje tipo filtro, de acuerdo con la recomendación del estudio geotécnico adelantado.

El resultado de los estudios de evaluación geotécnica, clasificación y caracterización del suelo de fundación de la estructura de pavimento se encuentran en los anexos del presente documento, el suelo de subrasante se clasifica como Arena limosa (SUCS: SM) de buena consistencia.

En la tabla 12.1 se presenta el resumen de los valores obtenidos de C.B.R. en los ensayos realizados:

Tabla 12.1 Resultados de los ensayos de C.B.R. realizados a la subrasante del proyecto.

Profundidad (m)	D.C.P # 1 (K1+871 - MI)		D.C.P # 2 (K1+446 - MI)		D.C.P # 3 (K1+020 - MD)		D.C.P # 4 (K0+831 - MD)	
	C.B.R. (%)	CALIDAD DE LA SUBRASANTE	C.B.R. (%)	CALIDAD DE LA SUBRASANTE	C.B.R. (%)	CALIDAD DE LA SUBRASANTE	C.B.R. (%)	CALIDAD DE LA SUBRASANTE
0.35							81.4	Excelente
0.4			85.8	Excelente	81.64	Excelente		
0.50	85.1	Excelente						
CBR RECOMENDADO	85.1		85.8		81.6		81.4	

Profundidad (m)	D.C.P # 5 (K0+611 - MI)		D.C.P # 6 (K0+401 - MD)		D.C.P # 7 (K0+205 - MI)	
	C.B.R. (%)	CALIDAD DE LA SUBRASANTE	C.B.R. (%)	CALIDAD DE LA SUBRASANTE	C.B.R. (%)	CALIDAD DE LA SUBRASANTE
0.30	75.1	Excelente				
0.40			81.6	Excelente		
0.45					81.8	Excelente
CBR RECOMENDADO	75.1		81.6		81.8	

De los ensayos realizados se concluye que la subrasante del proyecto presenta un perfil estratigráfico uniforme en la longitud de vía a intervenir, además se destaca las excelentes condiciones de resistencia obtenidas. No obstante se considera conveniente tomar como CBR de diseño igual a 10%, en base al análisis de los ensayos de evaluación geotécnica llevados a

cabo y bajo el criterio conservador de que experimentalmente para el tipo de suelo de subrasante este es un valor aceptable.

13 DISEÑO ESTRUCTURA EN CONCRETO RIGIDO DE LA VÍA SAN FRANCISCO – INSPECCION DE POLICÍA DE SAN ANTONIO MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO

13.1 INFORMACION EXISTENTE

En cuanto a información existente se ha logrado recopilar lo siguiente:

Geología de la zona: se ha tomado como referencia el Plan de Ordenamiento territorial del Municipio de San Francisco.

Topografía: Se ha realizado levantamiento topográfico detallado de las vías a intervenir en el presente proyecto, de igual manera se tiene como referencia la cartografía base del IGAC 1964 plancha 430 y mapas integrantes del esquema de ordenamiento del Municipio.

Tránsito: Se ha tomado como base los datos obtenidos del estudio de tránsito realizado en la vía en estudio durante los días 25 y 26 de febrero de 2011.

Diseño de pavimentos: toma como base los métodos de diseño de pavimentos más conocidos en el país, como son el de la Portland Cement Association -PCA- versión 1984, el de la American Association of State Highway And Transportation Officials -AASHTO- versión 1993 y el Manual de Diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito 2008 del Ministerio de Transporte-I.C.P.C.-INVIAS.

13.2 PERIODO DE DISEÑO

En el presente estudio, haciendo un análisis económico de los costos del pavimento y el servicio que éste proporcionará, se considera adecuado adoptar un período de diseño de 20 años, para todos los análisis estructurales, el cual bajo premisas teóricas debe coincidir como mínimo con la vida útil del pavimento, en el caso que exista una buena certidumbre en el análisis de las variables de diseño y su respectiva proyección.

13.3 ANÁLISIS DEL TRÁNSITO

Para el presente estudio de tránsito se toma como base el estudio de tránsito realizado durante los días 25 y 26 de febrero de 2011, en donde se obtuvieron los siguientes resultados para el conteo:

Tabla 13.1 Información general del conteo de tránsito realizado

TPD	AUTOS	BUSES	CAMIONES	DISTRIBUCION PORCENTUAL DE CAMIONES				
	%A	%B	%C	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5
62	56	13	31	53%	32%	15%	0	0

13.3.1 Factor de proyección del tránsito

Para obtener el factor que permite relacionar el tránsito futuro con el actual, se realizó un análisis en base a estudios adelantados por el Ministerio de Transporte sobre el crecimiento del parque automotor en Colombia⁴⁷ e indicadores de tipo económico y social, como el crecimiento promedio del producto interno bruto PIB en el departamento y la tasa de crecimiento poblacional. Se determinó conveniente tomar un factor de proyección del tránsito igual a 3%.

13.3.2 Proyección del tránsito al periodo de diseño

Para la proyección del tránsito al periodo de diseño se tienen los siguientes datos:

Número total de años del periodo de diseño:	20 años	
Tasa de incremento anual de vehículos	3%	
Tránsito inducido	2%	
Factor carril estrechas y 2 direcciones)	100%	(carreteras

En la siguiente tabla se indica el volumen total de vehículos durante el periodo de diseño para cada tipo de vehículo respectivamente:

⁴⁷ Parque automotor de transporte de carga en Colombia, Mintransporte, 2000.

Tabla 13.2 Proyección del tránsito al periodo de diseño

PARAMETRO	TPD	Autos	Buses	CAMIONES	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5
TPDo	62	35	8	19	10	6	3	0	0
TPD carril diseño	62	35	8	19	10	6	3	0	0
F Proyección	1.34	1.34	1.34	1.34					
TPDe	85	48	11	26					
Vol Total Vehiculos	620,238	350,134	80,031	190,073	100,738	60,823	28,512	0	0

13.3.3 Cargas máximas y distribución de cargas por eje

El Ministerio del Transporte, a través de la resolución 4100 de 2004 reglamenta el peso que pueden transmitir tanto los vehículos, como los diferentes ejes de carga. En la siguiente tabla se registra la información sobre la carga máxima admisible para los vehículos más comunes en el país de acuerdo con esta resolución.

Figura 13.1 Representación esquemática de los vehículos de transporte de carga más comunes en el país. (Fuente: Resolución 4100 de 2004)

Designación	Configuración	Descripción
2		Camión de dos ejes Camión sencillo
3		Camión de tres ejes Doble tracción
3S2		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes
3S3		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes

Tabla 13.3 Máximo peso por eje para los vehículos de transporte de carga.
(Fuente: Resolución 4100 de 2004)

Tipo de eje	Peso máximo por eje, kg
Eje sencillo	
Dos llantas	6,000
Cuatro llantas	11,000
Eje tándem	
Cuatro llantas	11,000
Seis llantas	17,000
Ocho llantas	22,000
Eje trídem	
Seis llantas	16,500
Ocho llantas	19,000
Diez llantas	21,500
Doce llantas	24,000

13.3.4 Espectro de cargas

Dado que en el presente estudio no se tienen datos de pesaje de vehículos, para este caso el Manual de Diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito 2008 del Ministerio de Transporte-ICPC-INVIAS, establece que es posible utilizar un estudio realizado en Colombia sobre la distribución de cargas por eje para mil camiones en función del tránsito promedio diario semanal -TPDs- que se realizó con base en el análisis de más de 10 años (1987-2000) de registros de las estaciones de pesaje a cargo del INVIAS.

El estudio realizado concluye que de la siguiente tabla se puede obtener el número de ejes simples, tándem y trídem, en vías que circulan desde pocos vehículos, hasta más de 10.000.

Tabla 13.4 Ejes sencillos, tándem y trídem para 1000 camiones.

Eje	Ejes por 1000 camiones (TPDs)					
	0-500	500-1.000	1.000-2.500	2.500-5.000	5.000-10.000	Mayor que 10.000
Sencillos	1,879	1,892	1,796	1,760	1,782	1,839
Tándem	114	120	228	282	253	177
Trídem	23	30	67	76	64	38

El siguiente espectro de carga se obtiene de la tabla No. 10 y las Tablas de distribución de cargas para los ejes sencillos, tándem y trídem, teniendo en cuenta el tránsito del proyecto.

Tabla 13.5 Espectro de cargas de diseño

TIPO DE EJE	RANGO DE CARGA (TON)	CARGA REPRESENTATIVA (TON)	REPETICIONES DE CARGA ESPERADAS
EJE SIMPLE	2-3	2,5	67,857
	3-4	3,5	57,143
	4-5	4,5	46,429
	5-6	5,5	32,143
	6-7	6,5	32,143
	7-8	7,5	17,857
	8-9	8,5	14,285
	9-10	9,5	39,286
	10-11	10,5	50,000
EJE TANDEM	7-10	8,5	3,125
	10-13	11,5	3,385
	13-16	14,5	4,427
	16-19	17,5	5,989
	19-22	20,5	9,114

13.4 CARACTERISTICAS DE RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE

13.4.1 Módulo de reacción K de la subrasante

Obtenido el valor del C.B.R. de diseño, se determina el valor del módulo de reacción K de la subrasante, que es el parámetro utilizado en las ecuaciones de diseño.

En la siguiente tabla introducida en el Suplemento para la Guía de Diseño de estructura de pavimentos AASHTO 1993, se puede obtener el módulo de reacción K de acuerdo con la clasificación del suelo de subrasante.

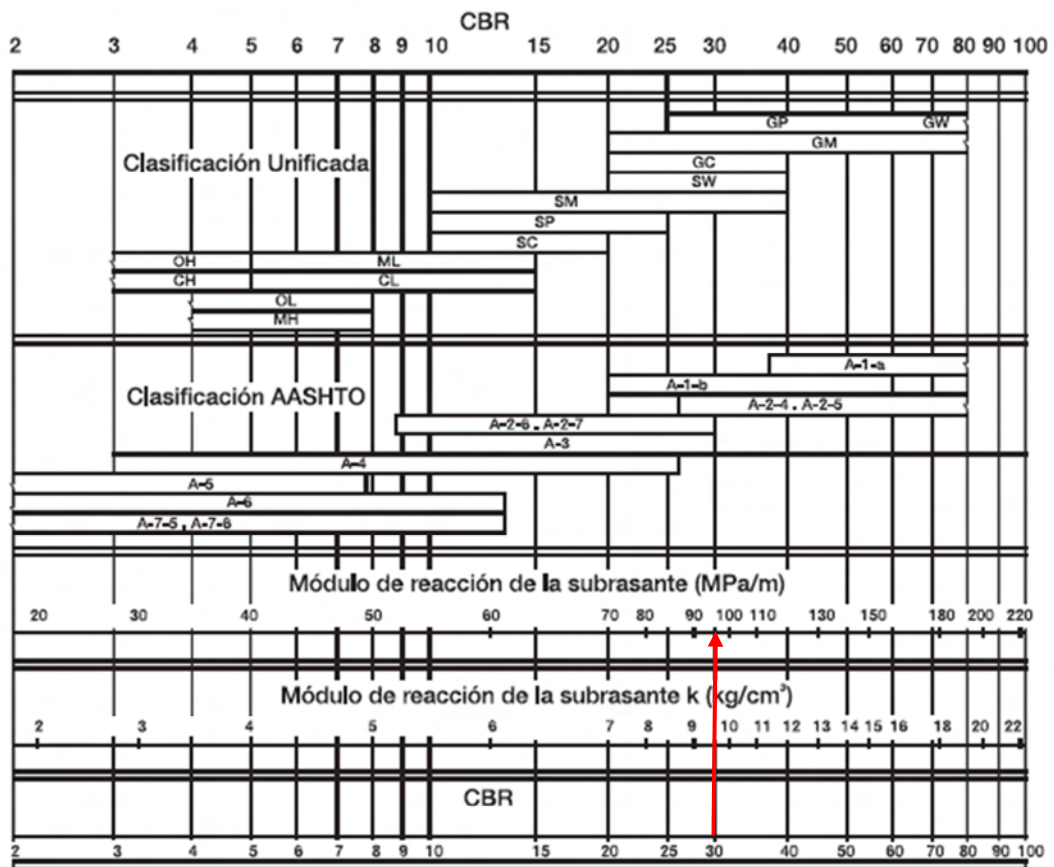
Tabla 13.6 Clasificación del suelo según AASHTO y rangos de valores de K recomendados para los diferentes tipos de suelos⁴⁸

CLASIFICACION AASHTO	DESCRIPCION	CLASIFICACION UNIFICADA	DENSIDAD PESO SECO (Lbf/ft2)	CBR (%)	VALOR DE k (psi/in)
A-1-a bien graduado			125-140	50-80	300-450
A-1-a pobremente graduado	Grava	GP	115-130	35-60	300-400
A-1-b	Arena gruesa	SW	110-150	20-40	200-400
A-3	Arena fina	SP	105-120	15-25	150-300
Suelos A-2 material granular con muchos finos					
A-2-4 gravoso	Grava limosa	GM	130-145	40-80	300-500
A-2-5 gravoso	Grava areno-limosa				
A-2-4 arenoso	Arena limosa	SM	120-135	20-40	300-400
A-2-5 arenoso	Arena grava-limosa				
A-2-6 gravoso	Grava arcillosa	GC	120-140	20-40	200-450
A-2-7 gravoso	Grava arena-arcillosa				
A-2-6 arenoso	Arena arcillosa	SC	105-130	20-40	150-350
A-2-7 arenoso	Arena grava-arcillosa				
Suelo de grano fino (Más de 35% pasa el tamiz 0,074)					
A-4	Limo	ML, OL	90-105	4-5	25-165
	Limo/arena/mezcla de grava		100-125	5-15	40-120
A-5	Limo pobremente graduado	MH	80-100	4-8	25-140
A-6	Arcilla plástica	CL	100-125	5-15	25-255
A-7-5	Arcilla elástica moderadamente plástica	CL,OL	80-125	4-15	25-215
A-7-6	Arcilla elástica altamente plástica	CH, OH	80-110	3-5	40-220

El Manual de Diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito 2008 del Ministerio de Transporte-ICPC-INVIAS, también permite la utilización de la correlación aproximada entre la clasificación del suelo de soporte y los valores de C.B.R. y el módulo de reacción K de la subrasante.

