

**DISEÑO GEOMETRICO Y DE PAVIMENTO RIGIDO DE LA CARRERA 13
ENTRE CALLE 24 Y VIA PERIMETRAL EN EL CASCO URBANO DEL
MUNICIPIO DE IPIALES - NARIÑO**

VICTOR HUGO LOPEZ GUAMANTICA

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

**DISEÑO GEOMETRICO Y DE PAVIMENTO RIGIDO DE LA CARRERA 13
ENTRE CALLE 24 Y VIA PERIMETRAL EN EL CASCO URBANO DEL
MUNICIPIO DE IPIALES - NARIÑO**

VICTOR HUGO LOPEZ GUAMANTICA

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Especialista en Ingeniería de Carreteras**

**Director:
Ing. ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ
Especialista en Ingeniería de Carreteras**

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

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en este trabajo 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 Asesor

ING. MIGUEL ANGEL GUDIÑO DAVILA

ING. JORGE LUIS ARGOTY BURBANO

San Juan de Pasto, Noviembre de 2011

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a mi familia, a mis amigos Gracias.

A la Universidad de Nariño, a los profesores y asesores Gracias por brindarme un espacio de formación e integración para alcanzar esta meta.

Y a los demás entes y personas que colaboraron con la realización de este trabajo.

RESUMEN

La vía en estudio “CARRERA 13 ENTRE CALLE 24 Y VIA PERIMETRAL”, hace parte de la red vial urbana del municipio de Ipiales- Nariño, colinda con el grupo Mecanizado No 3 Cabal, se localiza en el sector sur del casco urbano, convirtiéndose en corredor estratégico para conectar el oriente con el occidente de la ciudad.

La importancia del estudio radicó, en el desarrollo de alternativas que mejoren el acceso a los sectores más congestionados de la ciudad, por tal motivo, el estudio comprendió el diseño de la vía en el tramo localizado entre las abscisas K0+000 al K0+980.

El diseño se inició con la realización del levantamiento topográfico de la zona en la cual está localizada la vía existente y la proyectada, dicho trabajo se realizó con la utilización de una estación total, la cual arroja una serie de puntos, que son interpretados a través del software adecuado, generando el modelo del terreno y localización.

A través de una serie de herramientas del programa se realizó el diseño geométrico de la vía en planta y perfil, guiados siempre con las especificaciones técnicas del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS 2008.

Simultáneamente, se realizaron visitas de campo para la recolección de información para el desarrollo de los estudios de suelo y ensayos de laboratorio.

Posteriormente, con los resultados de los ensayos de suelo, y con la variable tránsito, se procedió a realizar el diseño del pavimento rígido por los métodos de: PCA y verificación por el método AASHTO.

ABSTRACT

The pathway under study "STREET RACE BETWEEN 24 AND 13 VIA PERIMETER", is part of the urban road network in the municipality of Ipiales-Nariño, adjacent to the group Machining Cabal No 3, is located in the south of the town, becoming strategic corridor to connect the east with the west of the city.

The importance of this study lies in the development of alternatives to improve access to the most congested in the city, for that reason, the study included the design of the road at the section located between the abscissas K0 K0 000 to 980.

The design began with the completion of survey of the area where the existing road is located and designed, this work was performed using a total station, which gives a series of points, which are interpreted through the right software, creating the terrain model and location.

Through a series of tools in the program was the geometric design of the road plan and profile, always guided by the technical specifications of the Manual of Geometric Design of Highways of the winter 2008.

Simultaneously, field visits were made to collect information for the development of soil studies and laboratory tests.

Subsequently, the results of soil tests, and the transit variable, we proceeded to perform the rigid pavement design methods: PCA and verification by the AASHTO method.

CONTENIDO

	Pág.
IINTRODUCCIÓN	17
1. MARCO TEÓRICO	21
1.1 DISEÑO GEOMÉTRICO	21
1.1.1 Controles para el diseño geométrico	21
1.1.2 Diseño en planta del eje de la vía.	24
1.1.3 Diseño en perfil del eje de la vía.	33
1.1.4 Diseño de la sección transversal	36
1.1.5 Intersecciones a desnivel	41
1.1.6 Señalización horizontal y vertical	42
1.2 DISEÑO DE PAVIMENTOS	43
2. ASPECTOS TECNICOS	47
2.1. GENERALIDADES	47
2.1.1. Localización	47
2.1.2. Especificaciones actuales de la vía	50
2.1.3. Zona de influencia	51
2.1.4. Generalidades del municipio de ipiales	51
2.1.5. Levantamiento topográfico	54
3. TRÁNSITO DE DISEÑO	55
3.1. ANÁLISIS DE LA SERIE HISTÓRICA	55
3.1.1. Tránsito	55
3.1.2. Proyección del volumen total del tránsito en el período de diseño	57
3.1.3. Distribución de cargas	58
4. DISEÑO GEOMETRICO	59
4.1. CONTROLES PARA EL DISEÑO GEOMETRICO	59
4.1.1. Velocidad de diseño	59
4.1.2. Distancia de visibilidad de parada	64

4.1.3.	Distancia de visibilidad de adelantamiento	64
4.1.4.	Distancia de visibilidad de cruce (dc)	65
4.2.	ALTERNATIVAS INICIALES DE TRAZADO	65
4.2.1.	Alternativa I	66
4.2.2.	Alternativa II	67
4.3.	DISEÑO EN PLANTA DEL EJE DE LA VIA	68
4.3.1.	Tangentes y curvas horizontales	68
4.4.	DISEÑO EN PERFIL DEL EJE DE LA VIA	80
4.4.1.	Tangente vertical	80
4.4.2.	Curvas verticales	80
4.5.	DISEÑO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	86
4.5.1.	Ancho de zona o derecho de vía	86
4.5.2.	Ancho de calzada	87
4.5.3.	Andenes y senderos peatonales	87
4.5.4.	Separadores de calzada	87
4.5.5.	Distancia de visibilidad bajo estructuras	90
5.	DISEÑO PAVIMENTO RIGIDO	92
5.1.	Parámetros de diseño estructural del pavimento.	92
5.1.1.	Resistencia de la subrasante	92
5.1.2.	Periodo de diseño (t)	92
5.1.3.	Resistencia de la capa de apoyo de la losa de concreto (k)	92
5.1.4.	Transferencia de carga y soporte lateral	93
5.1.5.	Propiedades del concreto	94
5.2.	METODO DE LA ASOCIACION DEL CEMENTO PORTLAND PCA	94
5.2.1.	Análisis de sensibilidad.	94
5.2.2.	Especificaciones de los materiales	97
5.3.	METODO AASHTO	98
5.3.1.	Servicibilidad	98
5.3.2.	Tráfico	98
5.3.3.	Transferencia de carga	99

5.3.4.	Tropiedades del concreto	99
5.3.5.	Subrasante	99
5.3.6.	Condiciones de drenaje	99
5.3.7.	Confiabilidad	99
6.	DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE	101
6.1.	MÉTODO AASHTO DE DISEÑO	101
6.1.1.	Tránsito (n)	101
6.1.2.	Serviciabilidad (Δ psi, po, pt)	102
6.1.3.	Confiabilidad	102
6.1.4.	Resistencia de la subrasante	102
6.1.5.	Propiedades de los materiales de la estructura del pavimento.	103
6.1.6.	Drenaje	107
6.1.7.	Número estructural	108
6.1.8.	Determinación de espesores.	111
6.2.	CHEQUEO DEL DISEÑO POR MÉTODO RACIONAL.	113
6.2.1.	Parámetros	113
6.2.2.	Clima	113
6.2.3.	Caracterización dinámica de materiales	115
6.2.4.	Modelo estructural	116
6.2.5.	Cálculo de esfuerzos y deformaciones	116
6.2.6.	Cálculo de esfuerzos () y deformaciones () admisibles	119
6.2.7.	Espesores definitivos	120
7.	PRESUPUESTO DE OBRA	121
7.1.	PAVIMENTO RIGIDO	121
7.2.	PAVIMENTO FLEXIBLE	122
7.3.	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	123
8.	DISEÑOS COMPLEMENTARIOS	131
8.1.	ESTRUCTURAS DE ALCANTARILLADO	131
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	133
10.	RECOMENDACIONES	134

BIBLIOGRAFIA

136

ANEXOS

137

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores de la velocidad de diseño de los tramos homogéneos (vtr) en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno	22
Tabla 2. Distancias de visibilidad de parada en tramos con pendiente	23
Tabla 3. Mínima distancia de visibilidad de adelantamiento para carreteras de dos carriles dos sentidos	23
Tabla 4. Coeficiente de fricción transversal máxima	31
Tabla 5. Radios mínimos para peralte máximo $e_{\max} = 8\%$ y fricción máxima	32
Tabla 6. Pendiente media máxima del corredor de ruta (%) en función de la velocidad de diseño del tramo homogéneo (vtr)	34
Tabla 7. Longitud mínima de la tangente vertical	34
Tabla 8. Ancho de zona	38
Tabla 9. Ancho de calzada (metros)	38
Tabla 10. Categorías de tránsito para la selección de espesores	44
Tabla 11. Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia	45
Tabla 12. Clasificación de los materiales de soporte para el pavimento de concreto	45
Tabla 13. Valores de resistencia a la flexo-tracción del concreto (módulo de rotura)	45
Tabla 14. Transito actual de la serie histórica de la estación de conteo 313	56
Tabla 15. Transito actual y distribución de vehículos conteos manuales	56
Tabla 16. Transito actual y distribución de vehículos	57
Tabla 17. Transito a futuro	57
Tabla 18. Espectro de carga deducido	58
Tabla 19. Velocidades de diseño según tipo de carretera y terreno	59
Tabla 20. Velocidad específica de una curva horizontal (vch) incluida en un tramo homogéneo con velocidad de diseño vtr	60

Tabla 21. Velocidad especifica vch, veth, vcv o vtv = (km/h)= 60km/h	64
Tabla 22. Datos de entrada para diseño de peraltas	74
Tabla 23. Transición del peraltado	75
Tabla 25. Cartera topográfica del alineamiento vertical	82
Tabla 26. Cartera de movimiento de tierra	88
Tabla 27. CBRs de diseño obtenidos por la correlacion con el ensayo PDC	92
Tabla 28. Valores representativos de calidad de subrasante	93
Tabla 29. Calidad de drenaje den las capas del pavimento	108

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Elementos del empalme espiral - espiral	26
Figura 2. Elementos del empalme espiral – círculo - espiral (simétrico)	27
Figura 3. Sección transversal típica en vías de doble calzada	37
Figura 4. Sección transversal típica en vías primarias y secundarias	37
Figura 5. Distancia de visibilidad bajo estructuras	40
Figura 6. Mapa vial municipio de ipiales	48
Figura 7. Mapa red vial del departamento de nariño	48
Figura 8. Macrolocalización del proyecto	49
Figura 9. Microlocalización proyecto	49
Figura 10. Tramo I. Vía en afirmado	50
Figura 11. Tramo II. Apertura de vía proyectada	50
Figura 12. Aspectos demográficos generales del municipio de ipiales	51
Figura 13. Localización del terminal de transporte con respecto al proyecto	53
Figura 14. Eje del diseño preliminar en planta	61
Figura 15. Asignación de la velocidad específica de las curvas horizontales vch – diseño preliminar del eje en planta. Determinación de la longitud de los segmentos rectos	61
Figura 16. Asignación de la velocidad específica de las curvas horizontales vch – asignación de la vch en uno y otro sentido de circulación	62
Figura 17. Sección transversal alternativa i	66
Figura 18. Sección transversal alternativa ii	67
Figura 19. Datos de ingreso de programa	95
Figura 20. Programa aashto	100
Figura 21. Curvas maestras del método shell. Frecuencia 10 hertz	104
Figura 22. Coeficiente estructural a1 de la carpeta asfáltica	105
Figura 23. Coeficiente estructural a2 base granular	106

Figura 24. Coeficiente estructural a3 subbase granular	107
Figura 25. Estructura del pavimento unidad de diseño	113
Figura 26. Relación entre temperatura efectiva de las capas y w- maat	114
Figura 27. Modelo estructural unidad de diseño 1	116
Figura 28. Esfuerzos y deformaciones	118

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Medio magnético	138

INTRODUCCIÓN

Los diseños geométricos de vías urbanas son un complejo campo de acción de la ingeniería, puesto que ellos demandan tener en cuenta no solo los factores propios matemáticos del diseño, sino también el impacto social y ambiental que el diseño pueda generar mediante la alteración del espacio; por tanto, teniendo en cuenta las implicaciones del mismo, se requiere la aplicación de las metodologías propias del diseño geométrico y de pavimentos que garanticen un mínimo impacto contraproducente en el sector, de igual manera que avalen la vida útil de la estructura y su funcionalidad.

Por su parte, el paulatino crecimiento de las necesidades de movilidad que se vienen presentando en el municipio de Ipiales sumado a una interconexión vial urbana no adecuada, son un indicativo de la importancia que tiene la proyección, diseño y posterior construcción de vías nuevas, que permitan el desarrollo económico de la región fronteriza para el caso específico, por este motivo se hace un enfoque en los diseños en la carrera 13 entre calle 24 y vía perimetral de este municipio, acorde a lo estipulado en el Plan de Ordenamiento Territorial con el propósito de dar solución a gran parte de los problemas de congestión vehicular que se vienen presentando.

Con base en lo anterior, se tiene como prioridad adelantar el desarrollo de obras de pavimentación de la malla vial urbana, por tal motivo, el presente trabajo de aplicación pretende ser una base sólida para la concepción de uno de estos proyectos.

ELEMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

TÍTULO

DISEÑO GEOMETRICO Y DE PAVIMENTO RIGIDO DE LA CARRERA 13 ENTRE CALLE 24 Y VIA PERIMETRAL EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE IPIALES – NARIÑO

Modalidad

Modalidad de trabajo de grado de aplicación.

Alcance y delimitaciones

Para el desarrollo del presente trabajo de aplicación se determinó un tramo de vía localizado en la carrera 13 entre calle 24 y vía perimetral en el casco urbano del municipio de Ipiales, con zona de Influencia localizada hacia el sector sur – oriental de la ciudad.

La vía en materia de estudio está fraccionada en dos (2) tramos: el primero consiste en un trazado existente creado por el tráfico y con una intervención en material de afirmado; que comienza en la intersección de la carrera 13 con calle 24 Barrio El manzano y finaliza a 50m de la calle 17 donde se inicia el segundo tramo proyectado que atraviesa bajo esta calle por un paso a desnivel y cruza terrenos privados hasta llegar a la intersección con la vía perimetral Barrio Ángel Felipe Sarasty – Urbanización La Dorada.

Los estudios y diseños de este trabajo, se concretan a la formulación de dos alternativas para el trazado de la vía y el diseño de pavimentos en concreto rígido, con el respectivo análisis de sensibilidad de la estructura.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Planteamiento del problema. Teniendo en cuenta que la vía es un trazado nuevo, se desconocen sus dimensiones y especificaciones estructurales que soporten un tránsito generado por esta vía.

Se debe recalcar que la red vial actual del municipio de Ipiales no ha sido suficiente para acelerar el flujo vehicular por los sectores céntricos de la ciudad, reflejándose en mayores tiempos de recorrido, mayores costos de operación, congestión vehicular, contaminación ambiental por partículas en suspensión, contaminación sonora y sobreutilización de algunos tramos y otros pobremente aprovechados.

Esto se debe principalmente a que no se cuenta con una red vial continua y estratégicamente conectada que de no contar con la construcción y materialización de los diseños, se prevé un caos vehicular a corto plazo en las vías del casco urbano del municipio especialmente en su sector céntrico.

Formulación del problema. ¿Cuál es el diseño geométrico y estructural definitivo del pavimento de la Carrera 13 entre calle 24 y vía perimetral que cumpla con la normatividad a nivel nacional aplicable a los requerimientos particulares del proyecto?

Sistematización del problema:

- ¿Cuál es el procedimiento adecuado para realizar el levantamiento topográfico de la vía con curvas de nivel y sistematizar la información teniendo en cuenta los aspectos relacionados con la localización geográfica del proyecto?
- ¿Qué tipo de software será más conveniente utilizar para estimar las alternativas iniciales de trazado con base en las condiciones de las intersecciones existentes y futuras?
- ¿Qué controles de diseño serán imperativos para el caso específico en la realización el diseño geométrico en planta y perfil?
- ¿Cuál es la mejor planeación de estudio de suelos y qué parámetros de diseño estructural del pavimento rígido requieren mayor atención?
- ¿Qué estructura de pavimento rígido satisface las condiciones de diseño con base en la metodología PCA, análisis de sensibilidad y chequeo con la metodología AASHTO para concluir verazmente?

OBJETIVOS

Objetivo general. Realizar el diseño geométrico y de pavimento rígido del trazado definitivo de la carrera 13 entre calle 24 y vía perimetral que cumpla con la normatividad a nivel nacional aplicable a los requerimientos particulares del proyecto.

Objetivos específicos:

- Realizar el levantamiento topográfico de la vía con curvas de nivel, debida localización geográfica, sistematización de la información y con una presentación de acuerdo a la normativa vigente.
- Realizar estudio de tránsito.
- Utilizar un software para estimar las alternativas iniciales de trazado.
- Realizar el diseño geométrico en planta y perfil.
- Realizar estudio de suelos y analizar los parámetros de diseño estructural del pavimento.

- Diseñar la estructura de pavimento requerida y análisis de sensibilidad utilizando un software de la metodología PCA para pavimentos rígidos y chequearlo con la metodología AASHTO.

JUSTIFICACIÓN

Ante los inconvenientes actuales y los antecedentes de este tipo de proyectos en el Municipio de Ipiales, se hicieron más sobresalientes las necesidades de contar con una infraestructura que permita el desarrollo de la actividad económica y social, por lo cual se requiere generar una base sólida para la concepción del proyecto de pavimentación que garantice la movilidad urbana en concordancia con el sistema de transporte en condiciones óptimas de seguridad, calidad y acordes con la normatividad vigente de acuerdo a las necesidades viales proyectadas, considerando a su vez el cumplimiento de las Normas de Diseño que indica el INVIAS (Instituto Nacional de Vías), y dictámenes de la Subsecretaría de Ordenamiento Territorial, Planeación Municipal entre otras vinculadas al proyecto.

La decisión de optar por estructuras de pavimento en concreto rígido, se debe principalmente a las ventajas que presenta con respecto a su bajo costo de mantenimiento en comparación con las de concreto asfáltico, sus altos índices de servicio, mejor distribución de esfuerzos bajo las losas, menor tecnología para su construcción y mano de obra no calificada, por las cuales la administración municipal, encargada de la construcción y mantenimiento de vías, advierte más conveniente su aplicabilidad.

En un futuro cercano, con la materialización de los diseños y objeto del proyecto, se beneficiarán indirectamente las familias propietarias de predios en un radio de 850m aproximadamente al sitio de la obra, los habitantes de Ipiales en general y la población flotante, puesto que la congestión vehicular se reducirá considerablemente al crear esta importante vía alterna de tráfico tanto pesado como liviano de visitantes y de residentes de la ciudad, mejorando la movilidad, comodidad, aspectos ambientales y principalmente la seguridad peatonal y del conductor.

Así mismo, es de importancia mencionar que la inversión más importante en infraestructura que el municipio requiere son las vías de la red urbana, por tanto el diseño de las mismas no tiene solo incidencia en la parte económica y social sino también un valor agregado en el patrimonio y el desarrollo de la ciudad.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 DISEÑO GEOMÉTRICO

1.1.1 Controles para el diseño geométrico. Para el desarrollo del proyecto se tendrán en cuenta las especificaciones y los criterios de diseño del Manual de Diseño para Vías del INVIAS, como son:

Velocidad. El diseño geométrico de una vía se debe definir en relación directa con la velocidad a la que se quiere que circulen los vehículos en condiciones de comodidad y seguridad prioritariamente.

Velocidad de diseño. La velocidad de diseño se define como la máxima velocidad segura y cómoda que puede ser mantenida en una sección determinada de vía. Además es la velocidad guía o de referencia que permite definir las características mínimas de todos los elementos del trazado, en condiciones de comodidad y seguridad.

El manual del INVIAS, establece el rango de las velocidades de diseño que se deben utilizar en función del tipo de vía según su definición legal y el tipo de terreno. Ver tabla 1.

Tabla 1. Valores de la velocidad de diseño de los tramos homogéneos (VTR) en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno

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										

Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras INVIAS 2008

Visibilidad. Una de las características más importantes que deberá ofrecer el proyecto de una vía al conductor de un vehículo es la facilidad de ver hacia adelante, tal que le permita realizar una circulación segura y eficiente. La distancia de visibilidad se define como la longitud continua de vía que es visible hacia adelante por el conductor de un vehículo que circula por ella.

Por lo anterior, para el proyecto de vías, deberán tenerse en cuenta cuatro tipos de distancias de visibilidad: Distancia de visibilidad de parada, distancia de visibilidad de adelantamiento y distancia de visibilidad de cruce.

Distancia de visibilidad de parada (D_p). Se considera como distancia de visibilidad de parada de un determinado punto de una vía, la distancia necesaria para que el conductor de un vehículo que circula aproximadamente a la velocidad de diseño, pueda detenerlo antes de llegar a un obstáculo que aparezca en su trayectoria. Ver tabla 2.