⁴⁸ Supplemental Association of the AASHTO Guide, 1998. Part II. Section 32, pág. 6

Figura 13.2 Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos y los valores de CBR y K



De la anterior tabla se toma para la unidad homogénea de diseño un valor del módulo de reacción K de la subrasante igual a 95 MPa/m = 9,5 kg/cm³.

13.4.2 Espesor de la subbase

Para el presente proyecto se adopta un espesor de subbase de 15 cm. Dado que existen buenas condiciones geotécnicas para la subrasante del proyecto el módulo de reacción del conjunto subrasante-subbase granular se toma igual a 95 MPa/m

13.5 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO

Con los datos anteriormente obtenidos se diseña la estructura de pavimento.

13.5.1 Parámetros de diseño

C.B.R. Diseño:	30%
K conjunto:	95 Mpa/m = 9,5 Kg/cm ³
Periodo de diseño:	20 años (Utilización del carril 100%)
Espesor de subbase granular:	15 cm
Módulo de rotura del concreto:	38 Kg/cm ² medido a los 28 días
Bermas:	No
Pasadores:	Si
Factor de seguridad de carga:	1.0
Factor de seguridad de repeticiones:	1.0

El diseño es función de la sensibilidad de los diferentes parámetros que inciden en el diseño del pavimento, para ello se utilizó el software de uso libre desarrollado por la UNIVERSIDAD DEL CAUCA, BS-PCA⁴⁹, cuyos resultados se anexan al presente trabajo (Ver Anexos).

Figura 13.3 Detalle Software BS-PCA

13.5.2 Diseño final

Espesor de losa (MR 38 Kg/cm ²):	16 cm
Subbase granular:	15 cm
Ancho de carril:	3.30 m

Longitud de las losas:

⁴⁹ Msc. Benavides Carlos Alberto, Msc. Solano Efraín de Jesús, software para el diseño de pavimentos rígidos BS-PCA. 1984. Universidad del Cauca.

Se recomienda que la longitud de las losas no sobrepase 24 veces el espesor de la losa:

Se adopta Longitud $L = 3.70$ m

Chequeo del esfuerzo debido al cambio uniforme de temperatura:

$$\sigma_o = \frac{2.4 \times L \times f}{2}$$

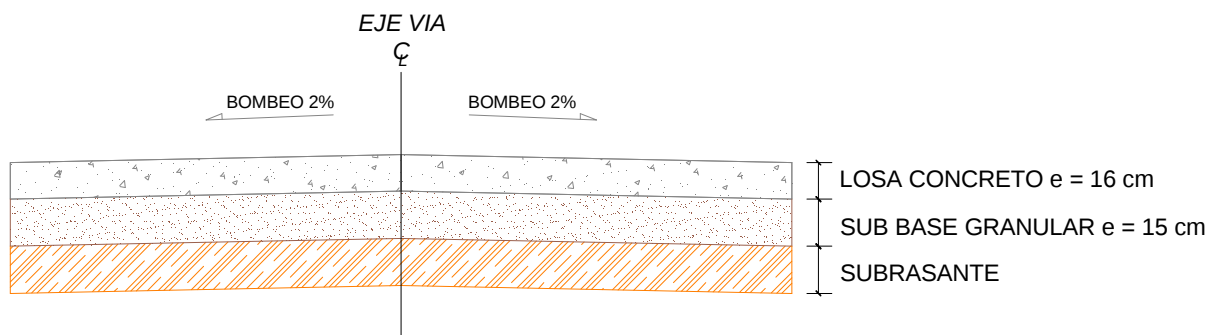
σ_o : Esfuerzo en la losa de concreto debido al cambio uniforme de temperatura

L : Longitud de las losas de concreto

f : Factor de fricción que depende del material bajo la losa

$$\sigma_o = \frac{2.4 \times 3.70 \times 1.5}{2} = 6.67 \frac{T}{m^2} = 0.67 \frac{Kg}{cm^2} < 0.80 \frac{Kg}{cm^2} \quad ok!$$

Figura 13.4 Corte transversal diseño final Método de la PCA



13.5.3 Diseño Juntas del Pavimento

13.5.3.1 Diseño de Juntas Longitudinales

La separación entre juntas está relacionada con el espesor de la losa. Como regla general la longitud de la losa no debe ser superior a 24 veces el espesor de la losa y debe procurarse que las losas sean sensiblemente cuadradas, procurando que la relación entre el largo y ancho de las losas esté entre 1 y 1.3.

Las juntas longitudinales pueden ser de alabeo o de construcción. El objetivo básico de estas juntas es el de controlar las fisuras que se pueden presentar en los pavimentos cuando se construyen con anchos superiores a los 4,5 metros. Debido a que en el presente diseño se considera el ancho de las losas inferior a 4,5 m y en el medio existe la tradición de construir pavimentos por carriles, las juntas longitudinales son de construcción.

Cálculo del refuerzo:

$$As = \frac{(b \times f \times W)}{fs}$$

[20]

- As:** Área del acero por unidad de longitud de junta, (cm²/m)
b: Distancia entre junta y borde (3.00 m)
f: Coeficiente de fricción losa-subrasante $f = 1.8$ (AASHTO 93)
W: Peso de la losa por unidad de área. $2.400 \text{ Kg/m}^3 \times 0.16 \text{ m} = 384 \text{ Kg/m}^2$
Fs: Esfuerzo de trabajo del acero. $0.67 \times Fy = 0.67 \times 4200 \text{ Kg/cm}^2 = 2814 \text{ Kg/cm}^2$

$$As = \frac{(3.00 \times 1.8 \times 384)}{2814} = 0.74 \frac{\text{cm}^2}{\text{ml}}$$

La longitud de las barras de anclaje debe ser tal que el esfuerzo del adherencia a cada lado de la junta sea igual al esfuerzo de adherencia a cada lado de la junta. Se adicionan 7,5 cm a la longitud total del pasador para compensar defectos en su colocación; para acero corrugado se tiene:

$$L = \frac{2 \cdot A \cdot fs}{a \cdot p}$$

- L:** longitud de la barra de anclaje (cm)
A: Área transversal de la barra de anclaje (cm²) 1.27 cm^2
fs: Esfuerzo de trabajo del acero. $0.67 \times Fy = 0.67 \times 4200 \text{ Kg/cm}^2 = 2814 \text{ Kg/cm}^2$
a: Esfuerzo de adherencia entre el acero y el concreto ($a = 0,10 \text{ f'c}$ pero no mayor que $24,5 \text{ Kg/cm}^2$) $210 \text{ Kg/cm}^2 \times 0.10 = 21 \text{ Kg/cm}^2$
p: perímetro de la barra de anclaje (cm) 4 cm

$$L = \frac{2 \times 1.27 \times 2814}{21 \times 4} = 85.1 \text{ cm} + 7,5 \text{ cm} = 92,6 \text{ cm}$$

Se recomienda usar varillas corrugadas de acero con límite de fluencia $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ de diámetro 12.7 mm (1/2") y longitud $L = 1.00 \text{ m}$, colocadas en la mitad del espesor de la losa, separadas 1.00 m centro a centro.

13.5.3.2 Diseño de Juntas transversales, grietas inducidas con pasador

Los pasadores en las juntas transversales deben tratarse en la mitad de la longitud con aceite o grasa mineral o con un producto adecuado para evitar la adherencia con el concreto a fin de permitir el libre movimiento de contracción o de dilatación de las placas; la barra debe ser lisa y sin irregularidades.

El área y espaciamiento de las barras se selecciona de acuerdo con las recomendaciones presentadas en la siguiente tabla, la cual resume la experiencia de la P.C.A. en este aspecto.

Tabla 13.7 Requisitos mínimos para pasadores en juntas transversales de pavimentos rígidos

Espesor de la placa (cm)	Diámetro del pasador (cm)	Longitud total (cm)	Separación entre centros (cm)
10	1,27	25	30
11-13	1,59	30	30
14-15	1,91	35	30
16-18	2,22	35	30
19-20	2,54	35	30
21-23	2,86	40	30
24-25	3,18	45	30
26-28	3,49	45	30

29-30	3,81	50	30
-------	------	----	----

Se recomienda usar barras de acero liso de diámetro 2,22 cm (7/8 de pulgada) con un límite de fluencia mínimo de 280 Mpa (60000 psi). Los pasadores se deben colocar en la mitad del espesor de las losas, paralelos entre sí, al eje longitudinal de la vía y a la superficie del pavimento, con una tolerancia medida en el extremo del pasador que no sobrepase los 10 mm respecto a la posición teórica. La manera más eficiente de lograr esto, es la de colocar los pasadores sobre unos soportes hechos con varillas, que quedan embebidos en el concreto.

El concreto alrededor de los pasadores debe tener la misma compactación que en el resto del pavimento, para evitar la creación de zonas en las cuales la resistencia a la tracción sea más baja y por ende se convierta en un área que se puede fisurar.

El concreto alrededor de los pasadores debe tener la misma compactación que en el resto del pavimento, para evitar la creación de zonas en las cuales la resistencia a la tracción sea más baja y por ende se convierta en un área que se puede fisurar.

Ancho de la junta: se recomienda que su dimensión esté entre 6 y 8 mm
 Profundidad p: Su dimensión se relaciona con el espesor de la placa entre $h/6 < p < h/4$

Figura 13.5 Esquema de juntas transversales

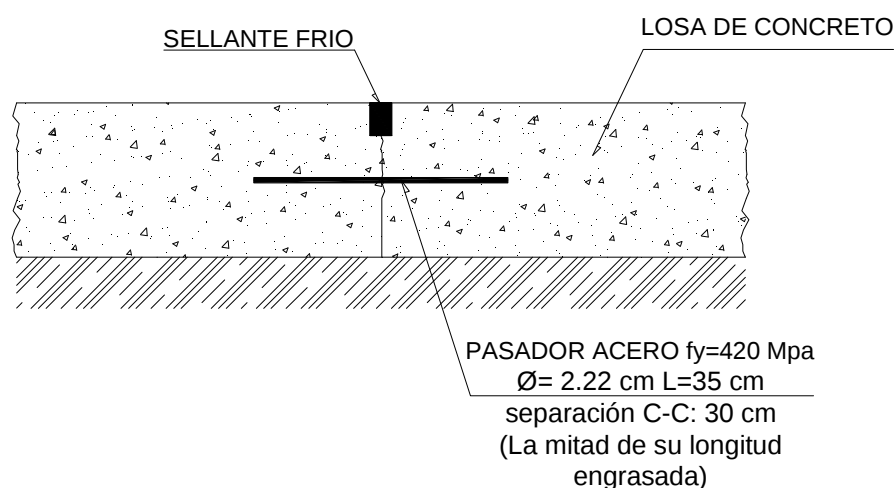
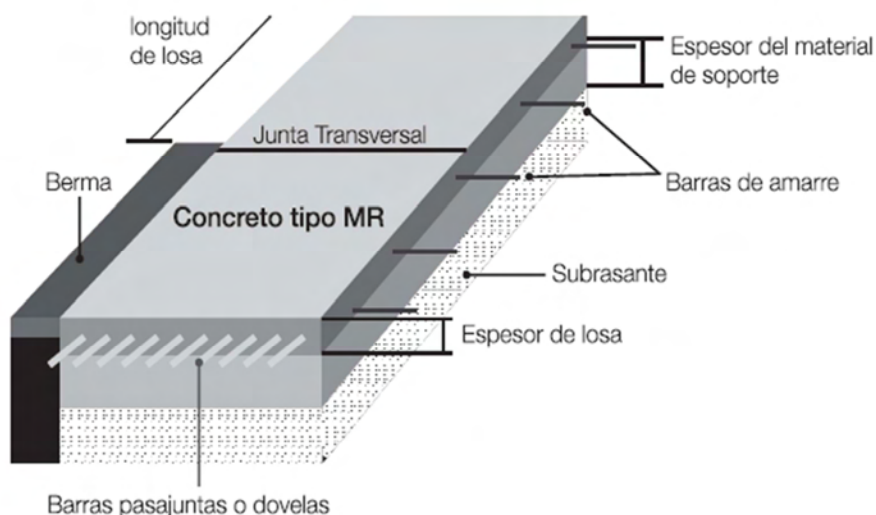


Figura 13.6 Esquema representativo de un pavimento de concreto.