Tabla 2. Distancias de visibilidad de parada en tramos con pendiente

VELOCIDAD ESPECÍFICA V_e (km/h)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA (m) D_p					
	DESCENSO			ASCENSO		
	- 3%	- 6%	- 9%	+ 3%	+ 6%	+ 9%
20	20	20	20	19	18	18
30	32	35	35	31	30	29
40	50	50	53	45	44	43
50	66	70	74	61	59	58
60	87	92	97	80	77	75
70	110	116	124	100	97	93
80	136	144	154	123	118	114
90	164	174	187	148	141	136
100	194	207	223	174	167	160
110	227	243	262	203	194	186
120	263	281	304	234	223	214
130	302	323	350	267	254	243

Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras INVIAS 2008

Distancia de visibilidad de adelantamiento (D_a). Se dice que un tramo de vía 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. Ver tabla 3.

Tabla 3. 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 ADELANTA, V (km/h)	MÍNIMA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO D_a (m)	
			CALCULADA	REDONDEADA
20 ¹	-	-	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

¹ Valor obtenido por extrapolación

Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras INVIAS 2008

Distancia de visibilidad de cruce (Dc). La presencia de intersecciones rurales a nivel, hace que potencialmente se puedan presentar una diversidad de conflictos entre los vehículos que circulan por una y otra vía. La posibilidad de que estos conflictos ocurran, puede ser ampliamente reducida mediante la provisión apropiada de distancias de visibilidad de cruce y de dispositivos de control acordes.¹

1.1.2 Diseño en planta del eje de la vía. Los elementos geométricos de la vía 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 cada el tramo en estudio.

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

Como elemento de curvatura variable en el desarrollo se utilizará la espiral clotoide, por razones de seguridad, comodidad y estética.

- **Curvas horizontales**

Curvas circulares. Las curvas circulares se corresponden con una curvatura constante, la cual es inversamente proporcional al valor del radio. En el diseño de vías corresponde a un elemento geométrico de curvatura rígida. La longitud del arco circular se determina multiplicando el valor del radio y el ángulo de deflexión o de giro del arco circular en radianes.

- **Empalmes básicos**

Descripción y cálculo de los elementos geométricos. A continuación se hace la descripción general de las curvas y se indican los elementos que conforman los diferentes tipos de curvas, dejando a la academia y a los libros de texto dedicados al diseño geométrico de vías, las demostraciones de las fórmulas que definen la diferentes variables del diseño.

¹ MANUAL DE DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS, Invias, 2008

Empalme espiral – espiral. Este tipo define el empalme entre una recta y arco circular de radio RC. Es el empalme básico para conformar los diferentes tipos de curvas espiralizadas.

La espiral - clotoide corresponde a la espiral con más uso en el diseño de vías ya que sus bondades con respecto a otros elementos geométricos curvos permiten obtener vías cómodas, seguras y estéticas.

Las principales ventajas de las espirales en alineamientos horizontales son las siguientes:

- Un empalme espiral diseñado apropiadamente proporciona una trayectoria natural y fácil de seguir por los conductores, de tal manera que la fuerza centrífuga crece o decrece gradualmente, a medida que el vehículo entra o sale de una curva horizontal.
- La longitud de la espiral se emplea para realizar la transición del peralte y la del sobreebanco entre la sección transversal en línea recta y la sección transversal completamente peraltada y con sobreebanco de la curva.
- El desarrollo del peralte se hace en forma progresiva, logrando que la pendiente transversal de la calzada sea en cada punto, la que corresponda al respectivo radio de curvatura.
- La flexibilidad de la clotoide y las muchas combinaciones del Radio con la Longitud permiten la adaptación del trazado a la topografía.

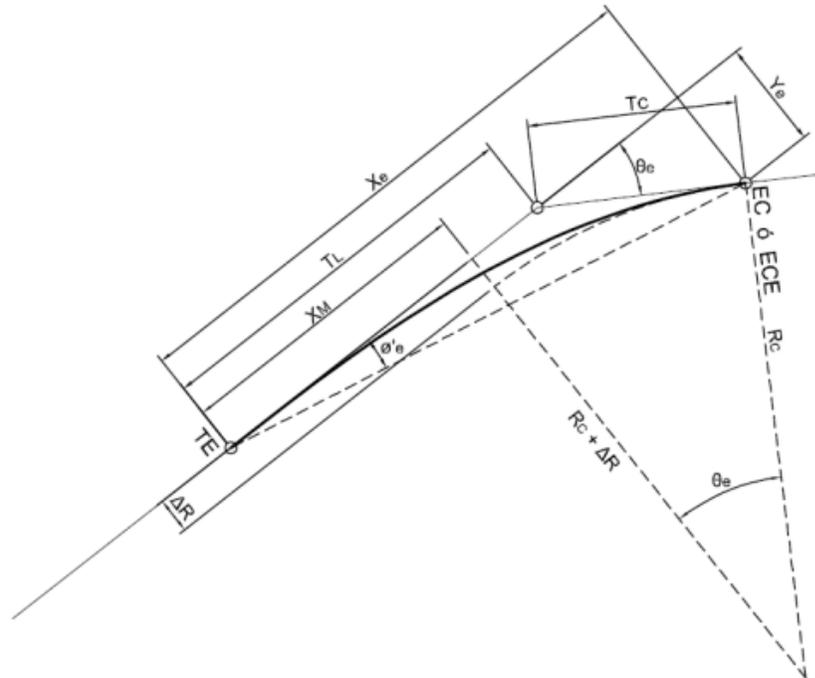
Con el empleo de las espirales se mejora considerablemente la apariencia en relación con curvas circulares únicamente. En efecto, mediante la aplicación de espirales se suprimen las discontinuidades notorias al comienzo y al final de la curva circular.

La clotoide se puede definir como un empalme tal que su radio es inversamente proporcional a su longitud. Por definición, en la clotoide la curvatura varía gradualmente desde cero (0) en la tangente, hasta un valor máximo correspondiente al de la curva circular espiralizada, ya que el Radio de la curva, en cualquier punto de la espiral, varía con la distancia desarrollada a lo largo de la misma, manteniendo su parámetro A constante. Es decir, aun cuando el Radio y la longitud de los distintos puntos de la clotoide tienen diferentes valores, estos están ligados entre sí, de modo que su producto es un valor constante, pudiendo fácilmente calcular uno de ellos cuando se conoce el valor del otro. La ecuación fundamental de la espiral clotoide es la siguiente: Ver figura 1.

$$L \times R = A^2 ; \text{ o también } L = \frac{A^2}{R}$$

Dónde: L: Longitud desde el origen a un punto de la curva, en metros.
 R: Radios en los puntos indicados, en metros.
 A: Parámetro de la Clotoide, en metros

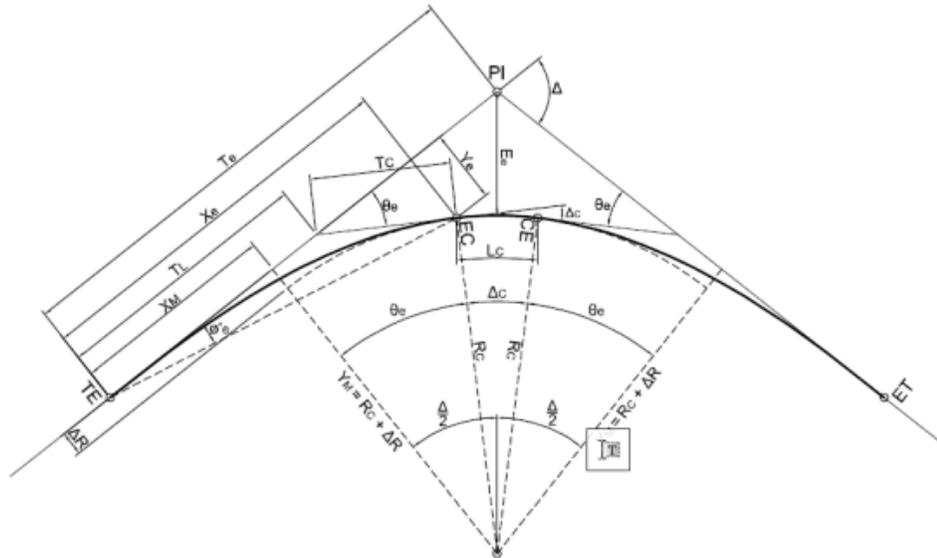
Figura 1. Elementos del empalme espiral - espiral



Fuente: ING. LUIS GONZALES, Diseño Geométrico, 2.010

Empalme espiral – círculo – espiral. Corresponde al empalme de dos líneas rectas con un ángulo de deflexión () mediante arcos de transición y un arco circular de Radio (RC). Los arcos de transición corresponden a espirales clotoides que pueden ser de igual o diferente parámetro (A), es decir el empalme espiralizado puede ser simétrico de igual parámetro o asimétrico de diferente parámetro A1 y A2 para cada espiral. Ver figura 2.

Figura 2. Elementos del empalme espiral – círculo - espiral (simétrico)



Fuente: ING. LUIS GONZALES, Diseño Geométrico, 2.010

- **Longitud de la curva espiral.** Las bondades del arco de transición denominado clotoide, en comparación con el empleo del arco circular, son evidentes cuando en el diseño se utilizan los siguientes valores límite, como una medida de mantener condiciones geométricas y dinámicas de conducción aceptables.

- **Longitud mínima.** 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: ²

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

² ELEMENTOS GEOMETRICOS DE LA ESPIRAL, Ing. Luis Gonzales. Disponible en Internet: <http://viasunefa.blogspot.com/2009/10/elementos-geometricos-de-la-espiral.html>. Consultado el 20/01/2011

Dónde: Amín: Parámetro mínimo, en metros.
 VCH: Velocidad Específica de la curva horizontal, en km/h.
 RC: Radio de cálculo de la clotoide, en metros.
 J: Variación de la aceleración centrífuga, en m/s³.
 e: Peralte de la curva, en porcentaje (%).

- **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 (s). Así mismo, la distancia del eje de giro al borde de calzada (a), la cual toma valores de tres metros (3.0 m), tres metros con treinta centímetros (3.30 m), tres metros con cincuenta centímetros (3.50 m) y tres metros con sesenta y cinco centímetros (3.65 m).

$$A_{\min} = \sqrt{R_c \times \frac{e \times a}{\Delta s}}$$

Dónde: Amín: Parámetro mínimo, en metros.
 RC: Radio de Cálculo de la clotoide, en metros
 e: Peralte de la curva, en porcentaje (%).
 a: Distancia del eje de giro al borde de la calzada, en metros.
 s: Inclinación de la rampa de peraltes, en porcentaje(%).

- **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 veinticinco centímetros (0.25 m).

$$A_{\min} = \sqrt[4]{24 \times \Delta R \times R_c^3} ; A_{\min} \geq \sqrt[4]{6 \times R_c^3}$$

Dónde: Amín: Parámetro mínimo, en metros.
 R: Disloque de la clotoide, en metros.
 RC: Radio de cálculo de la clotoide, en metros.

- **Criterio III.2.** Ángulo de giro de la espiral mínimo de tres grados (3°)

$$\theta_e = \frac{L_e}{2 \times R_C} \geq 3^\circ = 0.05236 \text{ radianes}$$

$$L_{\min} = 0.10472 \times R_C$$

Luego:

$$A_{\min} = \sqrt{R_C \times L_e} = 0.3236 \times R_C$$

Dónde: Amín: Parámetro mínimo, en metros.
 RC: Radio de cálculo de la clotoide, en metros.
 Le: Longitud de la clotoide, en metros.
 e: Ángulo de giro de la espiral

- **Longitud máxima.** El valor máximo del parámetro (Amáx), debe ser igual a uno punto uno veces (1.1) el Radio (RC) de la curva en estudio.³

$$A_{\max} = 1.1 \times R_C$$

- **Diseño de peraltes.** Es la inclinación que se le da a la calzada en sentido transversal, con respecto a la horizontal, hacia el interior de la curva para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga de un vehículo que circula dentro de una curva.

La seguridad es el criterio principal para tener en cuenta en el diseño de peraltes, tanto en la determinación del peralte total, como de la transición, por el efecto de deslizamiento o volcamiento producido por las fuerzas que intervienen en el movimiento de los vehículos.

Como peralte mínimo se toma el valor correspondiente al bombeo normal y la transición del peralte se realizó rotando la sección transversal alrededor del eje.

Teniendo en cuenta la velocidad de diseño se calcula el radio mínimo de curvatura para el máximo coeficiente de fricción y el mayor peralte adoptado, según la siguiente ecuación de equilibrio:

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127.14 \times (e + f)}$$

Donde: V: Velocidad
 E: Peralte

³ MANUAL DE DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS, Invias, 2008.

F: Coeficiente de fricción lateral

El radio así determinado garantiza la seguridad al deslizamiento cuando se marcha a velocidades superiores a la de equilibrio, y para radios distintos a los radios mínimos de una determinada velocidad de diseño, se adopta una relación inversamente proporcional entre los peraltes y los radios dando como fórmula de cálculo:

$$e = \frac{R_{MÍN} * e_{MÁX}}{R}$$

Para obtener además de seguridad, comodidad en la marcha y buena apariencia de la vía, la pendiente longitudinal del borde levantado debe tener un valor adecuado el cual es de 1.28% para velocidades de 30 km/h según el Manual de Diseño Geométrico Para Vías.

- **Transición del peralte.** La transición del peralte se realiza dentro de la curva, siempre y cuando se pueda garantizar que la longitud con peralte máximo sea por lo menos igual a 1/3 de la longitud de la curva circular.

Las longitudes de transición, se consideran a partir del punto donde el borde exterior del pavimento comienza a levantarse, partiendo de un bombeo normal, hasta el punto donde se conforma el peralte total para cada curva, la longitud de transición para terrenos ondulado, montañoso y escarpado corresponde a la longitud de la espiral más la distancia requerida, de acuerdo con la pendiente de la rampa de peraltes, para levantar el borde externo del bombeo normal a la nivelación con el eje.

Para el cálculo de la longitud de transición se utilizará la siguiente expresión:

$$L_t = L_e + X \text{ (m)}$$

Dónde: L_t : Longitud de transición, (m)
 L_e : Longitud de espiral, (m)
 X : Longitud de desarrollo del bombeo normal, (m).

- **Consideraciones de diseño**

- o Pendiente mínima por drenaje: 0.35%
- o Valor de K máximo: 50

El valor del parámetro K tiene que ver específicamente con la capacidad de drenaje de la vía. K es la relación entre la longitud de la curva vertical y la variación de su pendiente (A) donde A es la diferencia algebraica entre las pendientes de entrada y de salida.

La situación más desfavorable en la provisión de un buen drenaje se presenta cuando se empalman dos tangentes de signo contrario, para lo cual la AASHTO considera que un valor de A igual a 0.6% en una longitud de curva igual a 30.00 m, provee el adecuado drenaje en el sector más plano de las curvas.

$$K = \frac{L}{A}$$

De todas formas, para valores mayores a 50 de K, al utilizarlos en el diseño vertical de vías se debe revisar cuidadosamente la capacidad de drenaje del sector.

- **Coefficiente de fricción transversal.** Está determinado por numerosos factores, como estado de las superficies en contacto, velocidad del vehículo, presión de inflado entre otros. Sobre la determinación de valores prácticos para diseño se han realizado innumerables pruebas por parte de diferentes organizaciones, las cuales han llegado a algunas conclusiones:⁴

Se adoptan los coeficientes de fricción lateral, dados en la tabla 4, del manual del INVIAS.

Tabla 4. Coeficiente de fricción transversal máxima

VELOCIDAD ESPECÍFICA V _{CS} (km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL MÁXIMA f _{Trmáx}	0.35	0.28	0.23	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.09	0.08

Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras INVIAS 2008

- **Valores máximos del peralte.** Para vías de tipo rural el INVIAS fija un peralte máximo del 8%, el cual permite mantener aceptables velocidades específicas y no incomodar a vehículos que viajan a velocidades menores.

- **Radios de curvatura mínimo.** En la tabla 5, del manual del INVIAS se encuentran los radios de curvatura mínimos para las velocidades específicas indicadas, de la cual tomamos el radio mínimo absoluto para la velocidad de diseño del proyecto.⁵

⁴ MANUAL DE DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS, Invias, 2008.

⁵ JORGE L. CASTILLO, Peralte – Diseño de la Vía. Disponible en Internet: <http://www.monografias.com/trabajos15/peralte/peralte.shtml>. Consultado el 10/01/2011.

Tabla 5. Radios mínimos para peralte máximo $e_{máx} = 8\%$ y fricción máxima

VELOCIDAD ESPECÍFICA (V_{CH}) (km/h)	PERALTE MÁXIMO (%)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL $f_{Tmáx}$	TOTAL $e_{máx} + f_{Tmáx}$	RADIO MÍNIMO (m)	
				CALCULADO	REDONDEADO
40	8,0	0,23	0,31	40,6	41
50	8,0	0,19	0,27	72,9	73
60	8,0	0,17	0,25	113,4	113
70	8,0	0,15	0,23	167,8	168
80	8,0	0,14	0,22	229,1	229
90	8,0	0,13	0,21	303,7	304
100	8,0	0,12	0,20	393,7	394
110	8,0	0,11	0,19	501,5	501
120	8,0	0,09	0,17	667,0	667
130	8,0	0,08	0,16	831,7	832

Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras INVIAS 2008

- **Curvas amplias que no requieren peralte.** Las curvas horizontales amplias no requieren peralte. Bajo esta situación los vehículos que recorren la curva por su parte interior cuentan con algún peralte en la sección de bombeo normal, mientras que los vehículos que circulan en dirección contraria cuentan con un peralte que resulta adverso o negativo, lo que genera una sección transversal con contraperalte; en estos casos, la fricción lateral que es necesaria para contrarrestar la aceleración lateral y el peralte negativo es pequeña.

En general es aceptable utilizar secciones en curva con contraperalte en Radios tres mil quinientos metros (3.500 m). El valor máximo del contraperalte para dichos Radios debe ser de dos por ciento (2%) (Bombeo Normal).

Es necesario asegurar que las curvas amplias tengan una sección transversal que sea suficiente para proveer un buen drenaje.

• **Entretangencia horizontal.** El INVIAS presenta el análisis de la entretangencia teniendo en cuenta dos situaciones:

- **Curvas de distinto sentido.** Considerando el empleo de curvas de transición, puede prescindirse 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 mínima para rampa de peraltes y por espacio recorrido a la velocidad de diseño en un tiempo no menor de 5 segundos.

- **Curvas del mismo sentido.** Por su misma naturaleza, deben considerarse indeseables en cualquier proyecto de vías, por la inseguridad y disminución de la estética que representan. Para garantizar la comodidad y seguridad del usuario, la

entretangencia para el diseño en terreno ondulado, montañoso y escarpado con espirales, no puede ser menor a 5 segundos y para diseños en terreno plano con arcos circulares, no menor a 15 segundos de la velocidad de diseño. Como por dificultades del terreno, son a veces imposibles de evitar, se debe intentar siempre el reemplazo por una sola.

- **Entretangencia máxima.** Se deben acondicionar entretangencias suficientemente largas que permitan cumplir con la Distancia de Visibilidad de Adelantamiento (Da), 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 (VETH) 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.

1.1.3 Diseño en perfil del eje de la vía. Lo ideal es la obtención de rasantes largas con un ajuste óptimo de curvas verticales y curvas horizontales a las condiciones del tránsito y a las características del terreno, generando un proyecto lo más económico posible tanto en su operación como para su construcción.

- **Pendiente mínima.** La pendiente mínima longitudinal está determinada por las condiciones de drenaje 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.

- **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 es necesario considerar dos situaciones. La primera, cuando durante el desarrollo de los estudios para la definición del corredor de ruta, que se llevan a cabo durante la Fase 1 del proyecto, se requiere adoptar la Pendiente Media Máxima del corredor (PMmáx),

la cual debe estar en consonancia con la Velocidad de Diseño del tramo homogéneo.

La segunda situación está asociada a la selección de la pendiente máxima de una tangente vertical en particular, caso en el que la pendiente máxima es función de la Velocidad Específica de la tangente vertical (VTV).

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. Ver tabla 6.

Tabla 6. Pendiente media máxima del corredor de ruta (%) en función de la velocidad de diseño del tramo homogéneo (VTR)

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO V_{TR} (km/h)									
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	-	-	-	-	-	6	6	6	5	5
Primaria de una calzada	-	-	-	-	7	7	6	6	5	-
Secundaria	-	-	7	7	7	7	6	-	-	-
Terciaria	7	7	7	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras INVIAS 2008

- **Longitud mínima.** La longitud mínima de las tangentes verticales con Velocidad Específica menor o igual a cuarenta kilómetros por hora ($V_{TV} = 40$ 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. Ver tabla 7.

Tabla 7. Longitud mínima de la tangente vertical

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

Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras INVIAS 2008:

• **Curvas verticales.** Las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la de la tangente de salida. Deben dar por resultado una vía de operación segura y confortable, apariencia agradable y con características de drenaje adecuadas. El punto común de una tangente y una curva vertical en su origen se denomina PCV, y PTV al punto común de la tangente y la curva al final de ésta. Al punto de intersección de dos tangentes consecutivas se le designa como PIV, y a la diferencia algebraica de pendientes en ese punto se le representa por la letra "A".

Las curvas verticales pueden ser cóncavas o convexas de acuerdo a su forma y por su proporción a sus ramas, en simétricas y asimétricas.

Para una operación segura de los vehículos al circular sobre curvas verticales, especialmente si son convexas, deben obtenerse distancias de visibilidad adecuadas, como mínimo iguales a la de parada. Debido a los efectos dinámicos, para que exista comodidad es necesario que la variación de pendiente sea gradual, situación que resulta más crítica en las curvas cóncavas, por actuar las fuerzas de gravedad y centrífuga en la misma dirección.

Debe también tenerse en cuenta el aspecto estético, puesto que las curvas demasiado cortas pueden llegar a dar la sensación de quiebre repentino, hecho que produce cierta incomodidad.

La curva vertical recomendada es la parábola cuadrática, cuyos elementos principales y expresiones matemáticas se explican claramente en el título 4 numeral 4.2 del manual del INVIAS.

- **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:

- **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 (DP). 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 (Da).

De acuerdo con el criterio de seguridad, la longitud mínima es

$$L_{\min} = \frac{A_X (D_P)^2}{658}$$

Dónde: L_{mín}: Longitud mínima de la curva, en metros.

A: Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje (%).
DP: Distancia de visibilidad de parada, asociada a la velocidad específica de la curva vertical (VCV), en metros.

El control de la distancia de visibilidad de parada (DP) también se puede hacer mediante la ecuación:

$$L_{\min} = K_{\min} \times A ; A \text{ en porcentaje (\%)} \text{ y } L_{\min} \text{ en metros}$$

• **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.

Con el propósito de que el perfil de la vía en la curva vertical tenga una adecuada estética y apariencia, se calcula la longitud mínima con la siguiente expresión:

$$L_{\min} = 0.6 \times V_{CV}$$

Dónde: L_{mín}: Longitud mínima según criterio de operación, en metros.
VCV: Velocidad Específica de la curva vertical, en km/h

• **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.

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.

$$K_{\max} = \frac{30}{0.6} = 50$$

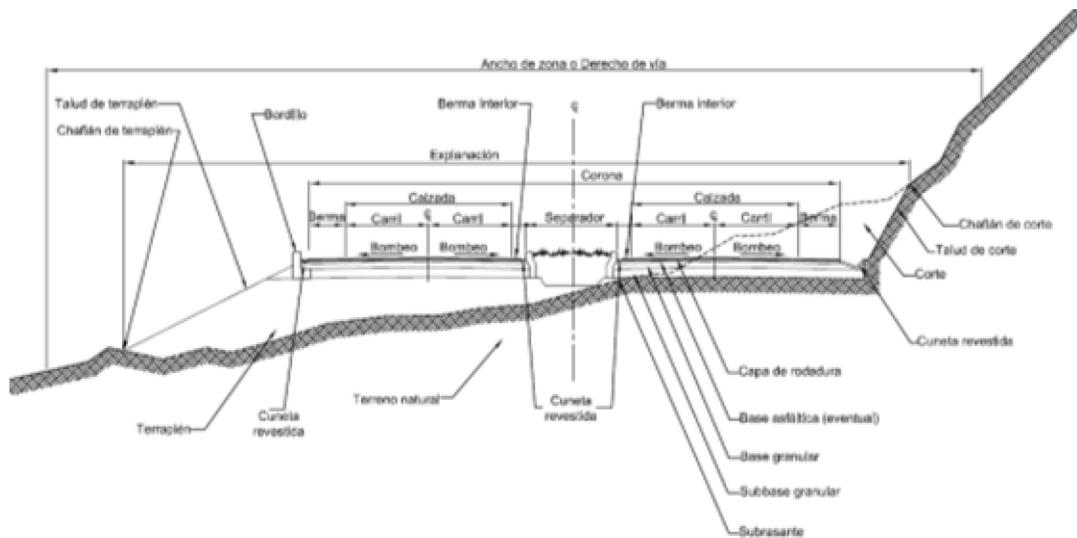
Para garantizar el drenaje adecuado en la cresta de la curva vertical convexa se debe diseñar la curva con un valor de K menor o igual a cincuenta (50).⁶

1.1.4 Diseño de la sección transversal. La sección transversal describe los elementos de la vía en un plano normal a su eje.

El manual del INVIAS, en la Figura 3 y 4, a, b y c, muestra las formas de inclinación de la sección transversal de acuerdo con el número de carriles, calzadas y la dirección del tránsito, empleadas en un sector recto de vía. Con el fin de facilitar el drenaje, la inclinación transversal mínima para capa de rodadura pavimentada es del 2%, la cual va a ser utilizada en este proyecto.

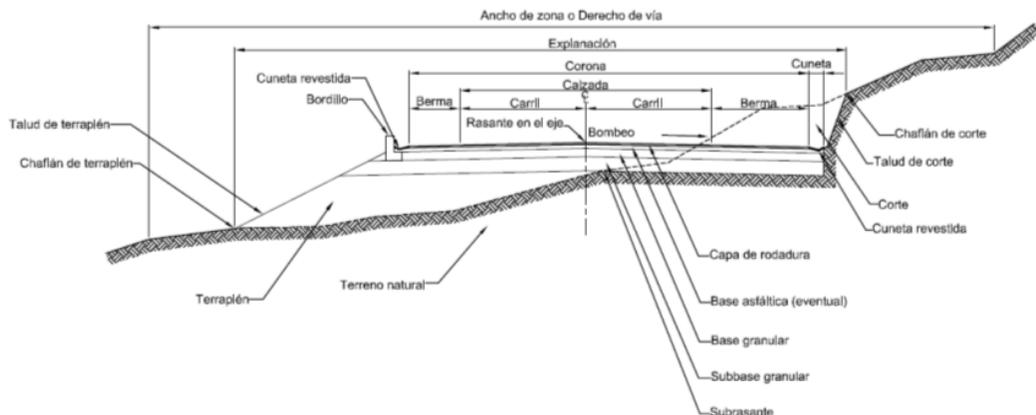
⁶ MANUAL DE DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS, Invias, 2008.

Figura 3. Sección transversal típica en vías de doble calzada



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Vías. INVIAS 2008

Figura 4. Sección transversal típica en vías primarias y secundarias



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Vías. INVIAS 2008

- **Ancho de zona o derecho de vía.** 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 8, salvo que circunstancias particulares del proyecto justifiquen extrapolar el límite superior.

Tabla 8. Ancho de zona

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

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Vías. INVIAS 2008

- **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. 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 vías de Colombia”, del Ministerio de Transporte.

- **Ancho de calzada.** En la Tabla 9, se indica el ancho de la calzada en función de la categoría de la vía, del tipo de terreno y de la Velocidad de diseño del tramo homogéneo (V_{TR}). En vías 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.⁷

Tabla 9. Ancho de calzada (metros)

CATEGORIA 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	-
	Escarpado	-	-	-	-	-	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	-	-
	Escarpado	-	-	-	-	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	-	-	-	-
	Escarpado	-	-	6.00	6.60	7.00	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	6.00	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Vías. INVIAS 2008

⁷ Ibíd.

- **Andenes y senderos peatonales.** La elevación respecto de la corona adyacente debe estar entre diez y veinticinco centímetros (0.10 – 0.25 m).

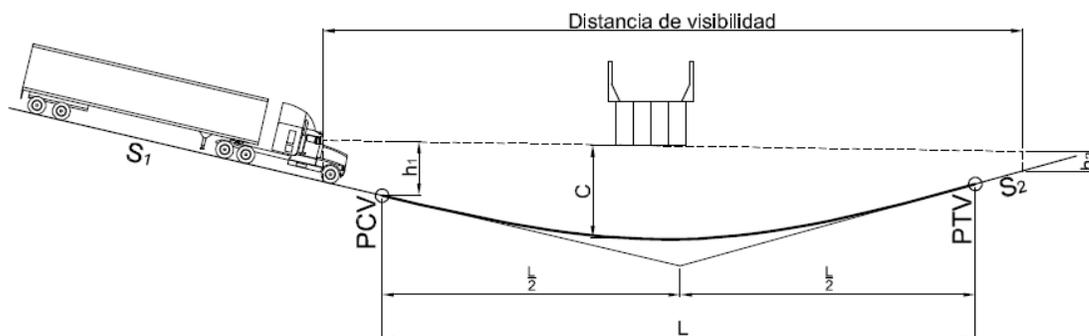
Los sitios donde generalmente se deben localizar los andenes son zonas escolares, áreas de servicio, áreas de estacionamiento de buses, etc

- **Separadores de calzada.** Los separadores son por lo general zonas verdes o zonas duras colocadas paralelamente al eje de la vía, para separar direcciones opuestas de tránsito (separador central o mediana) o para separar calzadas destinadas al mismo sentido del tránsito (calzadas laterales). El separador está comprendido entre las cunetas interiores de ambas calzadas. Aparte de su objeto principal, independizar la circulación de las calzadas, el separador central puede contribuir a disminuir cualquier tipo de interferencia como el deslumbramiento nocturno. Cuando los separadores son muy anchos pueden resultar demasiado costosos, pero convenientes para ampliación futura de las calzadas o por razones estéticas y de circulación. En terreno plano el separador central suele ser constante en su ancho, con lo que se mantienen paralelas las dos calzadas. En terreno montañoso, si se independizan las calzadas, el ancho del separador central es variable. Si el ancho del separador varía entre cuatro metros y diez metros (4 m -10 m), puede ser necesario instalar barreras de seguridad si el volumen de tránsito así lo demanda

- **Distancia de visibilidad bajo estructuras.** La distancia de visibilidad de la vía en sitios de cruce bajo estructuras, debe ser como mínimo la distancia de visibilidad de parada, aunque se recomienda que sea mayor. Los criterios de diseño en perfil para estos casos son los mismos que se aplican en cualquier otro punto de la vía, excepto en algunos casos donde se presentan curvas verticales cóncavas localizadas en pasos inferiores, como se presenta en la Figura 5, aunque no es frecuente, la estructura inferior (vigas) puede cortar la línea de visibilidad y limitar la distancia de visibilidad a menos que esto se considere en el diseño. En los casos donde se presente la anterior situación por limitaciones impuestas por el requisito del gálibo mínimo, no se puede reducir la distancia de visibilidad por debajo del valor mínimo de parada (DP).

En algunos casos el diseñador debe chequear la distancia de visibilidad disponible bajo un paso inferior, para lo cual se recomienda proveer una distancia de visibilidad igual a la de adelantamiento (D_a). Tales chequeos se realizan gráficamente sobre el perfil de la vía, pero también se puede recurrir a herramientas computacionales. Ver figura 5.

Figura 5. Distancia de visibilidad bajo estructuras



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Vías. INVIAS 2008

Las expresiones generales para la longitud de la curva vertical cóncava bajo estructuras son:

Caso uno. Distancia de visibilidad mayor que la longitud de la curva vertical ($DP > L$):

$$L = 2 \times DP - \frac{800 \times \left(C - \frac{h_1 + h_2}{2} \right)}{A}$$

Dónde:

- L: Longitud de la curva vertical, en metros.
- DP: Distancia de visibilidad de parada, en metros.
- A: Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje (%).
- C: Gálibo, en metros.
- h_1 : Altura del ojo del conductor, en metros
- h_2 : Altura del obstáculo, en metros.

Caso dos. Distancia de visibilidad menor que la longitud de la curva vertical ($DP < L$):

$$L = \frac{A \times DP^2}{800 \times \left(C - \frac{h_1 + h_2}{2} \right)}$$

Dónde:

- L: Longitud de la curva vertical, en metros.
- DP: Distancia de visibilidad de parada, en metros.
- A: Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje (%).
- C: Gálibo, en metros.
- h_1 : Altura del ojo del conductor, en metros.
- h_2 : Altura del obstáculo, en metros.

Usando como altura de los ojos del conductor (h1) un valor de dos metros con cuarenta centímetros (2.40 m.) correspondiente a la altura para un conductor de camión, y una altura de obstáculo (h2) de sesenta centímetros (0.60 m.) correspondiente a las luces traseras de un vehículo, se obtienen las siguientes ecuaciones:

Caso uno. Distancia de visibilidad mayor que la longitud de la curva vertical ($DP > L$):

$$L = 2 \times DP - \frac{800 \times (C - 1.5)}{A}$$

Caso dos. Distancia de visibilidad menor que la longitud de la curva vertical ($DP < L$):⁸

$$L = \frac{A \times DP^2}{800 \times (C - 1.5)}$$

1.1.5 Intersecciones a desnivel:

• **Criterios generales.** La solución de una intersección vial depende de una serie de factores asociados fundamentalmente a la topografía del sitio, a las características geométricas de las vías que se cruzan y a las condiciones de su flujo vehicular.

Como generalmente existen varias soluciones, los ingenieros deben proponer alternativas para ser evaluadas y con sus resultados seleccionar la más conveniente.

El tipo de solución para un caso específico de una intersección determinada, depende a fin de cuentas de los ingenieros, que con su creatividad y buen juicio, podrán proponer las alternativas que consideren adecuadas para las condiciones particulares del proyecto. Solo con el propósito de presentar en forma ordenada los criterios geométricos básicos requeridos para el diseño de los diferentes elementos que integran una intersección, como son las isletas, carriles de aceleración, desaceleración y giro a la izquierda, entrecruzamiento, ramales, etc., se ofrecen algunos diseños típicos frecuentes en vías.

Con la finalidad de obtener el diseño más conveniente, se presentan los siguientes criterios generales, destacando que se debe optar por la solución más sencilla y comprensible para los usuarios.

⁸ Ibíd.

Priorización de los movimientos. Los movimientos más importantes deben tener preferencia sobre los secundarios. Esto obliga a limitar los movimientos secundarios con señales adecuadas, reducción de ancho de vía e introducción de curvas de Radio pequeño. Eventualmente, convendría eliminarlos totalmente.

Consistencia con los volúmenes de tránsito. La mejor solución para una intersección vial es la más consistente entre el tamaño de la alternativa propuesta y la magnitud de los volúmenes de tránsito que circularán por cada uno de los elementos del complejo vial.

Sencillez y claridad. Las intersecciones que se prestan a que los conductores duden son inconvenientes; la canalización no debe ser excesivamente complicada ni obligar a los vehículos a movimientos molestos o recorridos demasiado largos.

Separación de los movimientos. A partir de los resultados de ingeniería de tránsito, según los flujos de diseño determinados para cada caso, puede ser necesario dotar algunos movimientos con vías de sentido único, completándola con carriles de aceleración o desaceleración si fuera necesario. Las isletas que se dispongan con este objeto permiten la colocación de las señales adecuadas. Las grandes superficies pavimentadas invitan a los vehículos y peatones a movimientos erráticos, que promueven accidentes y disminuyen la capacidad de la intersección.

Visibilidad. La velocidad de los vehículos que acceden a la intersección debe limitarse en función de la visibilidad, incluso llegando a la detención total. Entre el punto en que un conductor pueda ver a otro vehículo con preferencia de paso y el punto de conflicto debe existir, como mínimo, la distancia de parada.

Perpendicularidad de las trayectorias. Las intersecciones en ángulo recto son las que proporcionan las mínimas áreas de conflicto. Además, disminuyen los posibles choques y facilitan las maniobras, puesto que permiten a los conductores que cruzan juzgar en condiciones más favorables las posiciones relativas de los demás.

Previsión. En general, las intersecciones exigen superficies amplias. Esta circunstancia se debe tener en cuenta al autorizar construcciones o instalaciones al margen de la vía.

1.1.6 Señalización horizontal y vertical. La señalización de una vía tiene como objetivos principales mejorar la seguridad, optimizar la operación del tránsito, guiar al usuario, entre otras. En el caso particular del proyecto en estudio se trata de dar la mayor seguridad al usuario, principalmente en los sectores críticos, como los accesos y salidas de la vía, así como sus pasos peatonales a nivel.

Las señales utilizadas son de tipo reglamentarias (SR), preventivas (SP) e informativas (SI) teniendo en cuenta y el Manual para Dispositivos Para la regulación del Tránsito en Calles y Vías del INVÍAS. El presente trabajo será complementado con señales horizontales como son las marcas longitudinales de piso, y demás demarcación que se podrá observar en el plano. Esta señalización horizontal se diseñó con base en las Memorias Técnicas de los Criterios de Diseño Para La Señalización Horizontal y el Manual para Dispositivos Para la regulación del Tránsito en Calles y Vías del Invías.

En los diseños objeto de este trabajo de aplicación, no se desarrolla el proyecto de señalización.⁹

1.2 DISEÑO DE PAVIMENTOS

Variables y parámetros de diseño. El pavimento se ha diseñado con el objetivo de prestar el servicio para el cual fue concebido, durante un periodo determinado, manteniendo unas condiciones de seguridad óptimas, con un costo apropiado.

En el diseño del pavimento de esta vía es necesario tener en cuenta varios elementos, de los cuales los más importantes son la capacidad de soporte del suelo, el tránsito que circulará sobre la estructura durante todo su periodo de diseño, las condiciones climáticas y los materiales con que se construirá

Análisis de tránsito y periodo de diseño. Los métodos más utilizados para el diseño de pavimentos consideran el tránsito en términos de repeticiones de ejes patrones de diseño. Para este diseño se utilizarán ejes sencillos equivalentes de 8.2 Toneladas obtenida a partir de los espectros de carga cuya estimación requiere el conocimiento de la magnitud de las cargas del flujo vehicular de tipo pesado afectados por los respectivos factores de equivalencia establecidos por la AASHTO.

Período de diseño. Se considera un periodo 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. Ver tabla 10.

⁹ Ibíd.

Tabla 10. Categorías de tránsito para la selección de espesores

Categoría	Tipo de Vía	TPDs	Ejes acumulados de 8.2 t
T ₀	(Vt) – (E)	0 a 200	< 1'000.000
T1	(Vs) – (M ó A) – (CC)	201 a 500	1'000.000 a 1'500.000
T2	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	501 a 1.000	1'500.000 a 5'000.000
T3	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	1.001 a 2.500	5'000.000 a 9'000.000
T4	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	2.501 a 5.000	9'000.000 a 17'000.000
T5	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	5.001 a 10.000	17'000.000 a 25'000.000
T6	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	Más de 10,001	25'000.000 a 100'000.000

En la Tabla las siglas tienen el siguiente significado:	
M: Medias	
Vt: Vía terciaria	A: Anchas
Vs: Vía secundaria	CC: Carreteras de 2 direcciones
Vp: Vía principal	MC: Carreteras multicarriles
E: Estrechas	AP: Autopistas

Fuente: Manual de diseño de pavimentos de concreto. INVIAS 2008

Resistencia de diseño de la subrasante. La capacidad portante o resistencia de la subrasante se obtendrá mediante la correlación del ensayo PDC con el CBR, obtenidos de los ensayos de laboratorio. Estos valores se correlacionaron con el Módulo de Reacción de la subrasante -k- que es el parámetro usado en las ecuaciones de diseño.

Para subrasantes con CBR menores que 2, en la mayoría de los casos y cuando el diseñador lo considere conveniente, se requieren tratamientos especiales, como la sustitución de los materiales inadecuados (remoción parcial o total del material inaceptable) o la modificación de sus características con base en mejoramientos mecánicos o con la adición de productos como la cal, el cemento u otros que doten a la subrasante de mejores características mecánicas. (Artículo INV-230-07).

Material de soporte para el pavimento. Se tendrán en cuenta tres tipos de soporte para el pavimento, como se indica en la Tabla 11, el suelo natural y las bases granulares (Artículo INV- 330-07) de 150 mm de espesor. Su efecto en el espesor de la estructura se tendrá en cuenta elevando el valor de la capacidad de soporte del terreno natural o suelo de subrasante.

Características del concreto para pavimentos. Para los diseños de los pavimentos existen diferentes calidades de concreto según lo indicado en las Tablas 11 - 13, las resistencias a flexo-tracción se evalúan a los 28 días y se miden con base en el ensayo Resistencia a la flexión del concreto. Método de la viga simple cargada en los tercios de la luz (Norma INV E414-07).

Tabla 11. Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia

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

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto. Invias, 2008

Tabla 12. Clasificación de los materiales de soporte para el pavimento de concreto

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

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto. Invias 2008

Tabla 13. Valores de resistencia a la flexo-tracción del concreto (módulo de rotura)

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

Fuente: Manual de diseño de pavimentos de concreto. INVIAS 2008

Juntas de dilatación. Las juntas son parte importante de los pavimentos de concreto y se hacen con el fin de controlar los esfuerzos que se presentan en el concreto como consecuencia de los movimientos de contracción y de dilatación del material y a los cambios de temperatura y humedad, entre la cara superficial y la de soporte de las losas de concreto.

En principio las losas tendrán el ancho del carril y su longitud debe estar comprendida entre 3,60 y 5,0 m y la relación entre el largo y ancho de las losas debe oscilar entre 1 y 1,3. Se ha observado que losas cuadradas tienen un mejor comportamiento estructural.

Transferencia de cargas entre losas y confinamiento lateral. Hay dos factores que influyen en la determinación del espesor de las losas de concreto y son la presencia de pasadores de carga (dovelas) en las juntas transversales y los

confinamientos laterales del pavimento, como son las bermas, los bordillos o los andenes.