13.5.3.3 Juntas de expansión o aislamiento

Reciben este nombre las juntas que se hacen dentro del pavimento para aislarlo de otras estructuras, de otros pavimentos, o cuando hay cambios bruscos de dirección.

Estas juntas, generalmente tienen la forma de rombo, de círculo, de triángulo o de semicírculo, con un ancho de 10 a 15 mm. Su función es la de aislar un elemento ajeno al pavimento, como pueden ser los sumideros, las cajas de inspección o cualquier otro elemento que esté dentro del pavimento. Pueden tener forma de línea recta, cuando se construye con el fin de aislar los pavimentos de concreto de otros tipos de pavimentos, cuando se presentan cambios bruscos de dirección, en las intersecciones viales o cuando es necesario aislar el pavimento de estructuras fijas, como es el caso de los puentes.

Las juntas de expansión alrededor de elementos incorporados dentro del pavimento, tales como sumideros, cámaras de inspección o cajas, deben estar como mínimo a 300 mm de los bordes de dichos elementos y su forma deber ser poligonal, circular, o semicircular.

Figura 13.7 Detalle de localización de juntas en cruces de vías

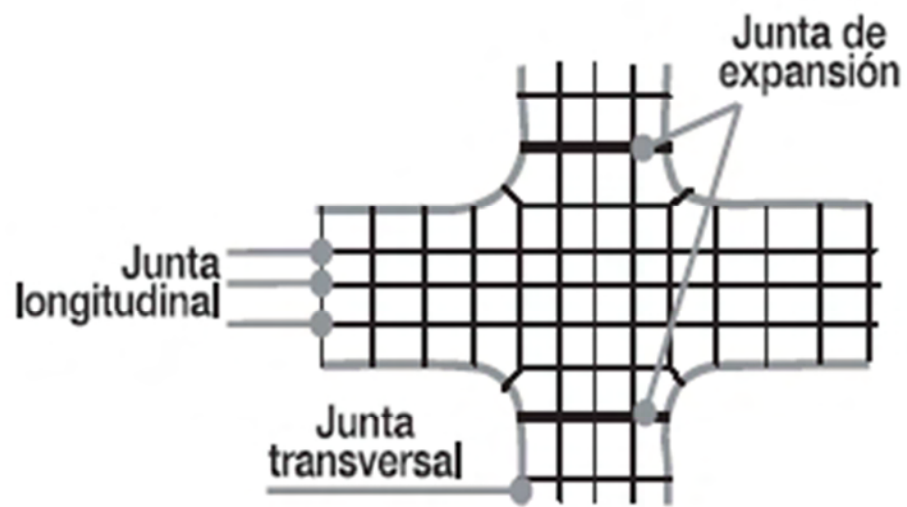


Figura 13.8 Localización de diferentes tipos de juntas

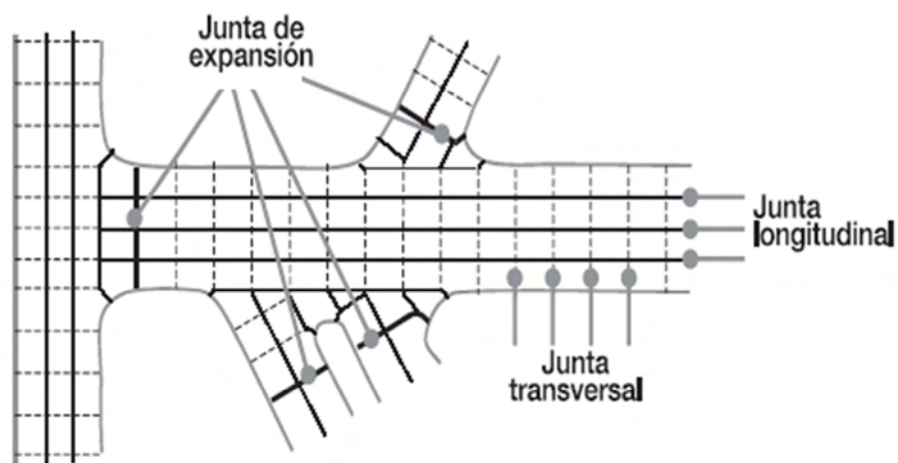


Figura 13.9 Sellado de Juntas

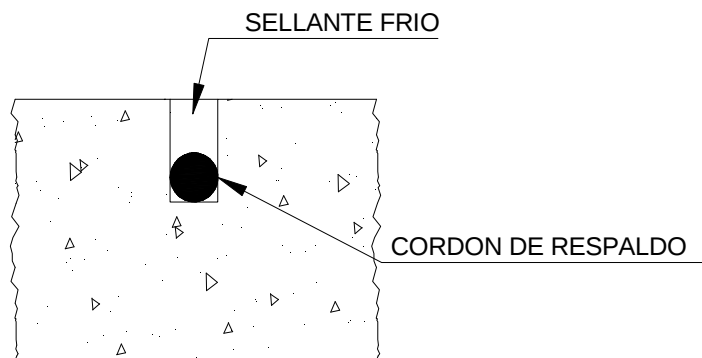
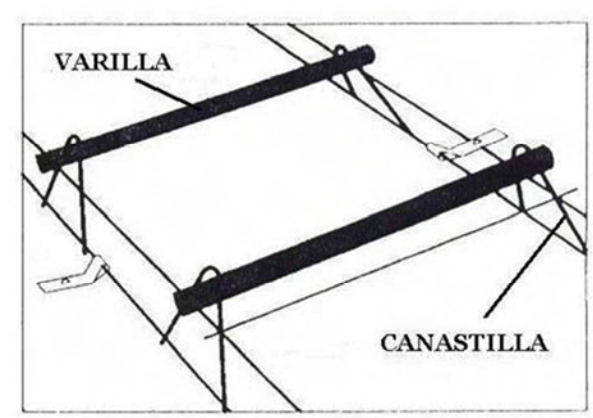


Figura 13.10 Detalle refuerzo de Junta transversal



13.6 ANALISIS DE SENSIBILIDAD METODO DE LA PCA

Las variables a sensibilizar son:

- Resistencia capa de apoyo del pavimento
- Módulo de rotura del concreto
- Espesor de la losa de concreto

Se realiza el análisis de sensibilidad de las variables anotadas de acuerdo con los siguientes parámetros:

Tabla 13.8 Parámetros para análisis de sensibilidad

VARIABLE ANALIZADA	UNIDAD	INICIO	FINAL	INTERVALO
Resistencia capa de apoyo	Mpa/m	55	95	10

Módulo de Rotura Concreto	Mpa	3.8	4.2	0.2
Espesor losa de concreto	mm	140	180	10

DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO PCA
UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
Software : BS-PCA

ANALISIS DE SENSIBILIDAD

TRANSITO

EJES SIMPLES		EJES SIMPLES	
CARGA (Tn)	REPETICIONES ESPERADAS	CARGA	REPETICIONES ESPERADAS
2.5	67857	8.5	3125
3.5	57143	11.5	3385
4.5	46429	14.5	4427
5.5	32143	17.5	5989
6.5	32143	20.5	9114
7.5	17857		
8.5	14285		
9.5	39286		
10.5	50000		

Tabla 13.9 Análisis de sensibilidad

ANALISIS DE SENSIBILIDAD

K Subrasante (Mpa/m)	Espesor (mm)	Módulo de Rotura (Mpa)	Factor de Mayoración de repeticiones	Consumo de Fatiga (%)	Consumo de Erosión (%)
55	150	4.0	1.0	841.13	12.92
55	150	4.2	1.0	357.18	12.92
55	160	3.8	1.0	466.01	6.26
55	160	4.0	1.0	194.82	6.26
55	160	4.2	1.0	86.79	6.26
55	170	3.8	1.0	121.16	2.85
55	170	4.0	1.0	51.99	2.85
55	170	4.2	1.0	22.13	2.85
55	180	3.8	1.0	34.55	1.14
55	180	4.0	1.0	12.79	1.14
55	180	4.2	1.0	3.79	1.14
65	150	4.0	1.0	498.75	11.66
65	150	4.2	1.0	216.79	11.66
65	160	3.8	1.0	282.39	5.53
65	160	4.0	1.0	120.05	5.53
65	160	4.2	1.0	53.68	5.53
65	170	3.8	1.0	75.21	2.43
65	170	4.0	1.0	31.94	2.43
65	170	4.2	1.0	12.25	2.43
65	180	3.8	1.0	20.43	0.92
65	180	4.0	1.0	6.56	0.92
65	180	4.2	1.0	1.54	0.92
75	140	4.2	1.0	656.34	22.03
75	150	3.8	1.0	793.69	10.68
75	150	4.0	1.0	323.78	10.68
75	150	4.2	1.0	142.96	10.68
75	160	3.8	1.0	186.55	4.97
75	160	4.0	1.0	79.77	4.97
75	160	4.2	1.0	35.51	4.97
75	170	3.8	1.0	50.3	2.12
75	170	4.0	1.0	20.27	2.12
75	170	4.2	1.0	6.92	2.12
75	180	3.8	1.0	12.39	0.76
75	180	4.0	1.0	3.39	0.76
75	180	4.2	1.0	0.57	0.76
85	140	4.2	1.0	446.49	20.64
85	150	3.8	1.0	540.48	9.89
85	150	4.0	1.0	224.49	sep-89
85	150	4.2	1.0	99.84	9.89
85	160	3.8	1.0	130.72	4.53
85	160	4.0	1.0	56.06	4.53
85	160	4.2	1.0	24.14	4.53
85	170	3.8	1.0	35.25	1.88
85	170	4.0	1.0	13.12	1.88
85	170	4.2	1.0	3.92	1.88
85	180	3.8	1.0	7.64	0.64
85	180	4.0	1.0	1.75	0.64
85	180	4.2	1.0	0.18	0.64
95	140	4.0	1.0	749.7	19.46
95	140	4.2	1.0	320.09	19.46
95	150	3.8	1.0	387.8	9.23
95	150	4	1.0	163.31	9.23
95	150	4.2	1.0	72.83	9.23
95	160	3.8	1.0	95.67	4.16
95	160	4	1.0	41.01	4.16
95	160	4.2	1.0	16.68	4.16
95	170	3.8	1.0	25.23	1.68
95	170	4	1.0	8.6	1.68
95	170	4.2	1.0	2.24	1.68
95	180	3.8	1.0	4.7	0.55
95	180	4	1.0	0.86	0.55
95	180	4.2	1.0	0	0.55

Del análisis de sensibilidad realizado y cuyos resultados se presentan en la tabla anterior se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- La estructura de pavimento presenta gran susceptibilidad cuando se disminuye la capacidad de soporte de la capa de apoyo de la losa de concreto, de esta manera una disminución de 10 Mpa/m, generaría el aumento de 1 cm en el espesor de la losa de concreto para poder obtener una estructura que cumpla ante las solicitaciones de diseño.
- El aumento del módulo de rotura de la losa de concreto en 0.2 Mpa generaría el incremento de ocho veces la reserva de fatiga del pavimento.
- El incremento de 1 cm en la losa de concreto, genera gran aumento de las reservas de fatiga y erosión, por tanto es muy importante analizar esta opción pues esto mejoraría en gran medida la vida útil del pavimento. Por el contrario la disminución de 1 cm en el espesor de la losa de concreto generaría grandes inconvenientes.

14 DISEÑO ESTRUCTURA EN PAVIMENTO ASFALTICO DE LA VIA SAN FRANCISCO – INSPECCION DE POLICIA DE SAN ANTONIO, MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO

14.1 METODOLOGIA DE DISEÑO

Con base en las características de la vía en estudio se empleará para el diseño del pavimento en concreto asfáltico lo contemplado en el MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS PARA VÍAS CON BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO, desarrollado por la Subdirección de Apoyo Técnico del Instituto Nacional de Vías INVIAS y el Ministerio de Transporte (Abril de 2007).

14.2 PERIODO DE DISEÑO

Según el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para Vías con bajos volúmenes de tránsito, el período de diseño puede ser definido como el lapso transcurrido desde que se entrega al servicio la estructura, hasta que los deterioros producidos por el tránsito y los agentes ambientales normales hacen que la vía pierda su funcionalidad. Recordando que a la luz del conocimiento actual, el diseño de un pavimento constituye un complejo problema físico-mecánico donde se interrelacionan variables tan diversas como las asociadas al ambiente, la geometría de las calzadas, las cargas del tránsito, los suelos de soporte, los materiales de construcción y la calidad de la construcción y del mantenimiento.