El espesor que deben tener los pavimentos está en función además de la presencia o ausencia de las dovelas, de los elementos confinantes, que para efectos prácticos se denominan genéricamente como bermas.¹⁰

¹⁰ *Ibíd.*

2. ASPECTOS TECNICOS

2.1 GENERALIDADES

Debido a las condiciones medio ambientales y de localización de la vía en estudio, se mejoró el alineamiento del tramo I y diseñó uno nuevo en el tramo II tratando en lo posible de cumplir las especificaciones técnicas del INVIAS, lo cual requiere de una selección del trazado entre alternativas tentativas que optimicen desde el punto de vista técnico la ejecución del proyecto en mención.

Siendo así, se prevé la necesidad de encausar la corriente de agua respectiva por medio de la construcción de un box coulvert el cual no es objeto de diseño de este trabajo.

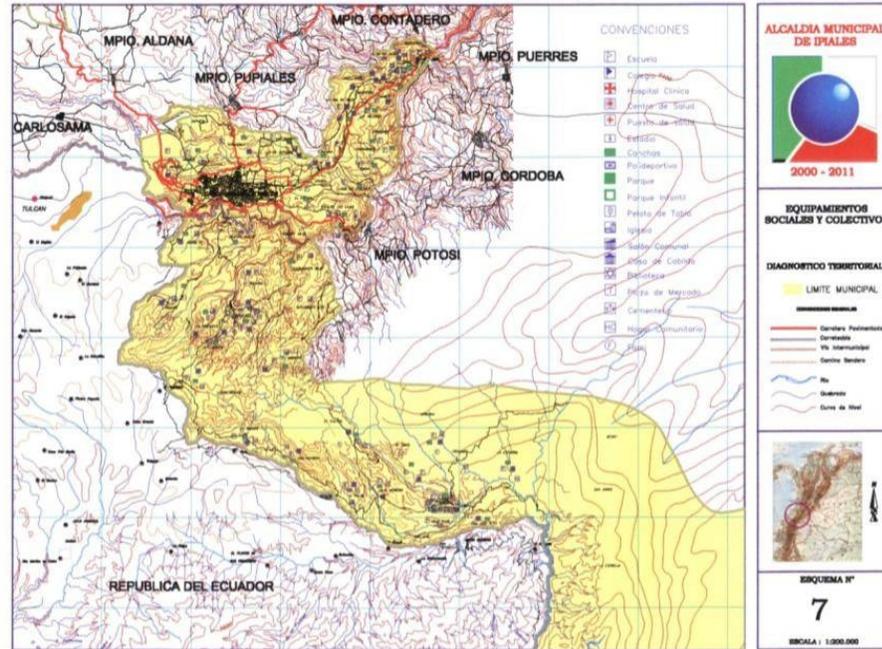
2.1.1 Localización. La Carrera 13 entre calle 24 y vía perimetral se encuentra localizada hacia el sur del casco urbano del Municipio de Ipiales, Departamento de Nariño, frontera con la República del Ecuador.

La vía en estudio tiene una longitud aproximada de 1 km, partiendo de la Calle 24 Barrio el Manzano y terminado en la intersección con la vía perimetral. Presenta una superficie de rodadura en el primer tramo en capa de afirmado en una extensión de aproximadamente 400 metros contados a partir de la calle 24, donde intercepta con la calle 17 a un desnivel de aproximadamente -10.m entre rasantes, el resto de su longitud corresponde a un lote de terreno en estado natural dedicado a la agricultura cerca de una corriente de agua superficial.

Existe un ancho actual de vía en el tramo I que varía entre los 12.00 m y 13.50 m, posee cunetas en tierra al igual que algunas obras transversales a lo largo de todo el tramo, todas ellas en funcionamiento construidas en tubería de diámetro 24", que desemboca en un Box coulvert que cruza el terraplén de la calle 17 en una longitud de 78.50m.

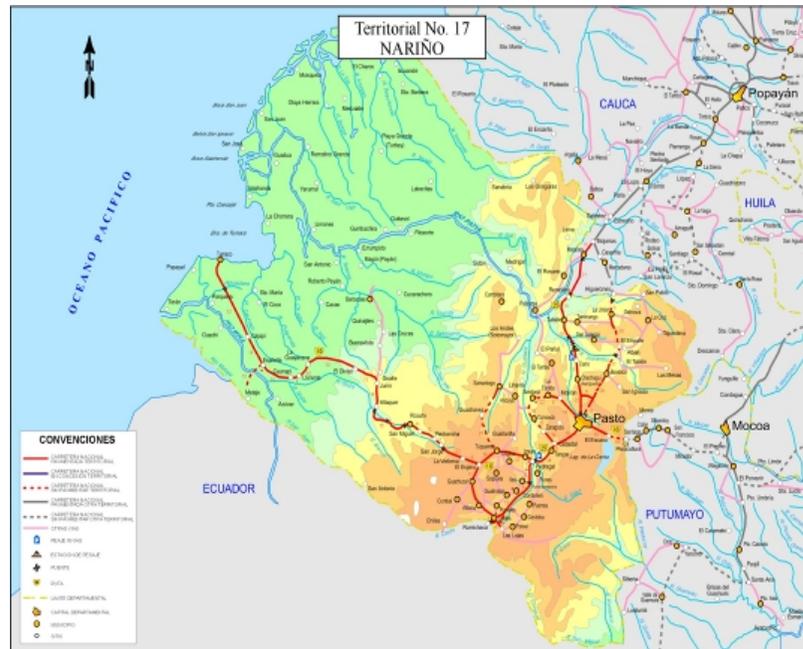
El proyecto vial debe contemplar la reposición de redes de acueducto y alcantarillado, que deberán ser construidas de acuerdo a diseños específicos, no obstante este trabajo no contempla la realización de los mismos. Ver figuras 6-11.

Figura 6. Mapa vial municipio de Ipiales



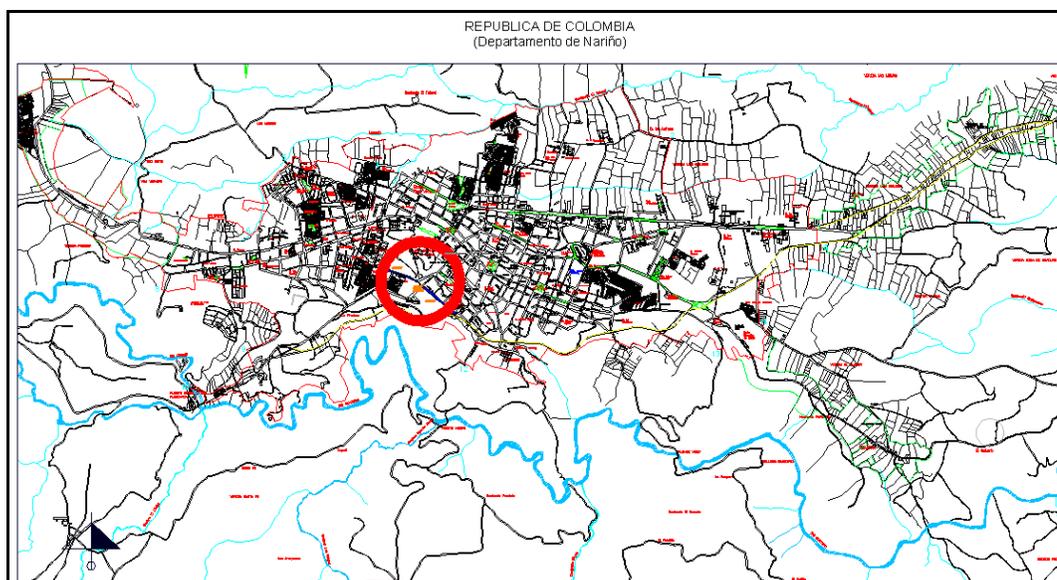
Fuente: ipiales-nariño.gov.vo

Figura 7. Mapa red vial del departamento de Nariño



Fuente: ipiales-nariño.gov.vo

Figura 8. Macrolocalización del proyecto



Fuente: ipiales-nariño.gov.vo

Figura 9. Microlocalización proyecto



Fuente: ipiales-nariño.gov.vo

Figura 10. Tramo I. Vía en afirmado



Figura 11. Tramo II. Apertura de vía proyectada



2.1.2 Especificaciones actuales de la vía. En la actualidad la vía carece tanto de un trazado geométrico adecuado como de una capa de rodadura que brinde seguridad al usuario, de igual manera el tramo II se utiliza para actividades productivas de tipo agrícola, donde los propietarios de los lotes se encuentran interesados con la apertura de vía y materialización del proyecto.

Teniendo en cuenta información suministrada por planeación municipal específicamente Ordenamiento Territorial, el tramo II, se encuentra en una zona en desarrollo que corresponde a manzanas conformadas dentro del perímetro urbano y que pueden contener áreas no construidas para consolidación y con potencial para desarrollos urbanos. Aunque se encuentra una proyección de vía, no existe pre-dimensionamiento de la misma o clasificación dentro de las vías urbanas del municipio.

2.1.3 Zona de influencia. La zona de influencia de la vía se extiende en un radio de 850m, estimación realizada, teniendo en cuenta la incidencia en los flujos vehiculares generados que reorganizan el tráfico del casco urbano.

Siendo así, los sectores beneficiados con la construcción de la vía son: Urbanización Miramontes, Andina, Villa Jardín, La Castellana, Barrio El Morrito, El Manzano, Jorge Eliecer Gaitán, Ángel Felipe Sarasty, Las Acacias, Miramar, Villalba, El Porvenir y sector centro de la ciudad.

2.1.4 Generalidades del municipio de Ipiales:

• **Aspectos demográficos.** El Municipio de Ipiales según proyecciones cuenta con 102.298 habitantes para el año 2009.

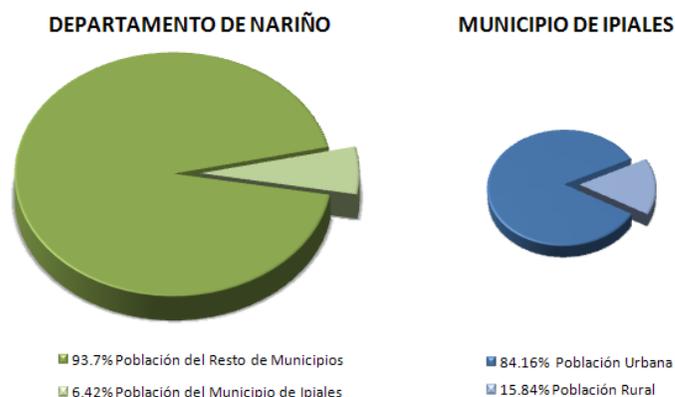
En el comportamiento demográfico del municipio se destacan las siguientes particularidades:

- Participa con el 6.32% de la población total del departamento, y con el 11.9 % de la población urbana; el peso de su población rural no es significativo; 2.24% con respecto al total.

- La distribución urbana- rural o cabecera - resto está dada por la relación 41% contra 27% es de predominio netamente urbano.

- La distribución por sexos es de predominancia femenina puesto que el 51% son mujeres y el 49% hombres. Ver figura 12.

Figura 12. Aspectos demográficos generales del municipio de Ipiales



Fuente: ipiales-nariño.gov.vo

- **Espacio público.** Por otro lado, el inadecuado uso y pérdida de espacios públicos inciden negativamente contribuyendo a deteriorar el paisaje urbano disminuyendo la calidad de vida de los habitantes de la ciudad y de las personas que llegan hasta ella en una permanente actividad migratoria, fenómeno considerado crítico debido a las limitaciones de desarrollo que posee el municipio de Ipiales, quien además, debe atender la demanda de servicios de la población flotante durante su presencia temporal en la localidad, como resultado de la dinámica fronteriza propia de la región.

En la estructura del espacio público de Ipiales se distinguen perfectamente cinco vacíos, los cuales son: Plaza 20 de Julio, parque La Pola, parque Santander, Plaza Los Mártires y Galería Central como áreas consolidadas, además el Estadio Municipal, Coliseo Cubierto, el espacio destinado a Plaza de Ferias y otros que corresponden a diferente calidad de espacios como Bavaria y la gran zona del Grupo Cabal.

De igual manera, forman parte de este sistema de Espacio Público, los Parques de barrio localizados en todos los puntos cardinales de la ciudad y en las áreas periféricas del centro urbano, los cuales junto con algunas zonas verdes y algunos ejes viales se enlazan a la red urbana de circulación y permanecen en regular estado por su falta de mantenimiento.

- **Red vial y de transportes.** El estado de las vías del sector urbano del municipio de Ipiales se encuentra determinado de la siguiente manera:

Vías adecuadas: 463.855 m²/66.26 km.

Vías sin adecuar: 9.2 km.

Apertura de vías: 12 km.

Para el casco Urbano, el municipio de Ipiales, cuenta con empresas de servicio de transporte; tales como: Empresa de Transporte "Colectivos Ciudad de Ipiales S.A, Cootransveinte S.A, Taxis La Frontera S.A.

- **Equipamientos urbanos.** Actualmente existe el Matadero Municipal, localizado inapropiadamente, con una infraestructura física deteriorada, contaminando el sector aledaño, su reubicación es prioritaria para lo cual se requiere un estudio de factibilidad de acuerdo a las propuestas de uso planteadas.

De igual manera existen Mercados, los cuales se localizan en áreas de uso residencial y sin mayor control sanitario para lo cual se debe establecer un mejor servicio de recolección de basuras así como un sistema de adecuación y manejo y operación en el mercado permanente con su remodelación y construcción de

galería central, como en los móviles propuestos en: Los Mártires, Galería Central, Puenes, San Vicente, Limedec, Camilo Torres.

El Terminal Terrestre de Pasajeros, creado ante la necesidad de evitar la congestión, el desorden, la contaminación y la invasión del espacio público en el casco urbano. El objeto social principal es la prestación de un servicio público para contribuir a la organización, regulación y mejoramiento del transporte de personas en la Ciudad de Ipiales y su área de influencia en los niveles interregional e internacional. Además, contribuir con la racionalización de la actividad transportadora en la medida en que se explotará el terminal de transporte de esta ciudad, mediante la organización de servicios de carácter básico operacional, auxiliares y complementarios relacionados con áreas destinadas a: ascenso y descenso de pasajeros, operaciones de plataforma, zona de maniobra del vehículo, estacionamientos, canales y áreas de espera temporal, plataformas mínimas, puntos de información, taquillas, depósito de equipaje, puntos de despacho, y demás servicios afines, complementarios al objetivo y naturaleza de la entidad.

Se localiza en el sector oriental del casco Urbano a 1.5 km del área de influencia del proyecto objeto de este trabajo.¹¹ Ver figura 13.

Figura 13. Localización del terminal de transporte con respecto al proyecto



Fuente: Ipiales-nariño.gov.vo

¹¹ MUNICIPIO DE NARIÑO, Aspectos Técnicos. Disponible en Internet: <http://www.ipiales-narino.gov.co/index.shtml>. Consultado el 15/01/2011

2.1.5 Levantamiento topográfico. Como se mencionó anteriormente la principal información recolectada además de los conteos manuales de tránsito y las características del suelo, fue el levantamiento topográfico que incluye curvas de nivel de la zona de influencia de la vía en estudio, adicionalmente se hicieron visitas a la vía con el fin de recolectar la información requerida para optimizar la información detallada en el levantamiento y analizar las incidencias de tipo geotécnica, hidrológica y legal de adquisición de predios.

Para la elaboración del diseño se realizó el levantamiento topográfico de la zona de influencia de la vía detallando las que confluyen en la misma, el tramo I, el tramo II y los predios que serán intervenidos con la materialización del proyecto; lo anterior con el propósito de tener suficiente información topográfica del sitio para poder elaborar los diseños respectivos. Posteriormente, se introdujo esta información al software de diseño en el cual se hicieron los ajustes necesarios para proveer las condiciones de comodidad y seguridad de la vía.

Como apoyo en el diseño geométrico en particular para la generación y dibujo de secciones transversales se utilizó el software VIAS desarrollado por el ingeniero John Jairo Agudelo Ospina docente diseño asistido por computador (CAD) de la Universidad EAFIT, se basa en lenguaje Lisp utilizando el editor de visual Lisp y trabaja como complemento de AutoCad.

3. TRÁNSITO DE DISEÑO

3.1 ANÁLISIS DE LA SERIE HISTÓRICA

En el proceso de recopilación de la información de la vía en estudio no se encontró datos de conteo, sin embargo, hay la información que corresponde a la calle 17 estación 313 Rumichaca- Pasto de la publicación de INVIAS para el año 2007. De allí se tomaron datos para ser analizados, los cuales no dejan de ser valores muy conservadores pero puede dar una buena aproximación al tránsito por esta vía en caso de ser habilitada para el tránsito.¹²

Adicionalmente, se realizaron conteos vehiculares manuales en el tramo I con una duración de tres días representativos de 6 am a 9 pm, donde es importante destacar que en vista de que el paso fronterizo cierra a las 10 pm, y abre a las 6 am, en este periodo de tiempo no hay tráfico pesado por la vía en mención o su zona de influencia. Los conteos permiten obtener los siguientes datos y deducciones:

3.1.1 Tránsito. El “TPDs” es el promedio diario, obtenido de un conteo de una semana, de los vehículos que pasan por una sección de la vía, sin embargo, se realizará un conteo de tres días representativos de la semana en un lapso de 15 horas consecutivas, información que será extrapolada para obtener el TPDs actual.

El análisis de tránsito sobre la zona se califica como tránsito generado y atraído teniendo en cuenta TPDs de sectores importantes de la ciudad, para dar un indicativo de la magnitud y cantidad de cargas solicitantes de la estructura.

La variable se cuantifica estableciendo el espectro de cargas y el número de repeticiones de cada rango de cargas que se espera en el carril de diseño durante el periodo de diseño. Se plantea también un factor de seguridad de cargas 1.1 para amplificar la magnitud de la carga representativa de cada rango.

Con base en la serie histórica, y con ayuda del software TRANSITO Versión 2.0 de 2001, análisis estadístico de la serie histórica de estaciones de conteo desarrollado por la Universidad del Cauca. Se obtiene información que permite realizar la proyección del tránsito actual utilizando una regresión potencial que es la que arroja la mayor correlación igual a 0,89. Ver tabla 14.

¹² MANUAL DE DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS, Invias, 2008.

Tabla 14. Transito actual de la serie histórica de la estación de conteo 313

TTO ACTUAL		REGRESION POTENCIAL
Estación	313	Rumichaca-Ipiales
TPDs	4204	vehiculos
A %	84,63	3557,85
B %	4,3	180,77
C %	11,07	465,38
TIPO DE CAMION %		
C2P	33%	155,13
C2G	46%	213,98
C3	9%	41,20
C5	8%	35,73
>C5	4%	19,34
Atraído	5	210,2
Generado	10	420,4

Fuente: Manual de Diseño Geometrico de Carreteras. Invias, 2008.

Para la obtención de los anteriores resultados, se utilizó la serie histórica de la estación de conteo No.313 entre los años 1968 – 2000 y se realizaron regresiones de tipo exponencial, lineal, potencial y logarítmica, donde se escogió la potencial ya que representaba con mayor aproximación las variaciones del tránsito a lo largo de los años.

Sin embargo, en vista de que el 100% de este tráfico corresponde a la calle 17, se espera que cuando se concluya la obra, el tránsito atraído sea de aproximadamente el 50%, de tal manera que el TPDs será igual a 2418 veh/día

Adicionalmente, con los conteos realizados en el tramo I, se obtuvieron los siguientes resultados: Ver tabla 15.

Tabla 15. Transito actual y distribución de vehículos conteos manuales

TTO ACTUAL		
conteos Manuales		
TPDs	164	vehiculos
A %	88,72	145,50
B %	2,08	3,41
C %	9,2	15,09
TIPO DE CAMION %		
C2P	51%	7,66
C2G	40%	6,08
C3	5%	0,75
C5	2%	0,36
>C5	2%	0,23
Atraído	5	8,2
Generado	10	16,4
TPDs		189

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Invias, 2008.

Con estos datos y las estimaciones realizadas, se concluye que el tránsito de diseño equivale a la suma de los dos TPDs, osea igual a 2606 veh/día cuya distribución se pondera obteniendo los siguientes resultados: Ver tabla 16.

Tabla 16. Transito Actual y distribución de vehículos

TTO ACTUAL		
Estación	Total	
TPDs	2266	vehiculos
A %	86,7	1964,62
B %	3,2	67,26
C %	10,1	212,30
TIPO DE CAMION %		
C2P	33%	70,77
C2G	46%	97,62
C3	9%	18,79
C5	8%	16,30
>C5	4%	8,82
Atraido	5	113,3
Generado	10	226,6
TPDs		2606

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Invias, 2008.

3.1.2 Proyección del volumen total del tránsito en el período de diseño.

Para el cálculo de los siguientes resultados se utilizará la serie histórica de la estación de conteo No.313 entre los años 1968 – 2000 y conteos manuales, se realizaron regresiones de tipo exponencial, lineal, potencial y logarítmica, donde se escogió la potencial ya que representaba con mayor aproximación las variaciones del tránsito a lo largo de los años.