Dadas las condiciones de bajo nivel de tránsito y considerando las limitaciones de tipo operativo con que probablemente desarrollen su misión las entidades encargadas de la construcción y mantenimiento, el Manual considera prudente adoptar un periodo de diseño estructural para este tipo de vías de diez (10) años.

14.3 TRANSITO

El Manual de Diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, clasifica el tránsito de diseño en 2 niveles, en función del número de ejes equivalentes de 80 kN previstos durante el período de diseño en el carril de diseño. Es necesario entonces conocer el número de ejes equivalentes de 80 kN previstos durante el período de diseño en el carril de diseño.

Para la vía en estudio se tiene la siguiente información en cuanto al tránsito obtenida del conteo de tránsito realizado entre los días 25 y 26 de febrero del año 2011:

Tabla 14.1 Información del tránsito de la vía

PARAMETRO	TPD	Autos	Buses	CAMIONES	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5
TPDo	62	35	8	19	10	6	3	0	0

Para la conversión de vehículos a ejes equivalentes de 80 KN el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para Vías con bajos volúmenes de tránsito recomienda emplear los siguientes Factores Daño por tipo de vehículo:

Tabla 14.2 Factor Daño por tipo de vehículo.

Tipo de Vehículo	Factor Daño (FD)	
	Vacío	Cargado
Autos		0.0
Bus grande		1.0
C2p	0.01	1.01
C2g	0.08	2.72
C3-C4	0.24	3.72
C5	0.25	4.88
> C5	0.26	5.23

Cuando no existe serie histórica de tránsito el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para Vías con bajos volúmenes de tránsito recomienda el procedimiento que se desarrolla a continuación:

Datos obtenidos vehículos comerciales día normal: 26 vehículos

Datos obtenidos vehículos comerciales día mercado: 33 vehículos

$$\frac{6}{7} 26 + \frac{1}{7} 33 = 27$$

Parámetros:

Periodo de diseño: 10 años

Tasa de crecimiento anual (r): 3 % (Adoptada según lo explicado en el diseño de pavimento rígido)

Ancho de calzada: Seis metros (6.60 m)

Factor direccional: 0.50

Composición de los vehículos comerciales:

Buses: 30 %

C2p: 37 %

C2g: 22 %

C3: 11 %

Confiabilidad: setenta por ciento (70%); ($Z_r = 0.524$)

Se calcula a continuación el número de ejes equivalentes en el carril de diseño (tránsito normal) en el año base mediante la siguiente ecuación:

$$N_{80 \text{ KN carril diseño (normal) año base}} = \frac{365 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times \left[\sum_{i=1}^k \text{Vehiculos comerciales} \frac{\text{día}}{\text{ambas direcciones}} \times \%V_k \times FD_k \right] \times Fd}{[22]}$$

Reemplazando se tiene:

$$\begin{aligned} N_{80 \text{ KN carril diseño (normal) año base}} &= 365 [(27 * 0.3 * 1.0) + (27 * 0.37 * 1.01) + (27 * 0.22 * 2.72) \\ &\quad + (27 * 0.11 * 3.72)] * 0.5 \end{aligned}$$

$$N_{80 \text{ KN carril diseño (normal) año base}} = 8285$$

Se procede ahora a calcular el número acumulado de ejes equivalentes en el carril de diseño para el período de diseño (n) (tránsito normal):

$$N_{80 \text{ KN carril diseño (normal) acumulado}} = N_{80 \text{ KN carril diseño (normal) año base}} \times \frac{(1+r)^n - 1}{r} [23]$$

Con $r = 3\%$ y $n = 10$ años, se tiene:

$$N_{80 \text{ KN carril diseño (normal) acumulado}} = 8285 \times \frac{(1 + 0.03)^{10} - 1}{0.03}$$

$$N_{80 \text{ KN carril diseño (normal) acumulado}} = 94979$$

Se calcula el número de ejes equivalentes en el carril de diseño durante el período de diseño (tránsito normal) con el nivel de confianza dado mediante la siguiente ecuación:

$$N'_{80 \text{ KN carril diseño (normal)}} = N_{80 \text{ KN carril diseño (normal) acumulado}} \times (10^{0.05Z_r})$$

$$N'_{80 \text{ KN carril diseño (normal)}} = 94979 * (10^{0.05 \times 0.524})$$

$$N'_{80 \text{ KN carril diseño (normal)}} = 100886$$

Para la determinación de la componente de tránsito atraído del presente estudio y básicamente por la dificultad en la obtención de información detallada sobre usos del suelo actual, potencial y probables rendimientos se ha determinado conveniente estimar esta componente a partir de la tabla 14.3 del Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para Vías con bajos volúmenes de tránsito.

Tabla 14.3 Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal

Clasificación del área del proyecto	Población beneficiada, hab	Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal
Area con potencial minero alto	Menos de 5000	3.0
	5000 o más	6.0
Area con potencial agrícola alto	Menos de 5000	2.5
	5000 o más	5.5
Area con potencial turístico alto	Menos de 5000	2.0
	5000 o más	3.5
Area con bajo potencial de desarrollo		1.5

Se considera que la zona del proyecto tiene potencial minero y agrícola destacable por lo que se determina tomar un valor de 3.0 como porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal teniendo en cuenta que la población beneficiada es inferior a 5000 habitantes.

Finalmente se calcula el número de ejes equivalentes en el carril de diseño durante el período de diseño:

$$N^*_{80 \text{ KN carril diseño}} = 100886 + 0.03 * 100886$$

$$N^*_{80 \text{ KN carril diseño}} = 103913$$

El Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para Vías con bajos volúmenes de tránsito clasifica el tránsito de diseño en 2 niveles, en función del número de ejes equivalentes de 80 kN previstos durante el período de

diseño en el carril de diseño. En la siguiente tabla se indican las categorías de tránsito adoptadas por el Manual.

Tabla 14.4 Niveles de tránsito

Nivel de Tránsito	No. De ejes equivalentes de 80 KN durante el periodo de diseño en el carril de diseño
T1	< 150.000
T2	150.000 - 500.000

De acuerdo con el total de ejes equivalentes de 80 KN obtenidos el nivel de tránsito obtenido para la vía en estudio es T1.

14.4 DETERMINACION DE LA CATEGORIA DE CLIMA

De acuerdo con el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para Vías con bajos volúmenes de tránsito es posible determinar la categoría de clima de la zona del proyecto en base a la humedad y a la temperatura. La primera de ellas se realiza mediante la determinación del Índice de Thornthwite que es una combinación del Índice de humedad y del Índice de aridez

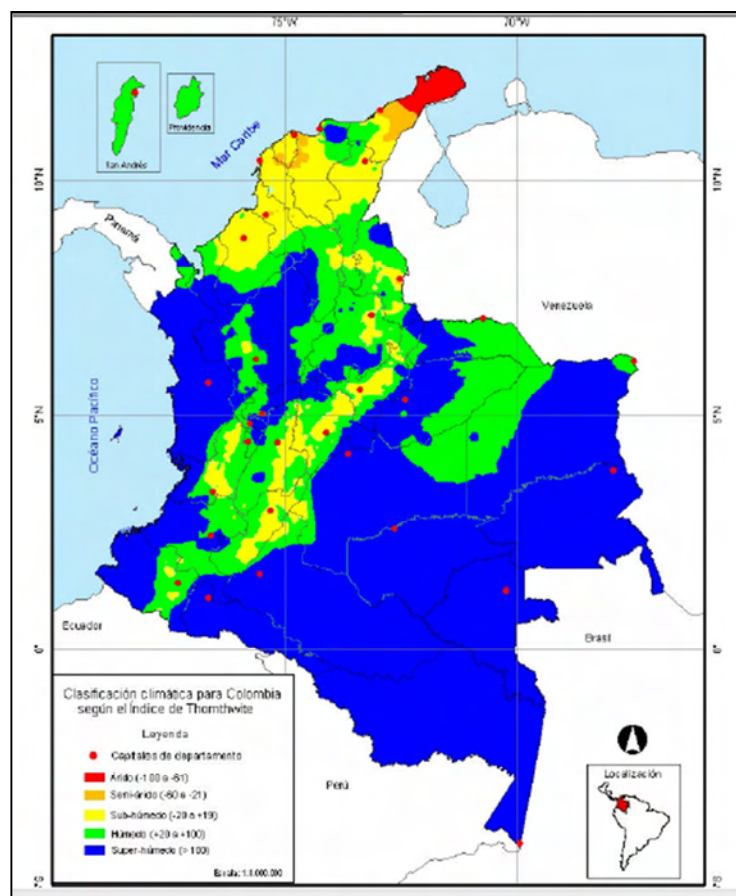
En la siguiente tabla se presentan las categorías de clima por humedad con base en el Índice de Thornthwite:

Tabla 14.5 Clasificación climática de Thornthwite

Categoría	Descripción	Indice de Thornthwite I_m
Árido	Muy pocas lluvias, alta evaporación	-100 a -61
Semi-árido	Pocas lluvias	-60 a -21
Sub-húmedo	Lluvia moderada ó lluvia fuertemente estacional	-20 a +19
Húmedo	Lluvia estacional calurosa moderada	+20 a +100
Superhúmedo	Lluvias con alta frecuencia o muchos días con superficie húmeda	$I_m > 100$

En la siguiente figura muestra el mapa de climas de Colombia acorde con esta clasificación climática.

Figura 14.1 Mapa de climas de Colombia



Para la zona del proyecto se tendría entonces categoría de clima Súper-húmedo, en cuanto a categoría por humedad.

En cuanto a la categorización del clima por temperatura el criterio del Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para Vías con bajos volúmenes de tránsito se basa en la temperatura media diaria del aire de los siete (7) días consecutivos más calientes del año, las categorías contempladas se indican a continuación:

Tabla 14.6 Categorías de clima por temperatura

Categoría de clima	Temperatura media diaria del aire histórica, de los siete (7) días consecutivos más calientes del año T7 días (°C)
Frío	$T7 \text{ días} \leq 20$
Templado	$20 < T7 \text{ días} \leq 30$
Caliente	$T7 \text{ días} > 30$

Teniendo en cuenta que la temperatura media anual de la zona del proyecto es de 15 °C se tiene entonces categoría de clima Frío.

14.5 CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE

Dadas las condiciones de uniformidad en cuanto a topografía, geología, tránsito, clima y posibilidad de utilizar el afirmado existente de la vía San Francisco – Inspección de policía de San Antonio se considera una unidad definitiva de diseño para el presente proyecto y de acuerdo con el levantamiento topográfico la longitud total de la vía a diseñar es de 2.121,9 m.

En concordancia con lo anterior se atenderá las recomendaciones realizadas por el Manual de Diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito en lo referente a conservar el alineamiento en planta de la vía existente, mantener inalterado su afirmado y, además, poder utilizarlo como parte de la estructura del pavimento a construir.

Tal y como se explico en lo concerniente al diseño en concreto rígido de este tramo de vía para determinar la capacidad de soporte de la subrasante se realizó el respectivo estudio de suelos en donde se realizaron seis sondeos, en los cuales se realizaron ensayos de Penetrómetro dinámico de Cono (PDC) y se tomaron muestras alteradas del afirmado y suelo de subrasante con el fin de realizar ensayos de granulometría y límites de Atterberg. Los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos realizados se presentan en los anexos del presente documento.

Dado que en tres de los seis sondeos realizados se encontró presencia de nivel freático a profundidades inferiores a 1.50 m se ha previsto la construcción de subdrenes longitudinales de acuerdo a la recomendación planteada por el estudio geotécnico realizado.

De acuerdo con el estudio geotécnico adelantado la capa de subrasante del proyecto corresponde a una arena limosa color gris clasificada según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos como SM, de igual manera se tiene que la capa de rodadura corresponde a un material areno limoso color gris verdoso clasificado según el S.U.C.S. como SM.

En el diseño en concreto rígido de esta vía se indicó los valores de CBR obtenidos mediante correlación con PDC y de igual manera se explicó el criterio para seleccionar el valor del CBR de diseño de la unidad homogénea, el cual se ha decidido mantener para el diseño del pavimento en concreto asfáltico, por tanto el valor de CBR de diseño de 30%.

Una vez establecido el valor del CBR de la subrasante de la Unidad definitiva de diseño se calcula el valor del Módulo Resiliente, utilizando la correlación propuesta por la AASHTO que se indica a continuación.

$$M_r = 2555 * (CBR)^{0.64} \quad [24]$$

Donde:

M_r : Valor Módulo resiliente en libras por pulgada cuadrada (lb/plg²) o PSI

CBR: En porcentaje

Reemplazando se tiene:

$$CBR_{DISEÑO} = 30$$

$$M_{r\ DISEÑO} = 2555 * (30)^{0.64}$$

$$M_r = 22529\ psi$$

14.6 CATEGORIA DE LA SUBRASANTE

Con el propósito de establecer los tipos de estructura de pavimento más compatibles con la capacidad de soporte de la subrasante, el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para Vías con bajos volúmenes de tránsito ha definido las categorías que se indican en la Tabla:

Tabla 14.7 Categorías de la subrasante.