A continuación, se resumen los datos obtenidos y los parámetros involucrados en el cálculo del tránsito futuro: Ver tabla 17.

Tabla 17. Transito a futuro

TPDs	2606
Tto FUTURO	
Tasa de crecimiento %	4
No. Carriles	2
Fd	0,5
Fc	1
Periodo de diseño años	20
Tto futuro	14.161.762

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Invias, 2008.

Que equivale al volumen de vehículos esperados en la vía durante un periodo de 20 años en el carril de diseño.

3.1.3 Distribución de cargas. El daño producido por los diferentes tipos de vehículos que circulan por la vía se distribuye conforme el porcentaje de participación de cada tipo de vehículo en el volumen vehicular total en el periodo de diseño, con lo cual determinamos el espectro de carga así: Ver tabla 18.

Tabla 18. Espectro de carga deducido

Espectro de Carga		
Ejes Simples		
Carga Tn	Rep. Esperadas	
3,5	476.779	c2p delantero
5,25	657.671	c2g delantero
6,5	476.779	C2P Eje trasero
7,02	126.624	C3 Eje Delantero
7,2	109.827	C5 Eje Delantero
7,28	59.436	>C5 Eje Delantero
8,75	657.671	C2G Eje Trasero
Ejes Tandem		
19,98	126.624	C3 Eje Trasero
20,4	109.827	C5 Eje Trasero Cabezote
20,8	109.827	C5 Eje Trasero Remolque
Ejes Tridem		
23,92	59.436	>C5 Eje Trasero Remolque

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Invias, 2008.

El anterior es una variable para el diseño de estructura de pavimento rígido.¹³

¹³ Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Invias, 2008.

4. DISEÑO GEOMETRICO

4.1 CONTROLES PARA EL DISEÑO GEOMETRICO

Considerando que la vía objeto de estudio se proyecta construir en un terreno de propiedad privada, el condicionante principal de diseño fue el de menor intervención en los predios, principalmente en el tramo entre la calle 17 y vía perimetral, así mismo de la red principal de desagües de aguas superficiales.

En el presente trabajo se definirán los lineamientos geométricos para que sean compatibles con lo dispuesto por la oficina de Ordenamiento Territorial del Municipio de Ipiales y la normatividad nacional vigente INVIAS 2008.

4.1.1 Velocidad de diseño. El manual del INVIAS 2008 en el proceso de asignación de la Velocidad de Diseño determina que 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, sin embargo, debe quedar en claro que para el objeto de este trabajo la velocidad de diseño está limitada por la normatividad de velocidad máxima en zonas urbanas, la cual es de 60 km/hr 14 la cual será tomada como VTR. Ver tabla 19.

Tabla 19. Velocidades de diseño según tipo de carretera y terreno

CATEGORIA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO (KM/hr)				
		20	30	40	50	60
SEGUNDA	PLANO					
	ONDULADO					
	MONTAÑOSO					
	ESCARPADO					

Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras INVIAS 2008

Adicionalmente, se puede verificar que para una vía secundaria en un terreno ondulado (3% - 6%) la velocidad está entre 50 y 80 km/h, rango en el que se encuentra la VTR de este trabajo.

¹⁴Artículo 106, Código Nacional De Tránsito Terrestre.

- **Velocidad de diseño del tramo homogéneo (VTR).** De igual manera, considerando que la totalidad de longitud de la vía proyectada no supera los 1000m, se establece que este es un tramo homogéneo, el cual según la normativa INVIAS no debería ser menor a 4 km para velocidades entre 60 y 110 km/hr¹⁵.

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

- **Velocidad específica de la curva horizontal (VCH).** Para asignar la Velocidad Específica (VCH) a las curvas horizontales incluidas en el Tramo homogéneo, se consideran los siguientes parámetros y criterios: Ver tabla 20.

Tabla 20. Velocidad específica de una curva horizontal (VCH) incluida en un tramo homogéneo con velocidad de diseño VTR

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 ≤ 70	70 < L ≤ 250		250 < L ≤ 400	L > 400	L ≤ 150	150 < L ≤ 400		400 < L ≤ 600	L > 600
	Δ < 45°	Δ ≥ 45°				Δ < 45°	Δ ≥ 45°			
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

Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras INVIAS 2008

- **Asignación de la VCH.** Teniendo en cuenta que la velocidad VTR está en el rango entre 60 y 110 km/h, se procede a asignar la VCH a cada curva considerando los casos de la tabla 21, los cuales dependen de la longitud del segmento recto anterior y de los Δ . A continuación se realiza la asignación de VCH en sentido creciente del abscisado y posteriormente en sentido contrario. Ver figuras 14-16.

¹⁵ Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 INVIAS, Capítulo Dos

Figura 14. Eje del diseño preliminar en planta

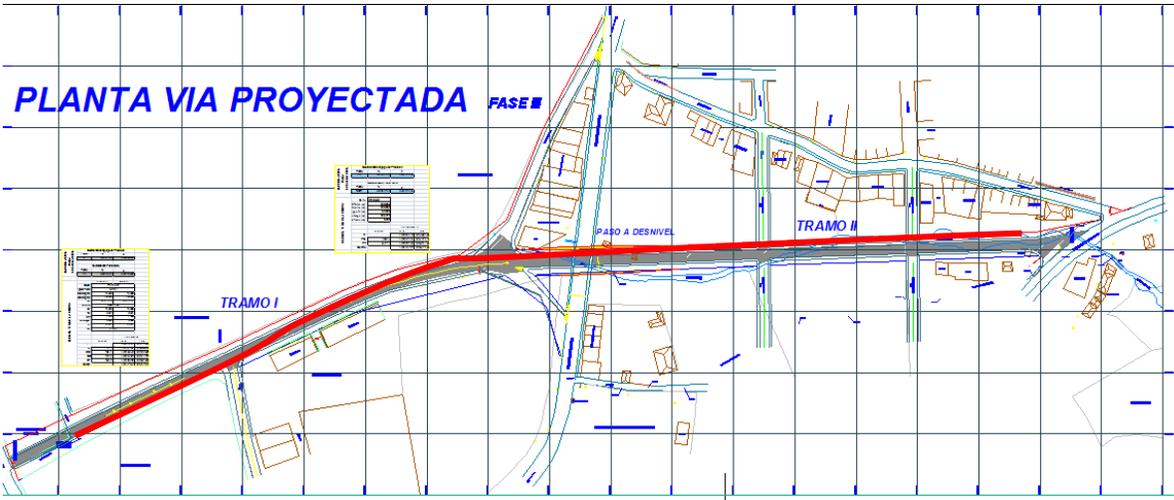


Figura 15. Asignación de la velocidad específica de las curvas horizontales VCH – diseño preliminar del eje en planta. Determinación de la longitud de los segmentos rectos

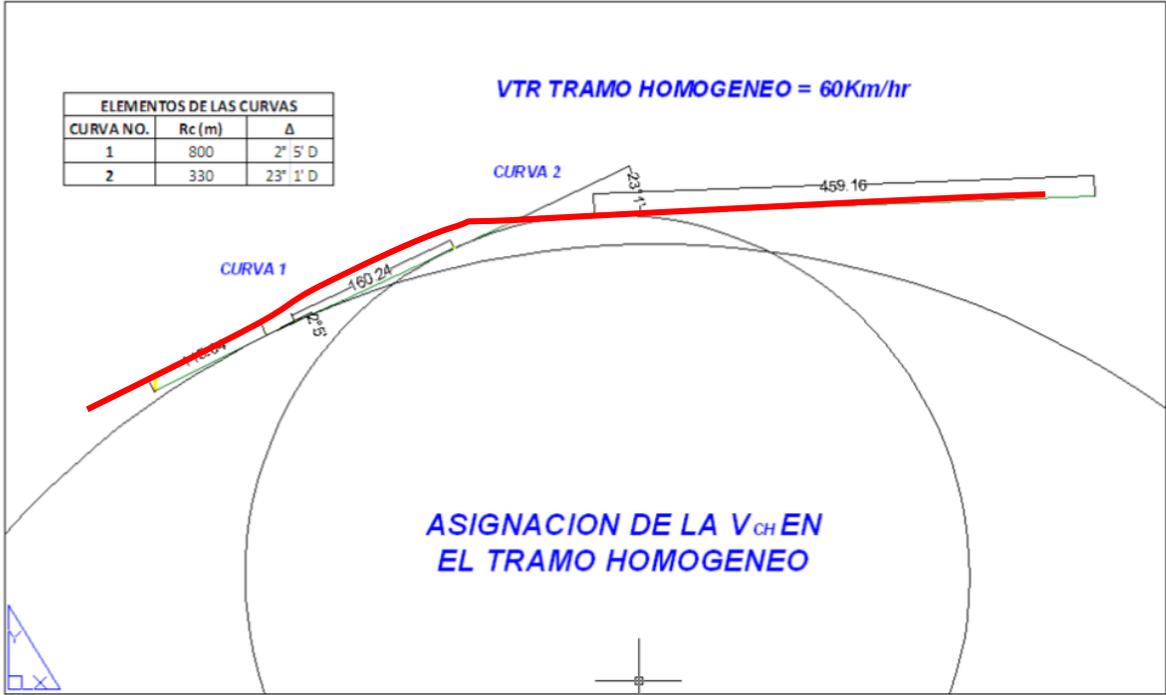
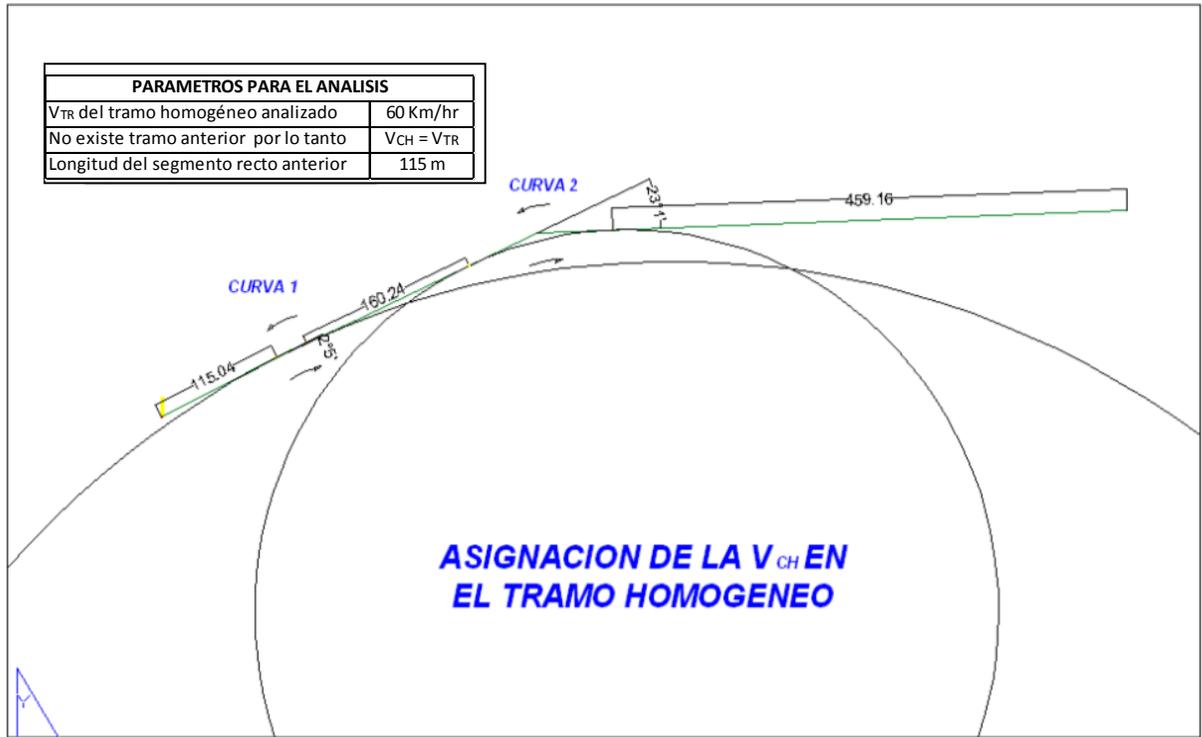


Figura 16. Asignación de la velocidad específica de las curvas horizontales VCH – asignación de la VCH en uno y otro sentido de circulación



❖ **Sentido creciente del abscisado**

- **Curva Uno** Longitud del segmento recto anterior = 115m (caso 1)
 $V_{CH1} = V_{TR} = 60\text{km/h}$
- **Curva Dos** Longitud del segmento recto anterior = 160m y $\alpha = 2^{\circ}5'$ (caso 2)
 Velocidad específica de curva horizontal anterior= $V_{CH1} = V_{TR}$

Por lo tanto: $V_{CH2} = V_{TR} = 60\text{km/h}$

❖ **Sentido decreciente del abscisado**

- **Curva dos.** A la primera curva del tramo homogéneo analizado en el sentido decreciente del abscisado se debe asignar el mismo valor de Velocidad Específica que se asignó cuando se realizó la simulación en el sentido creciente del abscisado.¹⁶

Por lo tanto: $V_{CH2} = V_{CH2}$ (en sentido creciente y decreciente del abscisado)

¹⁶ Ibíd.

- **Curva uno.** Longitud del segmento recto anterior = 160.24 y $\alpha = 2^{\circ}5'$ (caso 2)
Velocidad específica de la curva horizontal anterior = $V_{CH2} = 60$ km/h

Por lo tanto: $V_{CH1} = V_{TR} = 60$ km/h

Como resultado de la asignación de las Velocidades Específicas simulando el recorrido en el sentido creciente del abscisado y luego en el sentido contrario, cada una de las curvas tiene asignadas dos Velocidades Específicas que en este caso en particular son iguales.

En el caso de que hubieran resultado diferentes, la condición de seguridad indica que se debe asignar la mayor como Velocidad Específica definitiva de la curva horizontal

- **Velocidad en la entretangencia horizontal (VETH).** La Velocidad Específica de la entretangencia horizontal (VETH) debe ser igual a la mayor de las dos Velocidades Específicas de las curvas horizontales extremas.

Por tanto, para la entretangencia y tramos rectos del diseño se verifica que las $V_{ETH} = 60$ km/hr

- **Velocidad Específica de la curva vertical (VCV)**

Curva vertical uno. La curva vertical 1 coincide con la curva horizontal 1 de tal manera que: $V_{CV1} = V_{CH1} = 60$ km/h

Curva vertical dos. La Curva vertical 2 Coincide con la Curva Horizontal 2 por lo tanto, $V_{CV2} = V_{CH2} = 60$ km/h

Curva vertical tres. Coincide con el segmento recto de $V_{ETH} = 60$ km/h de tal manera que la $V_{CV3} = 60$ km/h

- **Velocidad específica de la tangente vertical (VTV).** 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 Velocidad Específica de la tangente vertical (VTV) es igual a la Velocidad Específica de la entretangencia horizontal V_{ETH} como ya se encontró, los tramos rectos y entretangencia horizontal tiene una $V_{ETH} = 60$ km/h = V_{TV}

Este valor se considera para determinar la pendiente máxima en el diseño en perfil del eje de la Vía.

- **Pendiente máxima.** Para la selección de la pendiente máxima para la vía secundaria con un VTR =60 km/h se verifica en la tabla 3.6 una pendiente máxima de 7% en este trabajo la máxima es de 6.4%

- **Longitud mínima.** Para las condiciones del diseño VTV1 y VTV2=60 km/h se encuentra que la longitud mínima de la tangente vertical (m) es 170m.

Se chequea que para las entretangentes verticales entre:

PTV1 y PCV2 es de 220m Cumple

PTV2 y PCV3 es de 200m Cumple

4.1.2 Distancia de visibilidad de parada. En la tabla 21, de este trabajo se presentan los valores recomendados para las distancias mínimas de visibilidad de parada para diferentes velocidades de diseño, para tramos de rasantes a nivel ($p = 0$). De la que se toman los valores para la velocidad de diseño de este proyecto.

Para el cálculo de la velocidad de parada, se consideran las pendientes menores y mayores al 3% puesto que para las primeras se asumen como tramos a nivel. En el siguiente cuadro se detallan las pendientes del proyecto y las distancias de parada en ascenso y descenso.

Tabla 21. Velocidad específica VCH, VETH, VCV o VTV = (km/h)= 60km/h

DISTANCIAS DE VISIBILIDAD DE PARADA ENTRAMOS CON PENDIENTE				
TRAMOS DE PENDIENTE	DESCENSO		ASCENSO	
	PENDIENTE	DISTANCIA (m)	PENDIENTE	DISTANCIA (m)
1	-6.40%	92	6.4%	77
2	-2.90%	87	2.9%	80
3	-4.20%	88	4.2%	78
4	-1.00%	85	1.0%	85

Se verifica que las distancias de entretangencia son mayores a las de parada y que cumple esta condición para todo el tramo homogéneo.

4.1.3 Distancia de visibilidad de adelantamiento. Teniendo en cuenta que la distancia de visibilidad de adelantamiento deberá considerarse únicamente para vías de dos carriles con tránsito en las dos direcciones, donde el adelantamiento se realiza en el carril del sentido opuesto.

De la tabla 22, de este trabajo se toma la mínima distancia de visibilidad de adelantamiento para la velocidad de diseño.

Para nuestra velocidad de diseño, se tiene una $D_a = 410\text{m}$ tomada de la tabla Mínima distancia de visibilidad de adelantamiento para carreteras de dos carriles dos sentidos del manual de diseño geométrico del INVAS 2008, la cual no es posible cumplir, se concluye que para la velocidad específica **VETH** de 60km/h estará prohibida la maniobra de adelantamiento.

4.1.4 Distancia de visibilidad de cruce (Dc). En el manual del INVIAS, se analizan diferentes condiciones de los eventos que se pueden presentar en una intersección y las recomendaciones para atenderlos.

Para la intersección con la vía perimetral y calle 24 se estima una $D_c = 120\text{m}$ en vehículo liviano y 221m para tracto-camiones con tres ejes, según lo estipulado en la Tabla 2.11 del manual de diseño geométrico del INVIAS.

4.2 ALTERNATIVAS INICIALES DE TRAZADO

En esta etapa se estudian las alternativas que faciliten el análisis y la toma de decisiones para la realización del proyecto, desde los aspectos, geométrico, ambiental y socioeconómico.

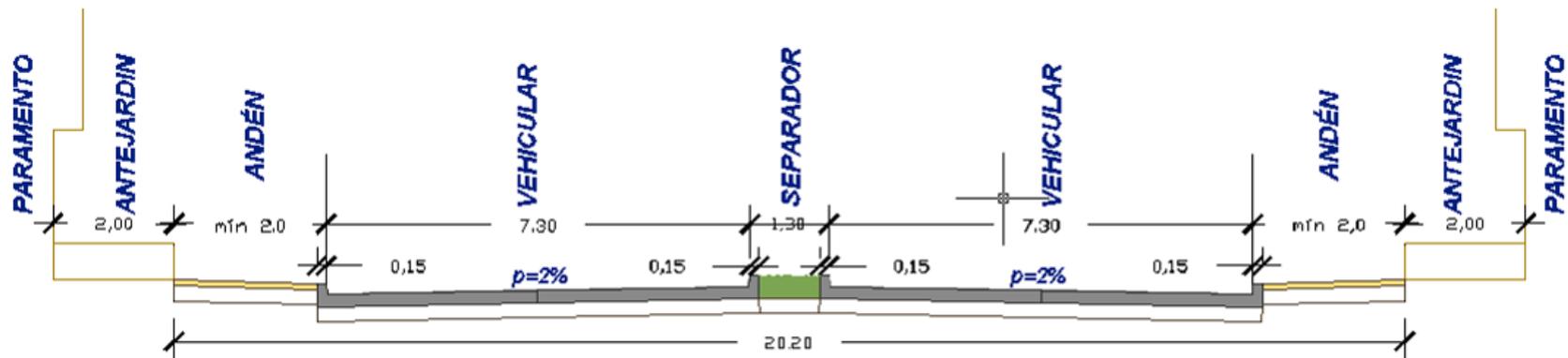
Es necesario el reconocimiento de la zona del proyecto, con el inventario detallado de la geometría de la vía y la topografía aledaña. De igual manera, el tránsito futuro de la vía proyectada que permita la selección del diseño.

Con el diseño preliminar de variantes fue necesario tener en cuenta los siguientes aspectos que inciden directamente en el proyecto geométrico, como lo estipula el manual de diseño geométrico:

- Evaluación del estado de los puentes, pontones y alcantarillas, para determinar su posible ampliación y su incidencia en el diseño geométrico del mejoramiento.
- Selección de posibles sitios para el diseño de intersecciones
- Áreas de incidencia directa del proyecto tales como cultivos, agroindustria, industria, zonas urbanas o sub-urbanas, zonas de inundación, sectores de conflicto social, etc. Ver figura 17.