CATEGORIA	CBR (%)	COMPORTAMIENTO COMO SUBRASANTE
S1	$CBR \leq 3$	Malo
S2	$3 < CBR \leq 5$	Regular
S3	$5 < CBR \leq 10$	Bueno
S4	$CBR > 10$	Muy Bueno

De acuerdo con esta clasificación y el CBR adoptado de la unidad definitiva de diseño se tiene para la subrasante del proyecto en estudio una categoría de S4.

14.7 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

14.7.1 Alternativas estructurales

Se considera que la capa de afirmado existente de la vía se puede aprovechar como parte de la estructura de pavimento, esta condición se ha tenido en cuenta para el diseño geométrico en perfil de la vía, por tanto se considerará una capa de afirmado de 20 cm de espesor para todos los análisis estructurales.

De acuerdo a lo contemplado en el Manual de diseño para vías en donde se involucra el afirmado existente se tienen las siguientes alternativas estructurales:

Tabla 14.8 Alternativas estructurales

Alternativa 1:	TSD + BG + SBG
Alternativa 2:	TSD + BG + BEC
Alternativa 3:	MDF-2 + BG + SBG
Alternativa 4:	MDF-2 + BEE-3 + SBG (eventualmente)
Alternativa 5:	MDC-2 + BG + SBG
Alternativa 6:	MDC-2 + BG + BEC

Las capas que involucra cada alternativa tienen las siguientes convenciones:

TSD:	Tratamiento Superficial Doble. Artículo 431 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del INV
BG:	Base Granular. Artículo 330
SBG:	Subbase Granular. Artículo 320
BEC:	Suelo estabilizado con cemento Portland. Artículo 341
MDF-2:	Mezcla Densa en Frío Tipo 2. Artículo 440
BEE-3:	Suelo estabilizado con emulsión. Artículo 340
MDC-2:	Mezcla Densa en Caliente Tipo 2. Artículo 450
AFR:	Afirmado. Artículo 311
CSR:	Capa de Subrasante. Artículo 220

Para el diseño de la estructura se emplea el programa de computador PAV-NT1, complemento del Manual de diseño de pavimentos asfálticos, este

programa calcula las alternativas estructurales con base en los siguientes parámetros generales.

14.8 Algoritmo de diseño del Método AASHTO-93

La ecuación básica de diseño empleado para el dimensionamiento de las estructuras, propuesta por la AASHTO, tiene en cuenta condiciones de tránsito, confiabilidad, serviciabilidad y resistencia de la subrasante. El algoritmo es el siguiente:

$\log N =$

$$Z_r * S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \log \frac{\frac{\Delta psi}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log(Mr) - 8.07$$

[25]

Donde:

$N_{80 \text{ kN}}$: Número acumulado de ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

Z_r, S_o : Parámetros de confiabilidad en el diseño

SN : Número estructural

ΔPSI : Pérdida de servicialidad ΔPSI : 2.2

Mr : Módulo resiliente de la subrasante, en psi.

14.8.1 Confiabilidad

El Manual de Diseño sugiere adoptar un nivel de confiabilidad en el diseño del setenta por ciento (70%), lo cual significa que existe el 70% de probabilidad de que el pavimento llegue a su falla funcional después de que se haya acumulado el número de ejes de 80 kN previstos para el diseño.

14.8.2 Coeficientes estructurales

El Manual de Diseño asume para las diferentes capas estructurales los coeficientes a_i que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 14.9 Coeficientes estructurales capas del pavimento

Tipo de Capa		Clasificación climática por temperatura	a_i
Descripción de la Capa	Nomenclatura		
Mezcla asfáltica densa en caliente tipo 2	MDC-2	Frío	0.44
		Templado	0.41
		Cálido	0.37
Mezcla asfáltica densa en frío tipo 2	MDF-2	Frío	0.40
		Templado	0.37
		Cálido	0.34
Suelo estabilizado con emulsión asfáltica	BEE-3	Todas las categorías	0.14
Suelo estabilizado con cemento Portland	BEC	Todas las categorías	0.14
Base granular	BG	Todas las categorías	0.14
Subbase granular	SBG	Todas las categorías	0.12
Afirmado que cumple la especificación INV. Artículo 311	AFR-1	Todas las categorías	0.08
Afirmado que no cumple la especificación INV. Artículo 311	AFR-2	Todas las categorías	0.06

14.8.3 Coeficientes de drenaje de las capas granulares no tratadas

Para tomar en cuenta el efecto del grado de saturación que podrían tener las capas granulares no tratadas por efecto de las condiciones climáticas, el Manual de Diseño ha adoptado, en función de la categoría de clima por humedad, los coeficientes de drenaje m_i que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 14.10 Coeficientes de drenaje de las capas granulares no tratadas

Clasificación climática por humedad	m_i
Árido	1.15
Semi-árido	1.05
Sub-húmedo	1.00
Húmedo	0.95
Muy húmedo	0.85

En la siguiente figura se indica un detalle del programa de computador PAV-NT1

Figura 14.2 Detalle programa de computador PAV-NT1

Opciones Salir

# UH	Código Tramo	Abscisa Inicial (m)	Abscisa Final (m)	Longitud (m)	Ancho de Corona (m)	Ejes Equivalentes 80 KN (%)	CBR	Número Estructural	Costos por Alternativa (miles de pesos)						
									Requerido	1	2	3	4	5	6
1	T1	0.00	2,121.90	2121.90	6.00	1.04E+05	30.00	1.32	0	0	0	0	0	0	0
Costo Total:									0						

☐ Alternativa #1

BG (20.0)

SBG (15.0)

AFR (20.0)

☐ Alternativa #2

BG (15.0)

BEC (20.0)

AFR (20.0)

☐ Alternativa #3

MDF-2 (7.4)

BG (15.0)

SBG (15.0)

AFR (20.0)

☐ Alternativa #4

MDF-2 (5.0)

BEE-3 (15.0)

AFR (20.0)

☒ Alternativa #5

MDC-2 (6.7)

BG (15.0)

SBG (15.0)

AFR (20.0)

☐ Alternativa #6

MDC-2 (6.7)

BG (15.0)

BEC (20.0)

AFR (20.0)

Espesores en cm

Imprimir
 Unidades Homogéneas de Diseño Alternativas de Diseño Costos Alternativas Alternativas Seleccionadas

Se obtienen las siguientes alternativas estructurales:

Tabla 14.11 Alternativas estructurales

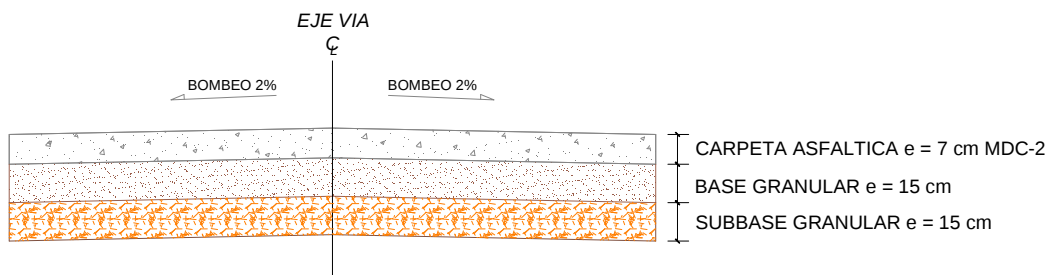
ALT 1		ALT 2		ALT 3		ALT 4		ALT 5		ALT 6	
Tipo Capa	h (cms)	Tipo Capa	h (cms)	Tipo Capa	h (cms)	Tipo Capa	h (cms)	Tipo Capa	h (cms)	Tipo Capa	h (cms)
TSD		TSD		MDF-2	7.4	MDF-2	5	MDC-2	6.7	MDC-2	6.7
BG	20	BG	15	BG	15	BEE-3	15	BG	15	BG	15
SBG	15	BEC	20	SBG	15			SBG	15	BEC	20
AFR	20	AFR	20	AFR	20	AFR	20	AFR	20	AFR	20

14.9 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS FAVORABLE

De acuerdo con el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para Vías con bajos volúmenes de tránsito el criterio para elegir la alternativa estructural más favorable es el menor costo inicial de construcción. Analizando las alternativas estructurales obtenidas, se considera que la alternativa 5 cumple con los criterios de economía y en el medio existe la disponibilidad de materiales de construcción contemplados en ella, por tanto se considera esta alternativa como la más favorable en relación con todas las demás. Esta alternativa contempla la construcción de una capa de 15 cm de subbase

granular, sobre esta capa otra de 15 cm de base granular y finalmente una capa de 7 cm de mezcla asfáltica tipo MDC-2. Los materiales y procedimientos que se empleen en la construcción del pavimento deberán cumplir con todas las especificaciones técnicas desarrolladas para este efecto por el Instituto Nacional de Vías INVIAS (2007).

Figura 14.3 Detalle alternativa estructural seleccionada.



15 DISEÑO DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE EN LA VÍA SAN FRANCISCO – INSPECCION DE POLICÍA DE SAN ANTONIO MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO

El Diseño del Tratamiento superficial se realiza empleando los diferentes métodos existentes, con el objeto de que finalmente se obtenga, de un análisis juicioso de las diferentes variables, la solución estructural más apropiada para la para la pavimentación de la vía.

15.1 INFORMACIÓN EXISTENTE Y RECOPILADA

15.1.1 Condiciones climáticas de la zona

Clima:	Frío - húmedo
Altura sobre el nivel del mar:	2.100 m
Precipitaciones:	media
Temperatura media:	16 °C

15.1.2 Características de la vía y estructura de apoyo

Topografía:	Plana-ondulada.
Capa de apoyo:	Base granular de 20 cm de espesor debidamente imprimada apoyada sobre una sub base de 15 cm, de acuerdo con la alternativa estructural No. 1 obtenida en el diseño del pavimento asfáltico.

15.2 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL

Tabla 15.1 Principales características de las gravillas para el tratamiento superficial

GRAVILLA	PRIMER RIEGO	SEGUNDO RIEGO
% Pasa 3/4"	100	-----
% Pasa 1/2"	50.2	100
% Pasa 3/8"	6.2	73.4
% Pasa 1/4"	1.6	31.5
% Pasa N°4"	1.4	8
% Pasa N°8"	1.3	2.8
% Pasa N°20"	1.2	2.3
% Pasa N°200"	1.1	1.9
ENSAYOS		
Desgaste	13.70%	13.70%
Peso Específico	2.4	2.4
Coeficiente de Aplanamiento	13	
Densidad suelta (gr/cm ³)	1.583	1.558
Espesor mínimo promedio (mm)	10	5.3
Poder de recubrimiento (Kg/m ²)	17.4	9.3

Tabla 15.2 Características del ligante asfáltico

TIPO DE LIGANTE	EMULSIÓN ASFÁLTICA	ASFALTO LÍQUIDO
Porcentaje de asfalto	61%	75%
Peso Específico	0.98	0.99
Viscosidad	Alta	Alta

15.2.1 Condiciones de tránsito

Tránsito promedio diario en el año 2011 es de 62 vehículos.

Composición del tránsito: 56% Autos, 13% Buses y 31% Camiones.
Composición de camiones: 53% Tipo C2P, 32% Tipo C2G y 15% Tipo C3.

15.2.2 Selección del ligante

De acuerdo a las condiciones del proyecto se cuenta con la siguiente información:

- Clima frío
- Precipitación media
- Temperatura media 16°C
- Altura sobre el nivel del mar 2100m

Teniendo en cuenta la anterior información se selecciona como ligante para el tratamiento superficial, una emulsión asfáltica catiónica de rompimiento rápido (CRR) modificada.

15.3 DISEÑO POR FORMULACIÓN BASADA EN ENSAYOS DE LABORATORIO

15.3.1 Primer riego

DOSIFICACIÓN DE GRAVILLAS

Densidad Suelta = 1.583 (gr/cm³)

Poder de Recubrimiento = 17.4 (kg/m²)

$$\text{Dosificación de grava} \left(\frac{l}{m^2} \right) = \frac{\text{Poder de recubrimiento} \left(\frac{Kg}{m^2} \right)}{\text{Densidad suelta} \left(\frac{gr}{cm^3} \right)} \quad [26]$$

$$\text{Dosificación de grava} \left(\frac{l}{m^2} \right) = \frac{17.4}{1.583} = 11 \text{ lts/m}^2$$

LIGANTE PARA EL RIEGO 1

$$Vt \left(\frac{dm^3}{m^2} \right) = 10 \times 10 \times e = 10 \times 10 \times 0.1 = 10$$

$$Vg \left(\frac{dm^3}{m^2} \right) = \frac{P.R.}{\delta g} = \frac{17.4}{2.4} = 7.25$$

$$Vv \left(\frac{dm^3}{m^2} \right) = Vt - Vg = 10 - 7.25 = 2.75$$

$$V_{bitumen} \left(\frac{dm^3}{m^2} \right) = \frac{2}{3} \times Vv = \frac{2}{3} \times 2.75 = 1.83$$

$$Dosificación\ de\ ligante \left(\frac{kg}{m^2} \right) = Vb \times \delta b = 1.83 \times 0.98 = 1.8 \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

15.3.2 Segundo riego

DOSIFICACIÓN DE GRAVILLAS

$$Densidad\ Suelta = 1.558 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$Poder\ de\ Recubrimiento = 9.3 \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

$$Dosificación\ de\ gravilla \left(\frac{l}{m^2} \right) = \frac{Poder\ de\ recubrimiento \left(\frac{Kg}{m^2} \right)}{Densidad\ suelta \left(\frac{gr}{cm^3} \right)} \quad [27]$$

$$Dosificación\ de\ gravilla \left(\frac{l}{m^2} \right) = \frac{9.3}{1.558} = 5.97 \text{ lts/m}^2$$

Para la dosificación se asume un desperdicio del 5%

Luego:

$$Dosificación\ de\ gravilla = (5.97) \times 1.05 = 6.3 \text{ lts/m}^2$$

LIGANTE PARA EL RIEGO 2

$$Vt \left(\frac{dm^3}{m^2} \right) = 10 \times 10 \times e = 10 \times 10 \times 0.053 = 5.3$$

$$Vg \left(\frac{dm^3}{m^2} \right) = \frac{P.R.}{\delta g} = \frac{9.3}{2.4} = 3.9$$

$$Vv \left(\frac{dm^3}{m^2} \right) = Vt - Vg = 5.3 - 3.9 = 1.4$$

$$V_{bitumen} \left(\frac{dm^3}{m^2} \right) = \frac{2}{3} \times Vv = \frac{2}{3} \times 1.4 = 0.93$$

$$Dosificación\ de\ ligante \left(\frac{kg}{m^2} \right) = Vb \times \delta b = 0.93 \times 0.98 = 0.91 \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

15.3.3 Correcciones de la Dosificación por Reacomodo, Afinidad y Concentración

$$LTR = (LR1 + LR2) = (1.80 + 0.91) = 2.71 \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

Corrección por reacomodo:

$$LTR = (LR1 + LR2) \times 0.8 = (1.80 + 0.91) \times 0.8 = 2.17 \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

Corrección por afinidad:

$$LTR = [(LR1 + LR2) \times 0.8] \times 0.9 = [(1.80 + 0.91) \times 0.8] \times 0.9 = 1.95 \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

PORCENTAJE DE EMULSIÓN REQUERIDA

$$Emulsión \left(\frac{kg}{m^2} \right) = \frac{LTR}{C.E.} = \frac{1.95}{0.61} = 3.20 \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

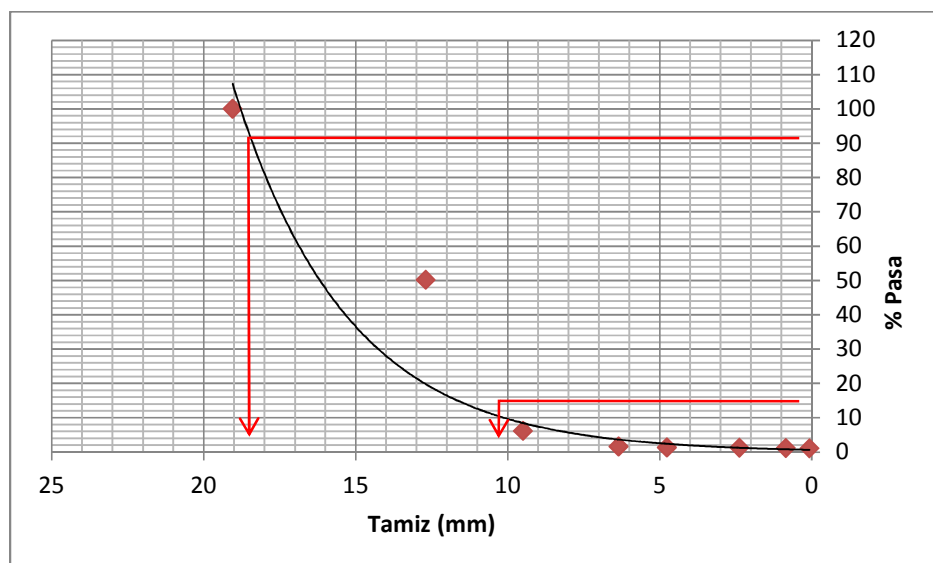
15.4 DISEÑO POR FORMULACIÓN BASADA EN DOSIFICACIONES TEÓRICAS MÉTODO DE LICKENHEIL

Para el primer riego de gravilla se tiene la siguiente granulometría:

Tabla 15.3 Granulometría gravilla - primer riego

PRIMER RIEGO		
GRAVILLA	TAMIZ (mm)	% PASA
% Pasa 3/4"	19,05	100
% Pasa 1/2"	12,7	50,2
% Pasa 3/8"	9,5	6,2
% Pasa 1/4"	6,35	1,6
% Pasa N°	4,76	1,4
% Pasa N°8	2,38	1,3
% Pasa N°20	0,85	1,2
% Pasa N°200	0,074	1,1

Grafica 15.1 Curva granulométrica de gravilla – primer riego



De la gráfica se obtienen los valores de D (Abertura para la que pasa el 90% del material) y d (Abertura para la cual el 10% del material pasa).

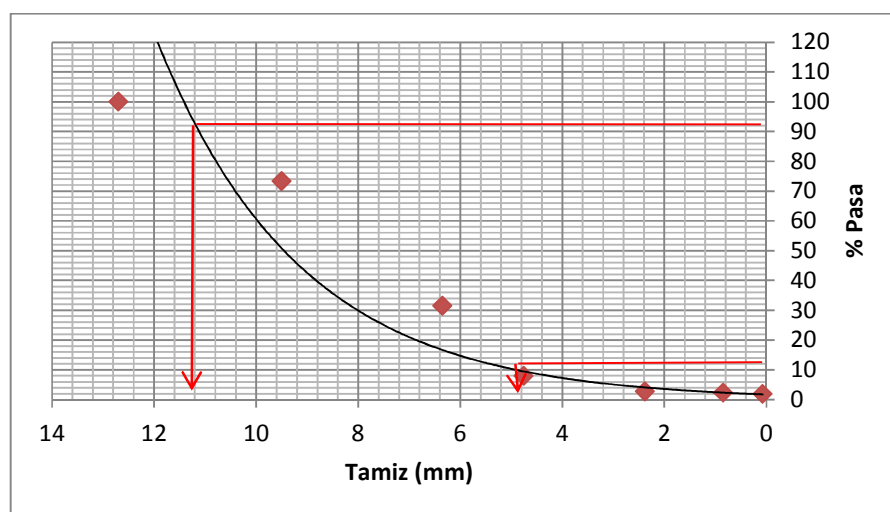
$$D = 18.5mm$$

$$d = 10mm$$

Tabla 15.4 Granulometría gravilla - segundo riego

SEGUNDO RIEGO		
GRAVILLA	TAMIZ (mm)	% PASA
% Pasa 3/4"	19,05	-----
% Pasa 1/2"	12,7	100
% Pasa 3/8"	9,5	73,4
% Pasa 1/4"	6,35	31,5
% Pasa N°	4,76	8
% Pasa N°8	2,38	2,8
% Pasa N°20	0,85	2,3
% Pasa N°200	0,074	1,9

Grafica 15.2 Curva granulométrica de gravilla – segundo riego



De la gráfica se obtienen los valores de D (Abertura para la que pasa el 90% del material) y d (Abertura para la cual el 10% del material pasa).

$$D = 11.2mm$$

$$d = 4.8mm$$

15.4.1 Diseño del primer riego

Tamaño medio (Δ) en mm:

$$\Delta(mm) = \frac{D + d}{2} = \frac{18.5 + 10}{2} = 14.25$$

Ya que $\Delta > 10$ mm, entonces:

$$Q = 0.90 \times \Delta = 0.90 \times 14.3 = 12.83 \text{ lt/m}^2$$

Cantidad de ligante residual:

$$LR1 = 0.10 \times Q = 0.10 \times 12.83 = 1.28 \text{ kg/m}^2$$

15.4.2 Diseño del segundo riego

Tamaño medio (Δ) en mm:

$$\Delta(mm) = \frac{D + d}{2} = \frac{11.2 + 4.8}{2} = 8$$

Ya que $\Delta < 10$ mm, entonces:

$$Q = 3 + 0.70 \times \Delta = 3 + 0.70 \times 8 = 8.6 \text{ lt/m}^2$$

Cantidad de ligante residual:

$$LR2 = 0.10 \times Q = 0.10 \times 8.6 = 0.86 \text{ kg/m}^2$$

Cantidad de ligante total

$$LRT = LR1 + LR2 = 1.28 + 0.86 = 2.14 \text{ kg/m}^2$$

15.4.3 Cantidad de emulsión requerida

$$Emulsión \left(\frac{kg}{m^2} \right) = \frac{2.14 kg/m^2}{0.61} = 3.5 kg/m^2$$

15.5 DISEÑO POR EL MÉTODO CRR (BÉLGICA)

15.5.1 Diseño del primer riego

$$\Delta(mm) = \frac{D + d}{2} = \frac{18.5 + 10}{2} = 14.25$$

Cantidad de gravilla:

$$Q \left(\frac{lbs}{m^2} \right) = \Delta - \frac{\Delta^2}{100} + R \quad [28]$$

Para $\Delta = 14.25mm$ se tiene que $R = 1.31$

$$Q \left(\frac{lbs}{m^2} \right) = 14.25 - \frac{(14.25)^2}{100} + 1.31 = 13.53 \left(\frac{lbs}{m^2} \right)$$

Cantidad de ligante residual:

$$L \left(\frac{kg}{m^2} \right) = a + (b \times Q) \quad [29]$$

$a = 0.34$ para vías normales, vías imprimadas.

$b = 0.09$ para agregados naturales

$$L \left(\frac{kg}{m^2} \right) = 0.34 + (0.09 * 13.53) = 1.56 \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

15.5.2 Diseño del segundo riego

$$\Delta(mm) = \frac{D + d}{2} = \frac{11.2 + 4.8}{2} = 8$$

Cantidad de gravilla:

$$Q \left(\frac{lbs}{m^2} \right) = \Delta - \frac{\Delta^2}{100} + R$$

Para $\Delta = 8mm$ se tiene que $R = 1.1$

$$Q \left(\frac{lbs}{m^2} \right) = 8 - \frac{(8)^2}{100} + 1.1 = 8.5 \left(\frac{lbs}{m^2} \right)$$

Cantidad de ligante residual:

$$L \left(\frac{kg}{m^2} \right) = a + (b \times Q)$$

$a = 0.34$ para vías normales, vías imprimadas.

$b = 0.09$ para agregados naturales

$$L \left(\frac{kg}{m^2} \right) = 0.34 + (0.09 * 8.5) = 1.10 \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

Cantidad de ligante total:

$$LRT = LR1 + LR2 = 1.56 + 1.10 = 2.66 \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

15.5.3 Cantidad de emulsión requerida

$$Emulsión \left(\frac{kg}{m^2} \right) = \frac{2.66}{0.61} = 4.36 \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

15.6 DISEÑO POR MÉTODO SHELL

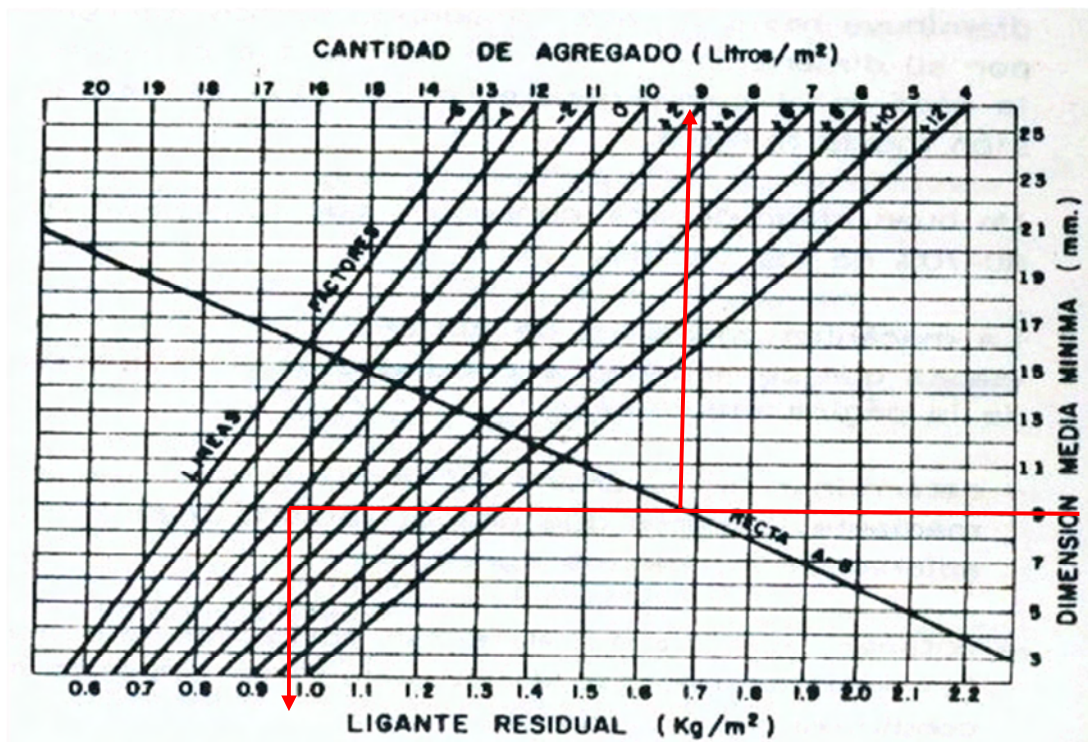
15.6.1 Diseño del primer riego

Tabla 15.5 Factor de corrección del ligante

PARÁMETRO	CONDICIONES	FACTOR
TRÁNSITO (TPD)	62	+3
ESTADO DE CARRETERA	SIN TRATAR	+6
AGREGADOS	CÚBICOS	0
CLIMA	HUMEDO Y FRIO	+2
SUMA		+11