4.2.1 Alternativa I:

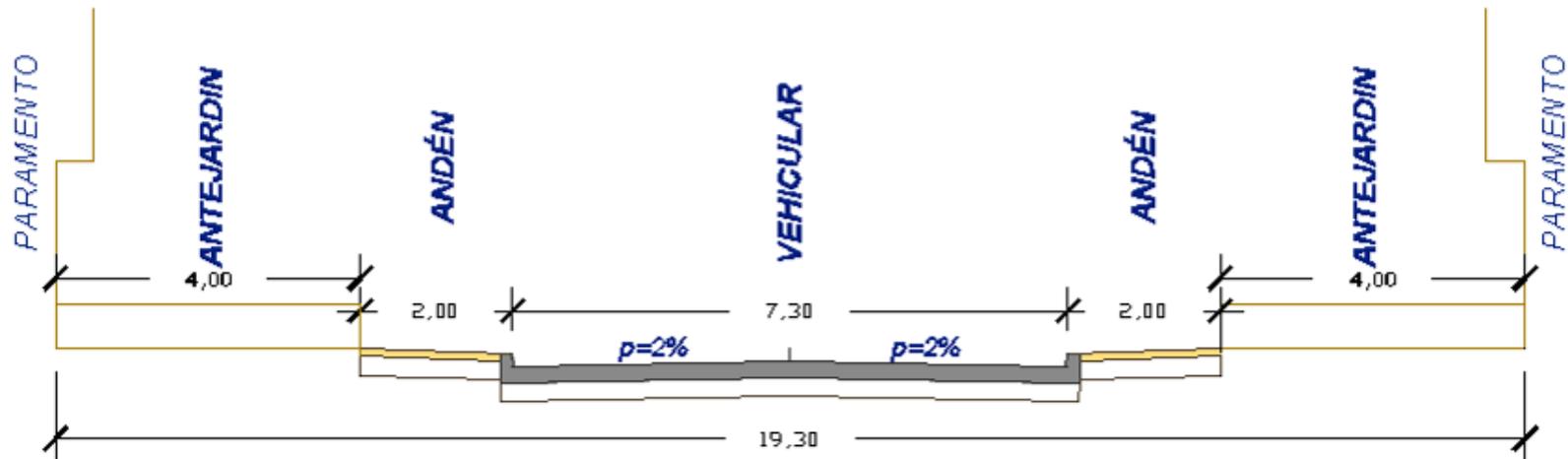
Figura 17. Sección transversal alternativa I



En el desarrollo del trabajo de aplicación se propuso la construcción de un trazado horizontal con sección correspondiente a una doble calzada como la que se indica en la figura 6.1, que bordea la corriente de aguas servidas existente, sin embargo, esta propuesta fue descartada ya que evidentemente genera mayores cantidades de movimientos de tierra y no es justificada con el tráfico futuro que se ha previsto. Ver tabla 18.

4.2.2 Alternativa II:

Figura 18. Sección transversal alternativa II



Con la elección del trazado en la etapa preliminar, se continúa con el cálculo de los elementos geométricos de diseño para la alternativa II únicamente que permitan evaluar el cumplimiento de la normatividad, específicamente lo dispuesto en el manual de diseño geométrico del INVIAS 2008.

Se parte con una sección correspondiente a una vía de segundo orden, que de acuerdo a la velocidad de diseño posee un ancho de calzada igual a 7,30 m. se deja una franja de antejardines o zona de protección para futuras ampliaciones para obtener una longitud entre paramentos de 19,30m

Para efectos constructivos se proyecta la apertura del ancho de vía que corresponde a la calzada y andenes, el área de protección queda establecida como retiro para los urbanizadores de lotes colindantes. En adelante, se desarrollan los diseños únicamente para la Alternativa II.

4.3 DISEÑO EN PLANTA DEL EJE DE LA VIA

4.3.1 Tangentes y curvas horizontales. Se realizaron los diseños en planta, teniendo en cuenta las condiciones impuestas por el terreno natural buscando la opción más conveniente para el alineamiento en lo que se refiere a cortes, rellenos y en el caso particular, para verificar el gálibo mínimo con la calle 17 donde por su volumen de tránsito, topografía y prioridad en su flujo vehicular, se proyecta construir un paso a desnivel con la construcción de un puente y obras complementarias a este. De igual manera y, con respecto al cauce de aguas servidas que cruza el tramo II, se prevé construir un box culvert para encausar la corriente y darle un manejo adecuado además de permitir la proyección de la vía en estudio.

El diseño del puente y de la estructura hidráulica en mención, está fuera del objeto de este trabajo, toda vez que en el caso de la segunda, la empresa de acueducto y alcantarillado del municipio de Ipiales ha realizado el trazado preliminar de la conducción, la cual será paralela a la vía nueva.

En las siguientes páginas se describen los datos de entrada, los elementos calculados y los resultados de salida de cada tipo de empalme, obtenidos mediante la aplicación CURVAS, desarrollada en la hoja electrónica "Excel".

Dicha aplicación se encuentra en la versión digital del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS.

La aplicación agrupa la información en bloques, como información de entrada y salida de la siguiente manera:

- a. Información de la curva.
- b. Información para localización.
- c. Elementos de la curva.

De igual manera, se entrega la siguiente información, necesaria tanto en el proceso de diseño como durante la localización de cada curva:

- Coordenadas planas cartesianas y coordenadas polares para los puntos principales y abscisado continuo de la curva.

- Información de los datos de salida para exportar al programa de computador "AutoCAD" y obtener un dibujo por coordenadas de la curva.

• **Información básica de la aplicación "Curvas"**. Se introducen como datos de entrada los siguientes parámetros:

- **Abscisa inicial**. Corresponde a la abscisa de un punto ubicado dentro de la tangente de entrada a la curva a partir del cual la aplicación calculará los restantes, dependiendo del incremento de abscisado definido por el usuario.

- **Coordenadas punto inicial (N - E)**. Coordenadas Norte y Este del punto con la abscisa definida como inicial.

- **Azimut de entrada (g,m,s)**. Azimut de la tangente de entrada a la curva. Se digita en grados, minutos y segundos, separado por una coma (,).

- **Coordenadas punto final (N - E)**. Coordenada Norte y Este de un punto ubicado dentro de la tangente de salida de la curva.

- **Azimut de salida (g,m,s)**. Azimut de la tangente de salida de la curva.

- **Incremento en abscisado**. Incremento constante del abscisado dentro de la curva.

• **Información para localización**

- **Coordenadas del equipo de precisión**. Se debe definir la ubicación del equipo de precisión, la que podrá ser cualquiera de los puntos de control de cada curva tales como: PI, PC, PT, ET, o TE.

- **Coordenada punto cero**. Coordenadas del punto con el cual se direcciona el "Cero" del equipo de precisión. Se puede definir dar cero a cualquiera de los puntos de control de la curva, a la Norte, o a cualquier otro punto para lo cual se deberán dar sus coordenadas Norte y Este.

• **Representación gráfica de las curvas horizontales**. La representación gráfica de las curvas se realiza cuando se calculan los elementos de la curva y las coordenadas de los puntos del eje de la curva. Los datos son ingresados en AutoCad los cuales se ajustan a las tangentes de entrada y salida con el abscisado correspondiente de la curva.

A continuación se detallan las carteras de diseño en planta, donde se realizó el diseño de dos curvas, una con empalme espiral – círculo - espiral y otra circular,

sin embargo, como se describe más adelante, fue necesario realizar una modificación al trazado del eje específicamente en la curva número uno.

- **CH1 Espiral-circulo-espisal**

INFORMACION DE LA CURVA

Tipo de Espiral :	Espiral-Circulo-Espisal	
Abscisa Inicial (m) :	K0+085.70	
Coordenadas Punto Inicial (N-E) :	583854.206	936067.679
Azimut de Entrada (g,m,s) :	63.16	
Coordenadas Punto Final (N-E) :	583899.719	936162.185
Azimut de Salida (g,m,s) :	65.41	
Espiral Entrada (m) :	46.000	Longitud
Radio Circular (m) :	1478.000	
Centro Circular (N-E) :		
Espiral Salida (m) :	46.000	Longitud
Sentido :	Derecha	
Incremento en Abscisado (m) :	10	

INFORMACION PARA LOCALIZACION

Coordenadas Equipo de Precisión		
Punto	N	E
TE	583854.401	936068.065
Coordenadas Punto Cero		
Punto	N	E
PI	583877.890	936114.485

ELEMENTOS DE LA CURVA

	Entrada (m)	Salida (m)
Delta :	2°15'0.0"	
Longitud Total :	104.905	
Longitud Espiral :	46.000	46.000
Parámetro Espiral :	260.745	260.745
Oe :	0°53'29.8"	0°53'29.8"
Delta C :	0°28'0.4"	
Xm :	23.000	23.000
Disloque :	0.060	0.060
Te :	52.025	52.025
Lc :	12.041	

	Coordenadas		
	Abscisa	Norte	Este
PI :		583877.890	936114.485
TE :	86.13	583854.401	936068.065
EC :	132.13	583874.956	936109.216
CE :	144.17	583880.181	936120.064
ET :	190.17	583899.539	936161.792
Centro :		582545.956	936755.932

En el proceso de chequeo de los tres criterios para parámetro y longitud mínima de curvas espirales se observa que no cumple con ciertos criterios y se analizó la posibilidad de bajar la velocidad de diseño a 50 km/hr, donde se encontraron los siguientes resultados:

Criterio I = 59,57 > 55.08 Cumple
Criterio II = 43,54 < 55.08 No Cumple
Criterio III =
 III 1 = 319 > 88 (Parámetro máximo) No Cumple
 III 2 = 899 > 88 (Parámetro máximo) No Cumple

Después de varias iteraciones con el radio y elementos de la curva, se concluyó que era improcedente la utilización de una curva espiral en este trazado, puesto que las limitantes urbanas, no permiten realizar variaciones considerables al mismo para su mejora sin que se obligue la intervención en predios privados, por tal motivo, se ha dispuesto un alineamiento horizontal con una curva circular simple que se ajusta a lo descrito, la cual se indica a continuación:

• CH1 curva circular

INFORMACION DE LA CURVA

Abscisa Inicial (m) :	K0+085.70	
Coordenadas Punto Inicial (N-E) :	583872.301	936103.357
Azimut de Entrada (g,m,s) :	63.16	
Coordenadas Punto Final (N-E) :	583886.076	936131.975
Azimut de Salida (g,m,s) :	65.41	
Radio (m) :	800	
Sentido :	Derecha	
Incremento en Abscisado (m) :	10	

INFORMACION PARA LOCALIZACION

Coordenadas Equipo de Precisión		
Punto	N	E
PC	583872.301	936103.357

Coordenadas Punto Cero		
Punto	N	E
Norte	583882.301	936103.357

ELEMENTOS DE LA CURVA

Delta :	2°15'0.0"
Longitud Total (m) :	31.763
Longitud Circular (m) :	31.416
Tangente (m) :	15.710
Cuerda Larga (m) :	31.414
Externa (m) :	0.154

	Coordenadas (m)		
	Abscisa	Norte	Este
PI :		583879.394	936117.375
PC :	85.70	583872.301	936103.357

• **CH2 curva circular**

INFORMACION DE LA CURVA	Abscisa Inicial (m) :	K0+304.37	
	Coordenadas Punto Inicial (N-E) :	583958.089	936287.514
	Azimut de Entrada (g,m,s) :	64,54	
	Coordenadas Punto Final (N-E) :	583989.110	936415.926
	Azimut de Salida (g,m,s) :	87,56	
	Radio (m) :	330	
	Sentido :	Derecha	
Incremento en Abscisado (m) :	10		

INFORMACION PARA LOCALIZACION	Coordenadas Equipo de Precisión		
	Punto	N	E
	PC	583958.156	936287.656
	Coordenadas Punto Cero		
Punto	N	E	
Norte	583968.156	936287.656	

ELEMENTOS DE LA CURVA	Delta :	23°1'60.0"
	Longitud Total (m) :	133.004
	Longitud Circular (m) :	132.662
	Tangente (m) :	67.239
	Cuerda Larga (m) :	131.771
	Externa (m) :	6.781

Coordenadas (m)			
Abscisa	Norte	Este	
	583986.679	936348.546	PI
304.52	583958.156	936287.656	PC
437.19	583989.103	936415.742	PT
	583659.318	936427.642	Centro

❖ **Diseño de peraltes.** Con base en los radios (Rc) del diseño que mejor se ajustaron a las condiciones topográficas del terreno y a las limitantes urbanas como construcciones, vías y demás estructuras existentes, y con la VCH = 60km/hr, se procedió a calcular un peralte para que la curva permita que los vehículos puedan transitar con plena seguridad.

Con base en lo anterior y en la tabla 22 y 24, Radios (RC) según Velocidad Específica (VCH) y Peraltes (e) del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras INVIAS 2008, se logró determinar que para las condiciones geométricas mencionadas se ajusta un peralte de 2.6% para radio mínimo Rc=800m en la CH1 y de 5.2% para Rc=330m en la CH2.

Tabla 22. Datos de entrada para diseño de peraltas

CURVA HORIZONTAL 1 (CH1)		
DATOS		
Ve=	60	Km/h
Δs =	0.6	%
a=	3.65	m
bw=	1	
e=	2.6	%
$L=a*bw*(e/\Delta s)$	16	m
$N=BN*L/ef$	12	m
$L_t=L+N$	28	m

CURVA HORIZONTAL 2 (CH2)		
DATOS		
Ve=	60	Km/h
Δs =	0.6	%
a=	3.65	m
bw=	1	
e=	5.2	%
$L=a*bw*(e/\Delta s)$	32	m
$N=BN*L/ef$	12	m
$L_t=L+N$	44	m

Tabla 23. Transición del peraltado

CURVA		ABSCISAS	COTAS ROJAS	PERALTE		DESNIVELES		COTAS ROJAS SUBRASANTE	
HORIZONTAL	VERTICAL	PROYECTO	EJE SUBRASANTE	e Izq	e Der	BORDE	BORDE	BORDE	BORDE
		Km	(m)	(%)	(%)	IZQUIERDO	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO
		0	2784.00	-2	-2	-0.07	-0.07	2783.93	2783.93
		10	2783.36	-2	-2	-0.07	-0.07	2783.29	2783.29
		20	2782.72	-2	-2	-0.07	-0.07	2782.65	2782.65
		30	2782.08	-2	-2	-0.07	-0.07	2782.01	2782.01
	PCV1	40	2781.44	-2	-2	-0.07	-0.07	2781.37	2781.37
		45	2781.12	-2	-2	-0.07	-0.07	2781.05	2781.05
		50	2780.82	-2	-2	-0.07	-0.07	2780.74	2780.74
		55	2780.52	-2	-2	-0.07	-0.07	2780.45	2780.45
		60	2780.23	-2	-2	-0.07	-0.07	2780.16	2780.16
		65	2779.95	-2	-2	-0.07	-0.07	2779.88	2779.88
		70	2779.68	0	-2	0.00	-0.07	2779.68	2779.60
		75	2779.41	2	-2	0.07	-0.07	2779.49	2779.34
		80	2779.16	2	-2	0.07	-0.07	2779.23	2779.09
		85	2778.91	2	-2	0.07	-0.07	2778.99	2778.84
PC		86	2778.80	2.6	-2.6	0.09	-0.09	2778.89	2778.70
	PIV1	90	2778.68	2.6	-2.6	0.09	-0.09	2778.77	2778.58
		95	2778.45	2.6	-2.6	0.09	-0.09	2778.54	2778.35
CURVA # 1		100	2778.23	2.6	-2.6	0.09	-0.09	2778.32	2778.14
		105	2778.02	2.6	-2.6	0.09	-0.09	2778.11	2777.92
		110	2777.82	2.6	-2.6	0.09	-0.09	2777.91	2777.72
		115	2777.62	2.6	-2.6	0.09	-0.09	2777.72	2777.53
PT		117	2777.53	2.6	-2.6	0.09	-0.09	2777.63	2777.44
		120	2777.44	2	-2	0.07	-0.07	2777.51	2777.37
		125	2777.26	2	-2	0.07	-0.07	2777.34	2777.19
		130	2777.10	2	-2	0.07	-0.07	2777.17	2777.02
		135	2776.94	0	-2	0.00	-0.07	2776.94	2776.87
	PTV1	140	2776.79	-2	-2	-0.07	-0.07	2776.72	2776.72
		150	2776.50	-2	-2	-0.07	-0.07	2776.43	2776.43
		160	2776.21	-2	-2	-0.07	-0.07	2776.14	2776.14
		170	2775.92	-2	-2	-0.07	-0.07	2775.85	2775.85
		180	2775.63	-2	-2	-0.07	-0.07	2775.56	2775.56
		190	2775.34	-2	-2	-0.07	-0.07	2775.27	2775.27
		200	2775.05	-2	-2	-0.07	-0.07	2774.98	2774.98
		210	2774.76	-2	-2	-0.07	-0.07	2774.69	2774.69
		220	2774.47	-2	-2	-0.07	-0.07	2774.40	2774.40
		230	2774.18	-2	-2	-0.07	-0.07	2774.11	2774.11
		240	2773.89	-2	-2	-0.07	-0.07	2773.82	2773.82
		250	2773.60	-2	-2	-0.07	-0.07	2773.53	2773.53
		260	2773.31	-2	-2	-0.07	-0.07	2773.24	2773.24

Tabla 23. (Continuación)

CURVA		ABSCISAS	COTAS ROJAS	PERALTE		DESNIVELES		COTAS ROJAS SUBRASANTE	
HORIZONTAL	VERTICAL	PROYECTO	EJE SUBRASANTE	e Izq	e Der	BORDE	BORDE	BORDE	BORDE
		Km	(m)	(%)	(%)	IZQUIERDO	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO
		270	2773.02	0	-2	0.00	-0.07	2773.02	2772.95
		280	2772.73	2	-2	0.07	-0.07	2772.80	2772.66
		290	2772.44	4	-4	0.15	-0.15	2772.59	2772.29
		300	2772.15	4	-4	0.15	-0.15	2772.30	2772.00
PC		304.5	2772.01	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2772.19	2771.82
		310	2771.86	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2772.05	2771.67
		320	2771.57	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2771.76	2771.38
		330	2771.28	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2771.47	2771.09
		340	2770.99	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2771.18	2770.80
		350	2770.70	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2770.89	2770.51
	PCV2	360	2770.48	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2770.67	2770.29
		365	2770.33	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2770.52	2770.14
		370	2770.18	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2770.37	2769.99
		375	2770.03	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2770.22	2769.84
CURVA # 2		380	2769.87	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2770.06	2769.68
		385	2769.71	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2769.90	2769.52
		390	2769.55	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2769.74	2769.36
		395	2769.39	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2769.58	2769.20
		400	2769.22	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2769.41	2769.03
		405	2769.04	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2769.23	2768.85
	PIV2	410	2768.87	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2769.06	2768.68
		415	2768.69	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2768.88	2768.50
		420	2768.51	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2768.70	2768.32
		425	2768.32	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2768.51	2768.13
		430	2768.13	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2768.32	2767.94
		435	2767.94	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2768.13	2767.75
PT		437.2	2767.84	5.2	-5.2	0.19	-0.19	2768.03	2767.65
		440	2767.74	4	-4	0.15	-0.15	2767.89	2767.60
		445	2767.55	4	-4	0.15	-0.15	2767.69	2767.40
		450	2767.34	2	-2	0.07	-0.07	2767.42	2767.27
		455	2767.14	0	-2	0.00	-0.07	2767.14	2767.07
	PTV2	460	2766.93	-2	-2	-0.07	-0.07	2766.86	2766.86
		470	2766.51	-2	-2	-0.07	-0.07	2766.44	2766.44
		480	2766.09	-2	-2	-0.07	-0.07	2766.02	2766.02
		490	2765.67	-2	-2	-0.07	-0.07	2765.60	2765.60
		500	2765.25	-2	-2	-0.07	-0.07	2765.18	2765.18
		510	2764.83	-2	-2	-0.07	-0.07	2764.76	2764.76
		520	2764.41	-2	-2	-0.07	-0.07	2764.34	2764.34
		530	2763.99	-2	-2	-0.07	-0.07	2763.92	2763.92
		540	2763.57	-2	-2	-0.07	-0.07	2763.50	2763.50
		550	2763.15	-2	-2	-0.07	-0.07	2763.08	2763.08
		560	2762.73	-2	-2	-0.07	-0.07	2762.66	2762.66
		570	2762.31	-2	-2	-0.07	-0.07	2762.24	2762.24
		580	2761.89	-2	-2	-0.07	-0.07	2761.82	2761.82
		590	2761.47	-2	-2	-0.07	-0.07	2761.40	2761.40

Tabla 23. (Continuación)

CURVA		ABSCISAS	COTAS ROJAS	PERALTE		DESNIVELES		COTAS ROJAS SUBRASANTE	
HORIZONTAL	VERTICAL	PROYECTO Km	EJE SUBRASANTE (m)	e Izq (%)	e Der (%)	BORDE IZQUIERDO	BORDE DERECHO	BORDE IZQUIERDO	BORDE DERECHO
		600	2761.05	-2	-2	-0.07	-0.07	2760.98	2760.98
		610	2760.63	-2	-2	-0.07	-0.07	2760.56	2760.56
		620	2760.21	-2	-2	-0.07	-0.07	2760.14	2760.14
		630	2759.79	-2	-2	-0.07	-0.07	2759.72	2759.72
		640	2759.37	-2	-2	-0.07	-0.07	2759.30	2759.30
		650	2758.95	-2	-2	-0.07	-0.07	2758.88	2758.88
	PCV3	660	2758.75	-2	-2	-0.07	-0.07	2758.68	2758.68
		665	2758.54	-2	-2	-0.07	-0.07	2758.47	2758.47
		670	2758.35	-2	-2	-0.07	-0.07	2758.27	2758.27
		675	2758.16	-2	-2	-0.07	-0.07	2758.08	2758.08
		680	2757.97	-2	-2	-0.07	-0.07	2757.90	2757.90
		685	2757.80	-2	-2	-0.07	-0.07	2757.73	2757.73
		690	2757.63	-2	-2	-0.07	-0.07	2757.56	2757.56
		695	2757.48	-2	-2	-0.07	-0.07	2757.40	2757.40
		700	2757.33	-2	-2	-0.07	-0.07	2757.25	2757.25
		705	2757.18	-2	-2	-0.07	-0.07	2757.11	2757.11
	PIV3	710	2757.05	-2	-2	-0.07	-0.07	2756.98	2756.98
		715	2756.92	-2	-2	-0.07	-0.07	2756.85	2756.85
		720	2756.81	-2	-2	-0.07	-0.07	2756.73	2756.73
		725	2756.70	-2	-2	-0.07	-0.07	2756.62	2756.62
		730	2756.59	-2	-2	-0.07	-0.07	2756.52	2756.52
		735	2756.50	-2	-2	-0.07	-0.07	2756.43	2756.43
		740	2756.41	-2	-2	-0.07	-0.07	2756.34	2756.34
		745	2756.34	-2	-2	-0.07	-0.07	2756.26	2756.26
		750	2756.27	-2	-2	-0.07	-0.07	2756.19	2756.19
		755	2756.20	-2	-2	-0.07	-0.07	2756.13	2756.13
	PTV3	760	2756.15	-2	-2	-0.07	-0.07	2756.08	2756.08
		770	2756.05	-2	-2	-0.07	-0.07	2755.98	2755.98
		780	2755.95	-2	-2	-0.07	-0.07	2755.88	2755.88
		790	2755.85	-2	-2	-0.07	-0.07	2755.78	2755.78
		800	2755.75	-2	-2	-0.07	-0.07	2755.68	2755.68
		810	2755.65	-2	-2	-0.07	-0.07	2755.58	2755.58
		820	2755.55	-2	-2	-0.07	-0.07	2755.48	2755.48
		830	2755.45	-2	-2	-0.07	-0.07	2755.38	2755.38
		840	2755.35	-2	-2	-0.07	-0.07	2755.28	2755.28
		850	2755.25	-2	-2	-0.07	-0.07	2755.18	2755.18
		860	2755.15	-2	-2	-0.07	-0.07	2755.08	2755.08
		870	2755.05	-2	-2	-0.07	-0.07	2754.98	2754.98
		880	2754.95	-2	-2	-0.07	-0.07	2754.88	2754.88
		890	2754.85	-2	-2	-0.07	-0.07	2754.78	2754.78
		900	2754.75	-2	-2	-0.07	-0.07	2754.68	2754.68

Tabla 24. Cartera topográfica del alineamiento horizontal

Tipo de Punto	Abscisa	Coordenadas		Localización	
		N	E	α positivo	Distancia
	0				
	10				
	20				
	30				
	40				
	50				
	60				
	70				
	80				
PC	86	583872.301	936103.357	0°0'0.0"	0.000
	90	583874.232	936107.199	63°18'50.3"	4.300
	100	583878.643	936116.174	63°40'19.5"	14.300
	110	583882.942	936125.202	64°1'48.6"	24.299
PT	117	583885.932	936131.660	64°17'6.0"	31.414
	120				
	130				
	140				
	150				
	160				
	170				
	180				
	190				
	200				
	210				
	220				
	230				
	240				
	250				
	260				
	270				
	280				
	290				
	300				

Tabla 24. (Continuación)

Tipo de Punto	Abscisa	Coordenadas		Localización	
		N	E	α positivo	Distancia
Punto Inicial	304.367	583958.089	936287.514	244°54'0.0"	0.157
PC	304.524	583958.156	936287.656	0°0'0.0"	0.000
	310	583960.437	936292.634	65°22'31.3"	5.476
	320	583964.390	936301.820	66°14'36.5"	15.474
	330	583968.062	936311.120	67°6'41.7"	25.469
	340	583971.450	936320.528	67°58'47.0"	35.459
	350	583974.552	936330.035	68°50'52.2"	45.440
	360	583977.365	936339.631	69°42'57.4"	55.410
	370	583979.886	936349.307	70°35'2.6"	65.368
	380	583982.112	936359.056	71°27'7.9"	75.311
	390	583984.042	936368.868	72°19'13.1"	85.237
	400	583985.673	936378.733	73°11'18.3"	95.143
	410	583987.006	936388.644	74°3'23.5"	105.027
	420	583988.037	936398.590	74°55'28.8"	114.887
	430	583988.766	936408.563	75°47'34.0"	124.721
PT	437.187	583989.103	936415.742	76°24'60.0"	131.771
Punto Final	437.371	583989.110	936415.926	76°25'57.6"	131.952
	440				
	460				
	480				
	500				
	520				
	540				
	560				
	580				
	600				
	620				
	640				
	660				
	680				
	700				
	720				
	740				
	760				
	780				
	800				
	820				
	840				
	860				
	880				
	896.35				

4.4 DISEÑO EN PERFIL DEL EJE DE LA VIA

El diseño en perfil se basa principalmente en el criterio de obtener una superficie lo más uniforme posible al menor costo. Por lo tanto, se trata de reducir al máximo los costos de los rellenos y cortes de tierra.

Otra consideración a tener en cuenta es la de la relación entre las rasantes de las vías existentes e intersecciones, debido a que debe coincidir su nivel en los casos específicos.

4.4.1 Tangente vertical:

– **Pendiente mínima.** 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.

4.4.2 Curvas verticales:

- Longitud mínima=36m
- $k_{min}=11$ convexa, 18 cóncava
- Donde K = relación L/A

Para el presente diseño se ha tomado como mínima longitud de curvas verticales 50m y procurando que si llegan a coincidir las abscisas de las curvas verticales y horizontales las primeras deberán desarrollarse en su totalidad dentro de las segundas.

❖ **Determinación de la longitud mínima de la curva vertical (Convexa)**

• **Longitud mínima de la curva vertical convexa según el criterio de seguridad.** De acuerdo con el criterio de seguridad, la longitud mínima es:

$$L_{min} = \frac{A \times (D_p)^2}{658}$$

Dónde: L_{min} : Longitud mínima de la curva, en metros.
 A : Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje (%).
 DP : Distancia de visibilidad de parada, asociada a la Velocidad Específica de la curva vertical (VCV), en metros.

El control de la distancia de visibilidad de parada (DP) también se puede hacer mediante la ecuación:

$$L_{\min} = K_{\min} \times A ; A \text{ en porcentaje (\%)} \text{ y } L_{\min} \text{ en metros}$$

Y con los valores de k_{\min} para curvas convexas se presentan en la Tabla 25, del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS para diferentes Velocidades Específicas de las curvas verticales (VCV) de acuerdo con la expresión anterior. Por lo tanto, la longitud mínima de la curva es:

$$\text{CV1 } L_{\min} = 11 \times 3.5 = 38.5\text{m}$$

$$\text{CV2 } L_{\min} = 11 \times 1.3 = 14.3\text{m (36m mínimo según tabla 25)}$$

$$\text{CV3 } L_{\min} = 11 \times 3.2 = 35.2\text{m (36m mínimo según tabla 25)}$$

• **Longitud mínima de la curva vertical convexa según el criterio de operación.** Con el propósito de que el perfil de la vía en la curva vertical tenga una adecuada estética y apariencia, se calcula la longitud mínima con la siguiente expresión:

$$L_{\min} = 0.6 \times V_{\text{CV}}$$

$$\text{CV1, CV2 y CV3 } L_{\min} = 0.6 \times 60 = 36\text{m}$$

Dónde: L_{\min} : Longitud mínima según criterio de operación, en metros.
VCV: Velocidad Específica de la curva vertical, en km/h

• **Longitud máxima de la curva vertical convexa según el criterio de drenaje.** No se considera, teniendo en cuenta que S1 y S2 para las curvas verticales del proyecto son de igual signo, por tanto no hay chequeo por drenaje.

El perfil del diseño permite curvas verticales con longitudes mayores a la mínima, optando por longitudes de 100 m, con el propósito de mejorar la estética de la vía, y por consiguiente cómoda para los usuarios. Ver tabla 25.

Tabla 25. Cartera topográfica del alineamiento vertical

CURVA No.	L	ABSCISAS PROYECTO Km	PENDIENTE m (%)	COTAS ROJAS EN TANG (m)	FORRECCION OR PENDIENT (Y)	COTAS ROJAS SUBRASANTE (m)	COTA NEGRA (m)	CORTE (-) (m)	RELLENO (+) (m)	
PCV1		0	-6.40%	2784.00		2784.00	2784.00			
		10		2783.36		2783.36	2782.79	-0.57		
		20		2782.72		2782.72	2782.04	-0.68		
		30		2782.08		2782.08	2781.49	-0.59		
	50	40.000		2781.44	0.00	2781.44	2780.96	-0.48		
		45		2781.12	0.00	2781.12	2780.76	-0.36		
		50		2780.80	0.02	2780.82	2780.56	-0.26		
		55		2780.48	0.04	2780.52	2780.36	-0.16		
		60		2780.16	0.07	2780.23	2780.15	-0.08		
		65		2779.84	0.11	2779.95	2779.61	-0.34		
		70		2779.52	0.16	2779.68	2779.06	-0.62		
		75		2779.20	0.21	2779.41	2778.85	-0.57		
		80		2778.88	0.28	2779.16	2778.63	-0.53		
85		2778.56	0.35	2778.91	2778.44	-0.48				
PIV1	90.000	2778.24	0.44	2778.68	2778.24	-0.44				
	50	95	2778.10	0.35	2778.45	2778.08	-0.37			
		100	2777.95	0.28	2778.23	2777.91	-0.32			
		105	2777.81	0.21	2778.02	2777.79	-0.23			
		110	2777.66	0.16	2777.82	2777.66	-0.16			
		115	2777.52	0.11	2777.62	2777.53	-0.09			
		120	2777.37	0.07	2777.44	2777.40	-0.04			
		125	2777.23	0.04	2777.26	2777.28		0.01		
		130	2777.08	0.02	2777.10	2777.15		0.05		
		135	2776.94	0.00	2776.94	2777.04		0.10		
		140.000	2776.79	0.00	2776.79	2776.93		0.14		
	PTV1	50	150		2776.50		2776.50	2776.75		0.25
			160		2776.21		2776.21	2776.57		0.36
170				2775.92		2775.92	2776.38		0.46	
180				2775.63		2775.63	2776.20		0.57	
190				2775.34		2775.34	2776.02		0.68	
200				2775.05		2775.05	2775.69		0.64	
210				2774.76		2774.76	2775.33		0.57	
220				2774.47		2774.47	2774.99		0.52	
230				2774.18		2774.18	2774.75		0.57	
240				2773.89		2773.89	2774.52		0.63	
250				2773.60		2773.60	2774.28		0.68	
260				2773.31		2773.31	2774.05		0.74	
270				2773.02		2773.02	2773.72		0.70	
280				2772.73		2772.73	2773.38		0.65	
290				2772.44		2772.44	2773.03		0.59	
300				2772.15		2772.15	2772.63		0.48	
-2.90%			310		2771.86		2771.86	2772.22		0.36
	320		2771.57		2771.57	2771.79		0.22		
	330		2771.28		2771.28	2771.35		0.07		
	340		2770.99		2770.99	2770.50	-0.49			
	350		2770.70		2770.70	2770.92		0.22		

Tabla 25. (Continuación)

CURVA No.	L	ABSCISAS PROYECTO Km	PENDIENTE m (%)	COTAS ROJAS EN TANG (m)	CORRECCIÓN POR PENDIENTE (Y)	COTAS ROJAS SUBRASANTE (m)	COTA NEGRA (m)	CORTE (-) (m)	RELLENO (+) (m)
PCV2	50	360.000	-2.90%	2770.48	0.00	2770.48	2770.09	-0.39	
		365		2770.34	0.00	2770.33	2769.97	-0.37	
		370		2770.19	-0.01	2770.18	2769.84	-0.34	
		375		2770.05	-0.01	2770.03	2769.74	-0.29	
		380		2769.90	-0.03	2769.87	2769.64	-0.23	
		385		2769.76	-0.04	2769.71	2769.54	-0.17	
		390		2769.61	-0.06	2769.55	2769.44	-0.11	
		395		2769.47	-0.08	2769.39	2769.34	-0.05	
		400		2769.32	-0.10	2769.22	2769.23		0.01
		405		2769.18	-0.13	2769.04	2769.13		0.09
PIV2	50	410.000		2769.03	-0.16	2768.87	2769.03		0.16
		415		2768.82	-0.13	2768.69	2769.09		0.40
		420		2768.61	-0.10	2768.51	2769.15		0.64
		425		2768.40	-0.08	2768.32	2769.24		0.91
		430		2768.19	-0.06	2768.13	2769.32		1.19
		435		2767.98	-0.04	2767.94	2769.41		1.47
		440		2767.77	-0.03	2767.74	2769.49		1.75
		445		2767.56	-0.01	2767.55	2769.58		2.03
		450		2767.35	-0.01	2767.34	2769.66		2.32
		455		2767.14	0.00	2767.14	2769.75		2.61
PTV2	50	460.000		2766.93	0.00	2766.93	2769.83		2.90
		470		2766.51		2766.51	2770.00		3.49
		480		2766.09		2766.09	2770.93		4.84
		490		2765.67		2765.67	2774.84		9.17
		500		2765.25		2765.25	2775.00		9.75
		510		2764.83	-4.20%	2764.83	2770.92		6.09
		520		2764.41		2764.41	2766.72		2.31
		530		2763.99		2763.99	2765.90		1.91
		540		2763.57		2763.57	2765.71		2.14
		550		2763.15		2763.15	2765.52		2.37
		560		2762.73		2762.73	2765.34		2.61
		570		2762.31		2762.31	2765.15		2.84
		580		2761.89		2761.89	2764.73		2.84
		590		2761.47		2761.47	2762.85		1.38
		600		2761.05		2761.05	2761.45		0.40
		610		2760.63		2760.63	2760.46		-0.17
		620		2760.21		2760.21	2759.92		-0.29
		630		2759.79		2759.79	2759.58		-0.21
		640		2759.37		2759.37	2759.25		-0.12
		650		2758.95		2758.95	2758.77		-0.18

Tabla 25. (Continuación)

CURVA No.	L	ABSCISAS PROYECTO Km	PENDIENTE m (%)	COTAS ROJAS EN	FORRECCION	COTAS ROJAS	COTA	CORTE	RELLENO
				TANG (m)	DR PENDIENT (Y)	SUBRASANTE (m)	NEGRA (m)	(-) (m)	(+) (m)
PCV3	50	660.000	-4.20%	2758.75	0.00	2758.75	2757.39	-1.36	
		665		2758.54	0.00	2758.54	2757.52	-1.02	
		670		2758.33	0.02	2758.35	2757.65	-0.70	
		675		2758.12	0.04	2758.16	2757.32	-0.84	
		680		2757.91	0.06	2757.97	2756.98	-0.99	
		685		2757.70	0.10	2757.80	2756.91	-0.89	
		690		2757.49	0.14	2757.63	2756.84	-0.79	
		695		2757.28	0.20	2757.48	2756.77	-0.71	
		700		2757.07	0.26	2757.33	2756.70	-0.63	
		705		2756.86	0.32	2757.18	2756.63	-0.55	
PIV3	50	710.000		2756.65	0.40	2757.05	2756.56	-0.49	
		715		2756.60	0.32	2756.92	2756.50	-0.43	
		720		2756.55	0.26	2756.81	2756.43	-0.38	
		725		2756.50	0.20	2756.70	2756.36	-0.34	
		730		2756.45	0.14	2756.59	2756.29	-0.30	
		735		2756.40	0.10	2756.50	2756.22	-0.28	
		740		2756.35	0.06	2756.41	2756.15	-0.26	
		745		2756.30	0.04	2756.34	2756.08	-0.26	
		750		2756.25	0.02	2756.27	2756.01	-0.26	
		755		2756.20	0.00	2756.20	2755.90	-0.31	
PTV3	50	760.000	-1.00%	2756.15	0.00	2756.15	2755.78	-0.37	
		770		2756.05		2756.05	2755.54	-0.51	
		780		2755.95		2755.95	2755.30	-0.65	
		790		2755.85		2755.85	2755.06	-0.79	
		800		2755.75		2755.75	2754.58	-1.17	
		810		2755.65		2755.65	2754.03	-1.62	
		820		2755.55		2755.55	2755.54	-0.01	
		830		2755.45		2755.45	2754.86	-0.59	
		840		2755.35		2755.35	2754.56	-0.79	
		850		2755.25		2755.25	2754.25	-1.00	
		860		2755.15		2755.15	2753.77	-1.38	
		870		2755.05		2755.05	2752.80	-2.25	
		880		2754.95		2754.95	2752.33	-2.62	
		890		2754.85		2754.85	2752.67	-2.18	
		900		2754.75		2754.75	2754.65	-0.10	

- Curva vertical 1

INFORMACION DE LA CURVA

Abscisa (m) :	K0+090.00	PIV
Cota (m) :	2778.240	
Pendiente de Entrada (%) :	-6.4	
Longitud de Entrada (m) :	50.000	
Pendiente de Salida (%) :	-2.9	
Longitud de Salida (m) :	50.000	
Incremento en Abscisado (m) :	5	

ELEMENTOS DE LA CURVA

Longitud Total (m) :	100.000
Externa (m) :	0.438
K Entrada :	28.571
K Salida :	28.571

	Abscisa (m)	Cota (m)
PCV :	40.00	2781.440
PIV :	90.00	2778.240
PTV :	140.00	2776.790
Cota Mínima :	140.00	2776.790
Cota Máxima :	40.00	2781.440

- Curva vertical 2

INFORMACION DE LA CURVA

Abscisa (m) :	K0+410.00	PIV
Cota (m) :	2769.030	
Pendiente de Entrada (%) :	-2.9	
Longitud de Entrada (m) :	50.000	
Pendiente de Salida (%) :	-4.2	
Longitud de Salida (m) :	50.000	
Incremento en Abscisado (m) :	5	

ELEMENTOS DE LA CURVA

Longitud Total (m) :	100.000
Externa (m) :	-0.163
K Entrada :	76.923
K Salida :	76.923

	Abscisa (m)	Cota (m)
PCV :	360.00	2770.480
PIV :	410.00	2769.030
PTV :	460.00	2766.930
Cota Mínima :	460.00	2766.930
Cota Máxima :	360.00	2770.480

- **Curva vertical 3**

INFORMACION DE LA CURVA

Abscisa (m) :	K0+710.00	PIV
Cota (m) :	2756.650	
Pendiente de Entrada (%) :	-4.2	
Longitud de Entrada (m) :	50.000	
Pendiente de Salida (%) :	-1	
Longitud de Salida (m) :	50.000	
Incremento en Abscisado (m) :	5	

ELEMENTOS DE LA CURVA

Longitud Total (m) :	100.000
Externa (m) :	0.400
K Entrada :	31.250
K Salida :	31.250

	Abscisa (m)	Cota (m)
PCV :	660.00	2758.750
PIV :	710.00	2756.650
PTV :	760.00	2756.150
Cota Mínima :	760.00	2756.150
Cota Máxima :	660.00	2758.750

El cálculo de las curvas verticales se realizó teniendo en cuenta los criterios de seguridad, operación y drenaje

4.5 DISEÑO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

Con el fin de facilitar el drenaje, la inclinación transversal mínima para capa de rodadura pavimentada es del 2%, la cual va a ser utilizada en este proyecto.

4.5.1 Ancho de zona o derecho de vía. La faja de terreno a los costados de la calzada en una franja promedio de 4.00 m, está destinada a la construcción, mantenimiento, futuras ampliaciones, de acuerdo a la demanda de tránsito, servicios de seguridad, servicios auxiliares y desarrollo paisajístico.

El ancho de zona debe estar en el rango presentado en la Tabla 5.1 del manual de diseño geométrico del INVIAS 2008, que según las características de tránsito identificamos como una vía de orden secundario que para el tipo de terreno según la pendiente es ondulado y por la velocidad de diseño de 60km/hr, corresponde un ancho de calzada de 7.30m con andenes para un total de 11.3 de derecho de vía. Según Ordenamiento territorial del municipio de Ipiales, se ha estimado que el derecho de vía en el sector es del propuesto en este diseño.

4.5.2 Ancho de calzada. De acuerdo a la categoría de la vía urbana, que se toma como secundaria de tipo rural se estima el ancho en función de la misma, de tal manera que se diseñara con una calzada de 7.30m en dos sentidos de flujo vehicular en los tramos I y II.

4.5.3 Andenes y senderos peatonales. Son de importancia en la zona urbana, dado su alto número de peatones provenientes de los barrios aledaños que se dirigen al centro de la ciudad. El ancho requerido por una persona es de setenta y cinco centímetros (0.75 m) y para garantizar el cruce de las personas su ancho total debe ser mínimo de un metro con cincuenta centímetros (1.50 m), sin embargo, teniendo en cuenta lo estipulado en el POT se ha definido andenes de 2.0 m como mínimo. La elevación respecto de la corona adyacente debe estar entre diez y veinticinco centímetros (0.10 – 0.25 m).