Para obtener la cantidad de agregado y de ligante, se usa el ábaco SHELL, teniendo en cuenta el factor de corrección previamente encontrado

Grafica 15.3 Cantidad de agregado y de ligante – primer riego

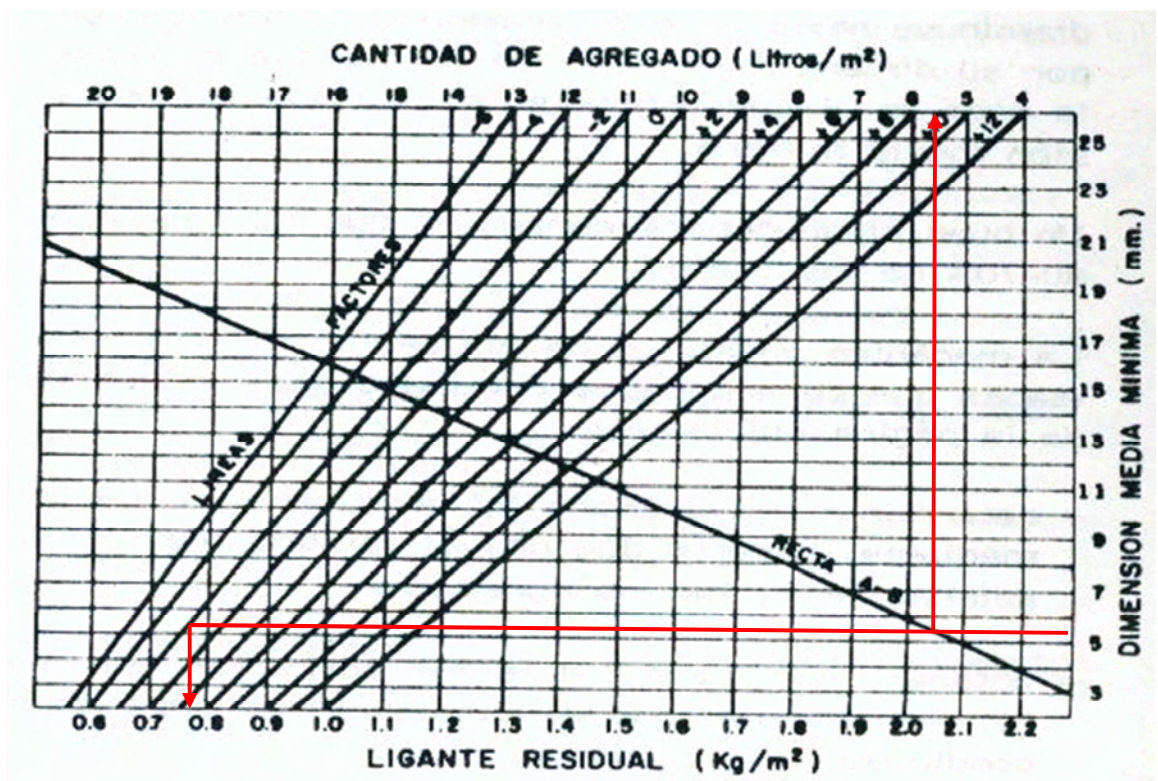


De la grafica se tiene que para el primer riego

15.6.2 Diseño del segundo riego

A partir del factor de corrección y el espesor mínimo promedio para la gravilla del segundo riego, se obtiene el la cantidad de agregado y de ligante residual

Grafica 15.4 Cantidad de agregado y de ligante – segundo riego



De la grafica se tiene que para el primer riego

$$LR2 = 0.77 \text{ kg/m}^2$$

$$LRT = LR1 + LR2 = 0.93 + 0.77 = 1.70 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)$$

15.6.3 Cantidad de emulsión requerida

$$\text{Emulsión} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) = \frac{1.70}{0.61} = 2.79 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)$$

15.7 COMPARACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE LIGANTE RESIDUAL OBTENIDO EN LOS DIFERENTES MÉTODOS

Tabla 15.6 Comparación de los contenidos de ligante residual obtenido en los diferentes métodos

MÉTODO	LR1 Kg/m ²	LR2 Kg/m ²	G1 Lt/m ²	G2 Lt/m ²	LRT Kg/m ²	Cant. de Emulsión Kg/m ²
ENSAYOS DE LABORATORIO	1,30	0,66	11	6,3	1,95	3.20
LICKENHEIL	1,28	0,86	12,83	8,6	2,14	3.50
CRR (Bélgica)	1,56	1,1	13,53	8,5	2,66	4.36
SHELL	0,93	0,77	10	5,6	1,70	2.79

15.8 ANALISIS DE RESULTADOS

De los resultados obtenidos para la cantidad de ligante residual, por los diferentes métodos, se tiene que el más adecuado es el valor obtenido por medio del método de ensayos de laboratorio. Esta dosificación puede ser incrementada, teniendo en cuenta los resultados de los otros métodos de cálculo, cuyos valores para la cantidad de asfalto residual son mayores y han

tenido en cuenta diferentes factores que afectan la cantidad necesaria de ligante en la mezcla.

16 ANALISIS COMPARATIVO DE LAS ALTERNATIVAS DE PAVIMENTACION DE LA VIA SAN FRANCISCO – INSPECCION DE POLICIA DE SAN ANTONIO

Es necesario precisar que la selección del tipo de pavimento para una vía en particular está determinada por muchas variables y se encuentran involucradas muchas personas con capacidad para influenciar esa decisión, por ello la escogencia de una solución en particular debe nacer del análisis juicioso de dichas variables y del consenso de los involucrados en la elección.

Las diversas variables a analizar a la hora de elegir un tipo de pavimento involucran criterios técnicos, factores económicos del país o de la zona, la disponibilidad de fuentes de materiales, su idoneidad y distancias de acarreo, ahorros de energía, entre otros más que pueden ser definitivos e inclinar la decisión tales como las condiciones ambientales o la disponibilidad de equipos y mano de obra.

De acuerdo con la información obtenida en el desarrollo del presente trabajo se analizarán diferentes criterios de tipo técnico y económico con el objeto de seleccionar la alternativa de pavimentación más adecuada, entre las alternativas de pavimento en concreto rígido o asfáltico estudiadas, para la vía San Francisco - Inspección de Policía de San Antonio

16.1 ASPECTOS TECNICOS

16.1.1 Disponibilidad de materiales de construcción

En cuanto a materiales de construcción en la zona de la vía en estudio se tiene la disponibilidad de agregados extraídos de las zonas aledañas a los ríos, principalmente de los ríos Putumayo y San Francisco y en cuanto a materiales de subbase granular y base granular se tiene disponibilidad de obtención en la quebrada Secayaco perteneciente a la zona rural del Municipio de San Francisco. Los materiales anteriormente mencionados han sido objeto de ensayos cualitativos obteniendo buenos resultados en cuanto a sus propiedades físico-mecánicas principalmente al ser empleados en la construcción de pavimentos de concreto. No obstante en la zona no existe disponibilidad de producción de mezcla asfáltica para pavimentos.

Analizando las dos alternativas de pavimentación que se tienen para la vía se puede decir que para la construcción de un pavimento en concreto se

tiene disponibilidad de todos los materiales de construcción necesarios mientras que para la construcción de un pavimento asfáltico se debe instalar en la zona temporalmente una planta de producción de mezcla asfáltico o estudiar la posibilidad de transportar la misma desde la ciudad de Pasto en el departamento de Nariño constituyendo esto un gran gasto de energía para el proyecto.

16.1.2 Suelo de subrasante

Dadas las buenas condiciones de resistencia encontradas de acuerdo con el estudio geotécnico adelantado en la vía se puede decir que las dos alternativas de pavimentación son competitivas, sin embargo esta condición se debe evaluar durante la etapa de construcción del pavimento a fin de identificar posibles áreas compresibles y heterogéneas que puedan presentar asentamientos diferenciales.

16.1.3 Clima

De igual manera se puede afirmar que los dos tipos de pavimento tendrían buen comportamiento de acuerdo con la categoría de clima frío que se tiene en la región, anotando que es en zonas de altas temperaturas en donde el pavimento asfáltico puede presentar deformación bajo la circulación de cargas pesadas y el pavimento de concreto puede tener cierta ventaja.

16.2 ASPECTOS ECONOMICOS

16.2.1 Costos de construcción y conservación

En cuanto a los costos de construcción de las alternativas de pavimento se tiene que para la construcción de los 2,128 Km en pavimento de concreto se tendrían que invertir dos mil quinientos diez millones ciento tres mil ochocientos diez y siete pesos con treinta y tres centavos (\$ 2.510.103.817,33) valor establecido de acuerdo con el análisis de los precios de mercado de la zona para el año 2011 y de igual manera para la construcción del pavimento asfáltico se necesitaría una inversión de mil setecientos cuarenta millones ciento ochenta y siete mil ochocientos cincuenta y seis pesos con cincuenta centavos (\$ 1.740.187.856,50). Sin embargo una de las dificultades que se presenta para la comparación de costos entre estas alternativas es que la vida útil de las dos alternativas es diferente, mientras para la alternativa de pavimento asfáltico es de diez años, la del de concreto es de veinte años.

En referencia a los costos de mantenimiento se debe precisar que estos dependerán en gran medida de la solidez de la estructura de pavimento en el

momento de la construcción pues estos serán más altos cuando el pavimento tiene una estructura débil. El pavimento en concreto presenta ciertas ventajas en cuanto tiene que ver con su longevidad y bajos costos de mantenimiento, siempre y cuando, como sucede en cualquier obra este concebido y bien construido de lo contrario demandará reparaciones costosas y difíciles de ejecutar. De igual manera existe una ventaja para los usuarios de un pavimento de concreto y ella es que son escasos los cierres para acometer las reparaciones, lo cual mantiene constantes los costos de operación y permite tener disponibilidad del servicio.

Si se tiene en cuenta que en la zona de la vía en estudio no se cuenta con disponibilidad de producción de mezcla asfáltica serán mucho más altos los costos de mantenimiento y reparación de un pavimento asfáltico que uno de concreto.

16.3 OTROS FACTORES

Entre otros factores a analizar se encuentra la disponibilidad de la mano de obra de la región, dadas las características técnicas de la vía a pavimentar sería mucho más conveniente la construcción de un pavimento de concreto pues estos se construyen con medios muy sencillos, equipos simples, herramientas de fácil consecución y el uso de mano de obra con baja capacitación.

Otro factor muy importante a tener en cuenta es la financiación de las obras, cuando se consiguen recursos para la construcción pero no para el mantenimiento el Manual de Diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito recomienda la construcción de los pavimentos de concreto a los de asfalto, en referencia también a esto expresa "También resultan económicos los pavimentos de concreto cuando se consiguen con recursos con bajos intereses, cuando estos suben son más adecuados los pavimentos de asfalto, dado que se pueden diferir las inversiones a otros momentos"

CONCLUSIONES

Los estudios técnicos realizados entre ellos, *levantamiento topográfico*, *estudio de tránsito* y *estudio geotécnico* se constituyeron en herramientas fundamentales para realizar el estudio de alternativas en cuanto a diseño geométrico y de estructuras de pavimento de la vía “San Francisco – Inspección de Policía de San Antonio”

El mejoramiento del diseño geométrico de la vía “San Francisco – Inspección de Policía de San Antonio”, permitió obtener una carretera cuyos elementos geométricos se ajustan a las especificaciones del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras – 2008, por tanto, la propuesta planteada optimizará las condiciones de seguridad y comodidad y proporcionará además niveles óptimos de operación y economía para sus usuarios.

El dimensionamiento de las diferentes alternativas de pavimentación permitió conocer sus respectivas características y realizado el análisis comparativo entre ellas a partir de criterios técnicos y económicos se determinó que la estructura de pavimento más apropiada para el mejoramiento de la vía “San Francisco – Inspección de Policía de San Antonio” es la de concreto rígido.

RECOMENDACIONES

Realizar los diseños y localización de elementos complementarios para garantizar un apropiado drenaje

A partir del análisis económico de los precios del mercado de la zona y los diseños técnicos realizados se obtendrá el presupuesto general de las obras de mejoramiento y pavimentación tanto para la construcción en pavimento de concreto y asfáltico de la vía “San Francisco – Inspección de Policía de San Antonio”

Realizar la formulación del proyecto mediante el diligenciamiento de la Metodología General Ajustada para que el proyecto pueda ingresar al sistema “Banco de proyectos de inversión” del Departamento Nacional de Planeación y se pueda gestionar de recursos para su construcción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas Colombianas para presentación de trabajo. Bogotá: ICONTEC, 2011.

CHOCONTA ROJAS, Pedro Antonio. DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS. 2ª ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Santafé de Bogotá, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para Vías con Bajos Volúmenes de Transito, Santafé de Bogotá, 2007.

INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO, Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para Vías con Bajos, Medios y Altos Volúmenes de Transito, Bogotá, Colombia, 2008.

GARCES CARDENAS, Claudia María, GARRO COCIO, Olga María, PAVIMENTOS, Universidad de Medellín, Medellín, 2005

MUÑOZ RICAURTE, Guillermo, PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO, 1ª ed. Pasto: Universidad de Nariño, 2002

DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA, Obras de Drenaje y Protección de Carreteras, Medellín, Secretaria de Obras Publicas, 1985.

MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO, Plan de Desarrollo “Fuerzas Unidas Forjando Progreso”, 2008

MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO, Esquema de Ordenamiento Territorial, 2007

ANEXOS

ANEXO A: CONTEO VEHICULAR

ESTUDIO DE TRANSITO

AFORADOR: OSCAR ROSERO VIA: SAN FRANCISCO - INSP SAN ANTONIO
 FECHA: 25-FEB-2011 CLIMA: SECO
 PERIODO: _____ REVISOR: ING. MIGUEL ANGEL SUAREZ

HORA	AUTOS	BUSES	CAMIONES		
			C2P	C2G	C3
6:00 - 7:00	2	2	—	—	—
7:00 - 8:00	4	2	2	1	1
8:00 - 9:00	2	—	2	1	—
9:00 - 10:00	1	—	2	—	—
10:00 - 11:00	2	—	—	—	1
11:00 - 12:00	5	—	—	1	—
12:00 - 1:00	1	2	—	—	—
1:00 - 2:00	5	2	2	—	—
2:00 - 3:00	2	—	—	—	—
3:00 - 4:00	2	—	1	1	—
4:00 - 5:00	3	—	1	2	—
5:00 - 6:00	5	—	—	—	—
6:00 - 7:00	1	—	—	—	—
TOTALES	35	8	10	6	2



C2P



C2G



C3

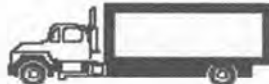
ESTUDIO DE TRANSITO

AFORADOR: OSCAR ROSERO VIA: SAN FRANCISCO - INSP. SAN ANTONIO
 FECHA: 26 - FEB - 2011 CLIMA: SECO
 PERIODO: _____ REVISOR: ING. MIGUEL ANGEL SUAREZ

HORA	AUTOS	BUSES	CAMIONES		
			C2P	C2G	C3
6:00 - 7:00	3	1	2	—	—
7:00 - 8:00	6	1	3	2	1
8:00 - 9:00	3	2	2	1	2
9:00 - 10:00	4	1	1	—	1
10:00 - 11:00	3	—	—	1	—
11:00 - 12:00	6	1	2	1	—
12:00 - 1:00	2	—	1	1	—
1:00 - 2:00	5	1	—	—	—
2:00 - 3:00	3	—	1	—	—
3:00 - 4:00	2	1	—	—	—
4:00 - 5:00	3	1	—	1	—
5:00 - 6:00	5	1	—	—	—
6:00 - 7:00	2	—	—	—	—
TOTALES	47	10	12	7	4



C2P



C2G

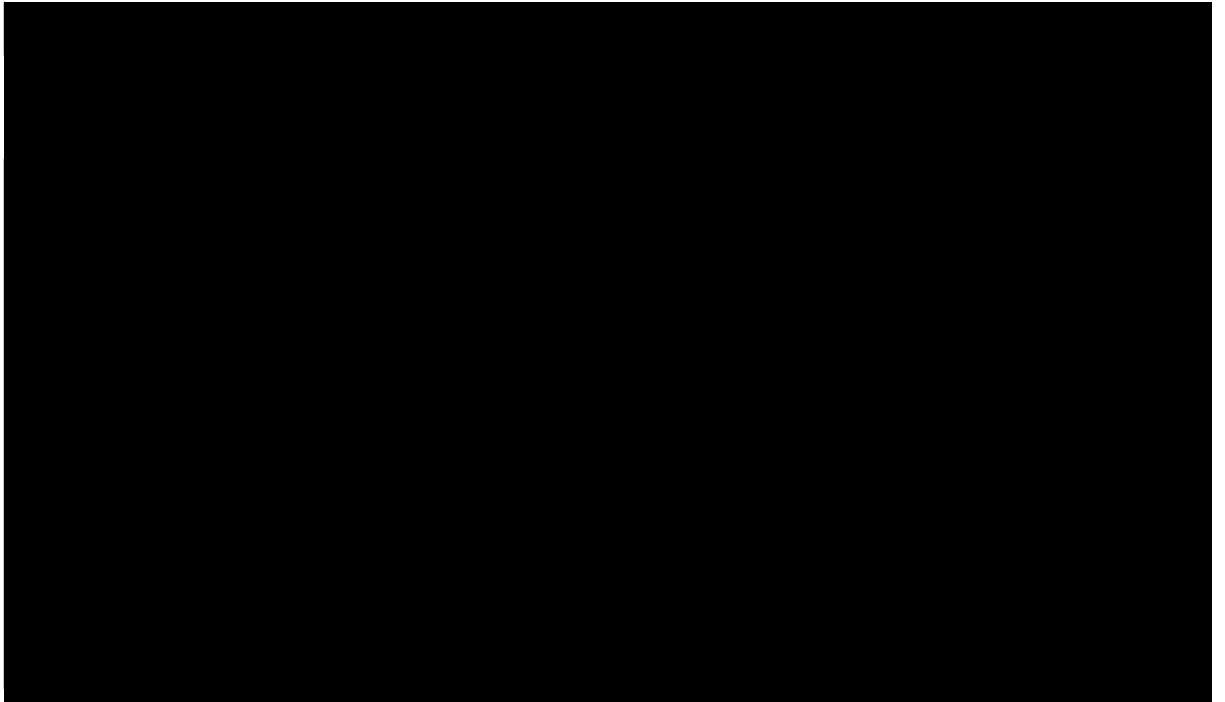


C3

ANEXO B: PRESUPUESTO GENERAL Y APU DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO DE LA CARRETERA EN ESTUDIO.

PRESUPUESTO PARA EL MEJORAMIENTO MEDIANTE PAVIMENTACION EN CONCRETO RIGIDO DE LA VIA SAN FRANCISCO - INSPECCION DE POLICIA DE SAN ANTONIO MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO					
CUADRO DE PRESUPUESTO GENERAL					
ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT.	VR UNITARIO	VR PARCIAL
1	PRELIMINARES				
<u>1.1</u>	LOCALIZACION Y REPLANTEO	ML	2,182.24	1,855.00	4,048,055.20
2	OBRAS DE DRENAJE Y SUBDRENAJE				
<u>2.1</u>	CONSTRUCCION FILTRO GEOTEXTIL NT 1600 Y TRTURADO 70X50 CM	ML	4,364.48	49,022.00	213,955,538.56
<u>2.2</u>	CONSTRUCCION ALCANTARILLA D=36" TUB CONCRETO (Incluye Cabezales concreto 3000 Psi)	UND	1.00	8,198,525.00	8,198,525.00
3	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
<u>3.1</u>	EXCAVACION A MAQUINA MATERIAL COMUN	M3	4,350.00	6,740.00	29,319,000.00
<u>3.2</u>	EXCAVACION MATERIAL COMUN A MANO H<1.5 m	M3	450.00	19,250.00	8,662,500.00
<u>3.3</u>	RELLENO MATERIAL SELECCIONADO DE LA EXCAVACION	M3	2,700.00	12,267.00	33,120,900.00
<u>3.4</u>	CONFORMACION Y COMPACTACION DE LA SUBRASANTE	M2	14,402.78	1,288.00	18,550,780.64
<u>3.5</u>	RETIRO Y DISPOSICION DE MATERIAL SOBRANTE DIST< 10 KM	M3	2,100.00	17,543.00	36,840,300.00
4	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO				
<u>4.1</u>	SUB BASE GRANULAR COMPACTA E=15 CM CBR MIN 30%	M3	2,258.62	54,790.00	123,749,789.80
<u>4.2</u>	PLACA EN CONCRETO RIGIDO MR = 3.8 MPA, e=16 cm (Incluye juntas de expansión o aislamiento con su respectivo refuerzo y sellado)	M2	14,402.78	84,615.00	1,218,691,229.70
<u>4.3</u>	CUNETAS CONCRETO 3000 PSI, Ancho: 0,50 m; E: 0,1 m	ML	4,364.48	54,007.00	235,712,471.36
TOTAL COSTO DIRECTO					1,930,849,090.26
ADMINISTRACION (17%)					328,244,345.34
IMPREVISTOS (8%)					154,467,927.22
UTILIDAD (5%)					96,542,454.51
COSTO TOTAL DE LA OBRA					2,510,103,817.33

**ANEXO C: PRESUPUESTO GENERAL Y APU DE PAVIMENTO FLEXIBLE
DE LA CARRETERA EN ESTUDIO.**

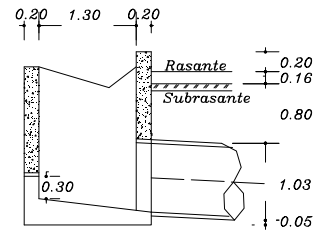
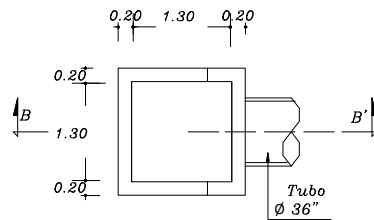
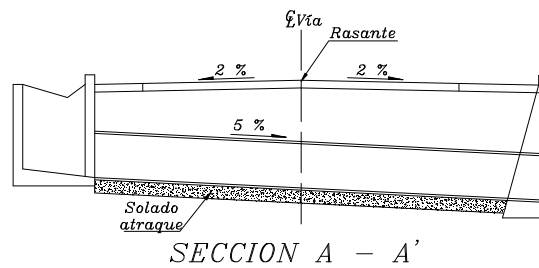
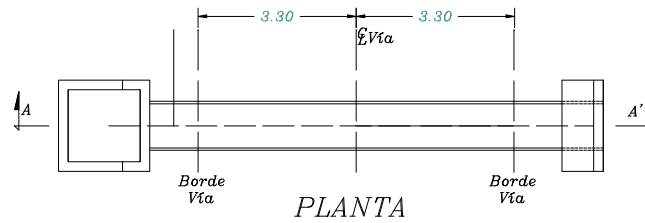


**ANEXO D: PLANOS DE LA VÍA: PLANTA, PERFIL Y SECCIÓN
TRANSVERSAL**

**ANEXO E: CARTERA DE LOCALIZACIÓN DE EJE DEFINITIVO EN
PLANTA**

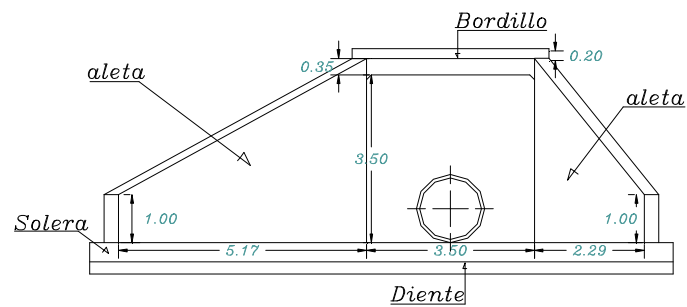
ANEXO F: CARTERAS DE MOVIMIENTO DE TIERRA

ANEXO G: DETALLE CONSTRUCTIVO ALCANTARILLA



PLANTA POCETA

PLANTA POCETA



DETALLE VISTA FRONTAL SALIDA DE LA OBRA
ESCALA 1 : 100

**ANEXO H: PROYECTO FINAL DILIGENCIADO EN LA METODOLOGÍA
GENERAL AJUSTADA**