4.5.4 Separadores de calzada. Se consideró en la alternativa I, con un ancho de 1,30m.

Nota: La línea paramental y/o zonas de retiro las dictamina Planeación Municipal, por medio de Urbanismo. Ver tabla 26.

Tabla 26. Cartera de movimiento de tierra

ABSCISAS Km	AREAS (M2)		DISTANCIA (M)	VOLUMENES (M3)	
	CORTE (-)	RELLENO (+)		CORTE (-)	RELLENO (+)
0+000.00	0	0			
			20	6.9	41.4
0+020.00	0.69	4.14			
			20	32	49.9
0+040.00	2.51	0.85			
			20	71.5	11.9
0+060.00	4.64	0.34			
			20	85.4	18.7
0+080.00	3.9	1.53			
			20	77.3	29.4
0+100.00	3.83	1.41			
			20	77.1	26.4
0+120.00	3.88	1.23			
			20	70.8	31.9
0+140.00	3.2	1.96			
			20	102.3	21.9
0+160.00	7.03	0.23			
			20	154.5	5.4
0+180.00	8.42	0.31			
			20	194.1	3.1
0+200.00	10.99	0			
			20	185.2	0
0+220.00	7.53	0			
			20	151.9	3.7
0+240.00	7.66	0.37			
			20	187.9	3.7
0+260.00	11.13	0			
			20	186.9	0
0+280.00	7.56	0			
			20	144.3	0
0+300.00	6.87	0			
			20	131	0
0+320.00	6.23	0			
			20	124.9	0
0+340.00	6.26	0			
			20	62.6	43.2
0+360.00	0	4.32			
			20	0	78.2
0+380.00	0	3.5			
			20	62.6	37.4
0+400.00	6.26	0.24			
			20	135.8	2.4
0+420.00	7.32	0			
			10	119	0
0+430.00	16.48	0			
			10	225.9	0
0+440.00	28.7	0			
			10	333.75	0
0+450.00	38.05	0			
			10	473.15	0
0+460.00	56.58	0			
			10	611.5	0
0+470.00	65.72	0			
			10	748.25	0
0+480.00	83.93	0			
			10	1084.9	0
0+490.00	133.05	0			
			10	1442.3	0

Tabla 26. (Continuación)

ABSCISAS Km	AREAS (M2)		DISTANCIA (M)	VOLUMENES (M3)	
	CORTE (-)	RELLENO (+)		CORTE (-)	RELLENO (+)
0+500.00	155.41	0			
			10	1235.7	0
0+510.00	91.73	0			
			10	583.35	30.9
0+520.00	24.94	6.18			
			10	237.1	47.9
0+530.00	22.48	3.4			
			10	241.6	36
0+540.00	25.84	3.8			
			10	255.15	39.75
0+550.00	25.19	4.15			
			10	261.65	34.8
0+560.00	27.14	2.81			
			10	272.8	25.8
0+570.00	27.42	2.35			
			10	234.5	24.2
0+580.00	19.48	2.49			
			10	124.15	23.85
0+590.00	5.35	2.28			
			10	37.75	30.35
0+600.00	2.2	3.79			
			10	20.45	43.55
0+610.00	1.89	4.92			
			10	17.95	96.2
0+620.00	1.7	14.32			
			10	17.6	134.15
0+630.00	1.82	12.51			
			10	17.05	75.15
0+640.00	1.59	2.52			
			10	14.2	51.75
0+650.00	1.25	7.83			
			10	14.9	53.6
0+660.00	1.73	2.89			
			10	13.55	43.45
0+670.00	0.98	5.8			
			10	17.4	46.1
0+680.00	2.5	3.42			
			10	31.95	17.1
0+690.00	3.89	0			
			10	52.2	12.2
0+700.00	6.55	2.44			
			10	71.65	29.7
0+710.00	7.78	3.5			
			10	78.4	38.5
0+720.00	7.9	4.2			
			10	73.25	37.25
0+730.00	6.75	3.25			
			10	68	51.75
0+740.00	6.85	7.1			
			10	60.5	58.8
0+750.00	5.25	4.66			
			10	61.45	34.45
0+760.00	7.04	2.23			

Tabla 26. (Continuación)

ABSCISAS Km	AREAS (M2)		DISTANCIA (M)	VOLUMENES (M3)	
	CORTE (-)	RELLENO (+)		CORTE (-)	RELLENO (+)
0+770.00	6.85	3.2			
			10	48.7	31.65
0+780.00	2.89	3.13			
			10	32.6	42.85
0+790.00	3.63	5.44			
			10	26.5	81.45
0+800.00	1.67	10.85			
			10	8.35	127.3
0+810.00	0	14.61			
			10	8.25	97.55
0+820.00	1.65	4.9			
			10	8.25	51.75
0+830.00	0	5.45			
			10	0	68.4
0+840.00	0	8.23			
			10	0	85.6
0+850.00	0	8.89			
			10	0	123.3
0+860.00	0	15.77			
			10	0	216.4
0+870.00	0	27.51			
			10	0	265.5
0+880.00	0	25.59			
			10	0	243.7
0+890.00	0	23.15			
			10	0	218.95
0+900.00	0	20.64			
TOTAL VOLUMEN				11600.1	3207.4

4.5.5 Distancia de visibilidad bajo estructuras. Como se mencionó en el numeral 4.5.4 de este trabajo, en el cruce con la calle 17, por su topografía, y analizando la prioridad del flujo en la calle, se ha proyectado un paso a desnivel (puente) cuyo diseño no es objeto de este trabajo práctico, sin embargo, se tiene en cuenta para el diseño geométrico de la vía en estudio.

En atención a lo citado, se define que la solución de una intersección vial depende de una serie de factores asociados fundamentalmente a la topografía del sitio, a las características geométricas de las vías que se cruzan y a las condiciones de su flujo vehicular.

Con la finalidad de obtener el diseño más conveniente, se presentan los siguientes criterios generales, destacando que se debe optar por la solución más sencilla y comprensible para los usuarios.

Con respecto a la priorización de movimientos y volumen de flujo vehicular, se da prioridad a el flujo de la calle 17, donde se prevé construir un puente, los demás movimientos se limitarán con señales de tránsito adecuadas.

Esta alternativa (preliminar) permite ofrecer a los conductores sencillez y claridad a la hora de transitar por las vías, con un adecuada separación de movimientos y señalización de carriles, de tal manera que se minimicen accidentes y conflictos en general.

5. DISEÑO PAVIMENTO RIGIDO

5.1 PARÁMETROS DE DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO.

5.1.1 Resistencia de la subrasante

Tabla 27. CBRs de diseño obtenidos por la correlación con el ensayo PDC

ABSCISA	PROFUNDIDAD (cm)	CBR %
K0+080	De 0 a 113	4.86
	De 113 a 117	12.31
	De 117 a 126	12.31
K0+250	De 0 a 52	3.65
	De 52 a 71	2.26
	De 71 a 126	6.0
K0+680	De 0 a 38	9.74
	De 38 a 70	20.9
	De 70 a 126	27.77
K0+850	De 0 a 63	9.94
	De 63 a 106	26.55
	De 106 a 123	93.28

Nota: Se tomaron los CBRs de diseño más críticos de los Ensayos de Penetración Dinámica de Cono (PDC), anotando que se tomaron de los estratos de apoyo de la subrasante proyectada

Para determinar el valor de diseño de la subrasante utilizamos el que corresponde a un valor de 6% el cual es crítico aun comparado con los resultados de los ensayos efectuados a las muestras tomadas. De acuerdo a lo anterior se realizará el diseño de pavimento.

5.1.2 Periodo de diseño (T). Esta estructura se diseña para periodo de 20 años. Este parámetro se considera en la estimación de la variable tránsito.

5.1.3 Resistencia de la capa de apoyo de la losa de concreto (K). Teniendo en cuenta los resultados de ensayo de laboratorio realizado en el mes de febrero de

2010. Donde se determinaron CBR que oscilan entre valores mínimo de 2.26% y máximo de 93.28% (valor descartado por presentar inconsistencias en los resultados de acuerdo al tipo de suelo) para profundidades de 1.26m y considerando que se realizará intervenciones atendiendo las recomendaciones de conformar un reemplazo de material de afirmado limpio y bien gradado entre las abscisas K0+500 y K0+890.

Por tanto, se considera que la base de apoyo cumple con las condiciones de soporte que se requerían alcanzar con los ensayos, recomendaciones e intervenciones mencionadas.

Realizando un análisis de la capacidad portante del suelo arrojado por los resultados de laboratorio, se podría decir que la calidad de la subrasante es aceptable

Para el cálculo de la variable K de la capa de apoyo, se analizan correlaciones experimentales, en la cuales se tiene: Ver tabla 28.

$$K=2,55+52,5*\log(\text{CBR}) \text{ (MPa/m)}$$

Tabla 28. Valores representativos de calidad de subrasante

Categoría Subrasante	Clasificación U.S.C.S.	de suelos AASHTO	Caract. del suelo CBR%	Caract. del suelo K (Kg/cm3)
a) Muy Buena	GW, GP	A1-a, A1-b	> 25	> 8
	GM, GC			
b) Buena	SC - SM	A2-6, A2-7	6 a 25	4 a 8
c) Deficiente	ML, CL, MH	A-5, A-6	2 a 6	2 a 4
	CH, OH, OL	A7-5, A7-6		

Tipo de suelo	CBR%	k(kg/cm3)	k(Mpa/m)
SM	6 a 25	4-8	40-80

De tal manera que para efectos de diseño, se tomará el mínimo de CBR=6% que correlacionado se obtiene un soporte subrasante K=4.0 kg/cm3 ó K=40 Mpa/m.

5.1.4 Transferencia de carga y soporte lateral. Con el fin de realizar los análisis de fatiga y erosión se contempla dentro de los análisis la protección lateral de las losa de concreto y transmisión de cargas en las juntas.

5.1.5 Propiedades del concreto:

Módulo de Ruptura:	4.1Mpa
Módulo de Elasticidad:	4,000,000 psi
Módulo de Poisson:	0.15

5.2 METODO DE LA ASOCIACION DEL CEMENTO PORTLAND PCA

El método de diseño de la PCA considera dos criterios de evaluación en el procedimiento de diseño, el criterio de erosión de la sub-base por debajo de las losas y la fatiga del pavimento de concreto.

El criterio de erosión reconoce que el pavimento puede fallar por un excesivo bombeo, erosión del terreno de soporte y diferencias de elevaciones en las juntas. El criterio del esfuerzo de fatiga reconoce que el pavimento pueda fallar, presentando agrietamiento derivado de excesivas repeticiones de carga.

Este método considera algunas limitaciones en los valores de módulo de reacción K del suelo, en donde el rango de valores para los que el método fue desarrollado oscila entre los 50 y 700 psi.

5.2.1 Análisis de sensibilidad. Utilizando el programa llamado BSPCA Versión 1.2 2003 de la Universidad del Cauca, el cual requiere la introducción de los diferentes parámetros y efectuando los análisis de fatiga y erosión permite obtener el dimensionamiento de la estructura de pavimento. Una vez realizado el dimensionamiento permite realizar un análisis de sensibilidad para evaluar la incidencia de la variación de los respectivos parámetros en el análisis de los dos criterios de diseño fatiga y erosión es contemplado por el método como se indica a continuación: Ver figura 19.

Figura 19. Datos de ingreso de programa

TRANSITO EJES SIMPLES			
Esfuerzo Equivalente :		1.57	
Factor de Esfuerzo :		0.3829	Factor de Erosión : 2.5
#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas	
1	3.5	476779	
2	5.25	657671	
3	6.5	476779	
4	7.02	126624	
5	7.2	109827	
6	7.28	59436	
7	8.75	657671	
8			

TRANSITO EJES TANDEM			
Esfuerzo Equivalente :		1.32	
Factor de Esfuerzo :		0.322	Factor de Erosión : 2.54
#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas	
1	19.98	126624	
2	20.4	109827	
3	20.8	109827	
4			

TRANSITO EJES TRIDEM			
Esfuerzo Equivalente :		1.05	
Factor de Esfuerzo :		0.2561	Factor de Erosión : 2.58
#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas	
1	23.92	59436	
2			

• **Datos de entrada**

**** **EJES SIMPLES** **** **** **EJES TANDEM** **** **** **EJES TRIDEM** ****

Carga Repeticiones Carga Repeticiones Carga Repeticiones
(Tn) Esperadas (Tn) Esperadas (Tn) Esperadas

3.50 476,779 19.98 126,624 23.92 59,436
 5.25 657,671 20.40 109,827
 6.50 476,779 20.80 109,827
 7.02 126,624
 7.20 109,827
 7.28 59,436

8.75 657,671

Nota: Separación de miles: (,)
 Separación decimal: (.)

- **Análisis de sensibilidad**

K_Subrasante (Mpa/m)	Espesor (mm)	M.Rotura (Mpa)	Factor May Repetición	Consumo Fatiga	Consumo Erosión
40.0	170.00	4.1	1.0	343.64	66.03
40.0	180.00	4.1	1.0	60.23	38.02
40.0	190.00	4.1	1.0	2.59	21.83
40.0	200.00	4.1	1.0	0.00	12.99
40.0	210.00	4.1	1.0	0.00	7.61
40.0	220.00	4.1	1.0	0.00	4.16
45.0	170.00	4.0	1.0	364.59	56.48
45.0	170.00	4.1	1.0	224.65	56.48
45.0	180.00	4.1	1.0	30.17	31.63
45.0	190.00	4.1	1.0	0.00	17.61
45.0	200.00	4.1	1.0	0.00	10.23
45.0	210.00	4.1	1.0	0.00	5.75
45.0	220.00	4.1	1.0	0.00	2.96

Comparando los diferentes resultados del análisis de sensibilidad se observa que cumple para los valores sombreados ya que los consumos de fatiga y erosión están por debajo del 100%.

A continuación se indica el análisis detallado para una resistencia de apoyo de 40Mpa/m

Datos:

Resistencia K del Apoyo: 40 Mpa/m
Espesor Losa: 180 mm
Módulo de Rotura: 4.1 Mpa
Bermas: SI
Pasadores: SI
Factor de Seguridad Cargas: 1.1
Factor de Mayoración Repeticiones: 1

Resultados:

• **Ejes simples**

Esfuerzo equivalente: 1.7 Factor esfuerzo: 0.4122 Factor erosión: 2.5200

3.50	37.73	476,779	Inf	0.00	Inf	0.00	
5.25	56.60	657,671	Inf	0.00	Inf	0.00	
6.50	70.07	476,779	Inf	0.00	Inf	0.00	
7.02	75.68	126,624	Inf	0.00	Inf	0.00	
7.20	77.62	109,827	Inf	0.00	Inf	0.00	
7.28	78.48	59,436	Inf	0.00	Inf	0.00	
8.75	94.33	657,671	1,413,327	46.53	15,749,584	4.18	

• **Ejes tandem**

Esfuerzo equivalente: 1.4 Factor esfuerzo: 0.3488 Factor erosión: 2.6000

19.98	215.38	126,624	5,452,499	2.32	1,243,814	10.18	
20.40	219.91	109,827	2,624,162	4.19	1,051,315	10.45	
20.80	224.22	109,827	1,526,701	7.19	902,897	12.16	

• **Ejes Tridem**

Esfuerzo equivalente: 1.1 Factor esfuerzo: 0.2732 Factor erosión: 2.6700

23.92	257.86	59,436	Inf	0.00	5,619,513	1.06	
-------	--------	--------	-----	------	-----------	------	--

Total : 60.23 38.02 < 100%

Nota: Separación de miles: (,)
Separación decimal: (.)

5.2.2 Especificaciones de los materiales. Adicional a la calidad del concreto de diseño, se tiene que los materiales de base para la losa de concreto deben acogerse a la normatividad existente, como es:

BG1 = Debe cumplir con la norma INV 330.
SBG1 = Debe cumplir con la norma INV 320.

5.3 METODO AASHTO

Con los datos de diseño obtenidos con el método de la PCA, se procede a chequear la estructura con el método AASHTO. Considerando que para una vialidad urbana de doble sentido y con 1 carril por sentido. Los datos y los principales parámetros de diseño que se detallan a continuación:

5.3.1 Serviciabilidad:

Serviciabilidad Inicial: = 4.5

Serviciabilidad Final = 1.8

5.3.2 Tráfico. Número acumulado de ejes equivalentes a 8.2 Ton en el carril de diseño durante el período de diseño, que para este caso es de 20 años. Es uno de los parámetros de diseño fundamentales, y aunque se pueden permitir ciertas imprecisiones en la determinación de esta variable, siempre será necesario conocerla para poder determinar los espesores de las capas que constituyen el pavimento.

– **Ejes equivalentes y espesor.** Es necesario transformar los ejes de pesos normales de los vehículos que circularán sobre el camino, en ejes sencillo equivalentes de 18 kips (8.2 ton) para poder resolver la ecuación de diseño.

De acuerdo al conteo no direccional realizado, el número de ejes equivalentes a 8.2 ton utilizado para este diseño de pavimentos es:

TPDs = 2266 vehículos

A:	1964	86.7%
B:	67	3.2%
C:	212.30	10.1%

Factor de sentido FD = 0.5

Factor Camión FC = 1.5 (Asumido para Colombia)

Período de diseño n = 20 años

Crecimiento Anual r = 2.0 %

No. Total de ejes equivalentes a 8,2 ton:

$$\Sigma = \frac{365 * 2266 * 0.5 * (0.032 + 0.101) * 1.5 * ((1 + 0.02)^{20} - 1)}{\ln(1 + 0.02)}$$

$\Sigma = 2.024.566 = 2.00 \times 10^6$ ejes equivalentes a 8.2 Ton

5.3.3 Transferencia de carga. Se emplean pasajuntas y se supone soporte lateral de las losas debido la construcción de sardineles a los costados de la vía. Por lo tanto el coeficiente de transferencia de carga es igual a 2.7.

5.3.4 Propiedades del concreto. Emplear un concreto con módulo de ruptura de 41 kg/cm² (586 psi)

5.3.5 Subrasante. Se determinó mediante correlación con CBR realizadas en la capa de soporte, que el módulo de reacción del suelo (k) igual a 4 kg/cm³ o 50 pci.

5.3.6 Condiciones de drenaje. Se suponen condiciones de drenaje con la construcción de filtros laterales en la vía, por lo que se emplea un coeficiente de drenaje igual a 1.3

5.3.7 Confiabilidad. Por tratarse de una vialidad urbana de cierta importancia se considera usar un valor de confiabilidad del 60%

Desviación estándar: 0,35

Con los datos y parámetros de diseño establecidos se encontró un total de

$$\Sigma = \frac{365 * 2266 * 0.5 * (0.032 + 0.101) * 1.5 * ((1 + 0.02)^{20} - 1)}{\ln(1 + 0.02)}$$

$$\Sigma = 2.024.566 = 2.00 \times 10^6 \text{ ejes equivalentes a 8.2 Ton}$$

El espesor encontrado es de 7,5" (aproximadamente 19 centímetros).

El cálculo del espesor de la losa de concreto se realizó con un software que resuelve la fórmula desarrollada por la AASHTO. Ver figura 20.

Figura 20. Programa AASHTO

★ Modified AASHTO Rigid Pavement Equation

Inputs

St. Normal Deviate (Zr)	1.645	Initial Serviceability (Po)	4.5	Modulus of Rupture of Concrete (Sc)	586	psi
Overall St. Deviation (So)	0.35	Terminal Serviceability (Pt)	1.8	Modulus of Subgrade Reaction (K)	50	pci
No. of Application (wt18)	2000000	Modulus of Elasticity of Concrete (Ec)	4000000	Load Transfer Coefficient (J)	3.2	
				Drainage Coefficient (Cd)	1.3	

Execute

Reset

Main Menu

Slab Thickness

D = 7.509601

El espesor resultante es de 19 cm, que en comparación con el obtenido por el método de la PCA de 18 cm, permite establecer que el espesor de diseño, se tomará como el mayor de estos dos puesto que por una diferencia de 1 cm el tiempo de vida útil aumenta considerablemente.

6. DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE

El diseño de la estructura de pavimento flexible se obtiene por el Método AASHTO de diseño con todas sus variables y se hace verificación por el método Racional, para cada una de sus unidades de diseño.

Unidad de Diseño Uno: ABSCISA K0+000.00 – K0+985.00

6.1 MÉTODO AASHTO DE DISEÑO

6.1.1 Variables de diseño:

6.1.2 Tránsito (n). Es el número acumulado de ejes equivalentes a 8.2 ton en el carril de diseño durante el período de diseño, que normalmente oscila de 10 a 20 años según la categoría de la vía. Es uno de los parámetros de diseño fundamentales, y aunque se pueden permitir ciertas imprecisiones en la determinación de esta variable, siempre será necesario conocerla para poder determinar los espesores de las capas que constituyen el pavimento.

De acuerdo con los conteos realizados en la zona del proyecto el número de ejes equivalentes a 8.2 Ton utilizado para este diseño de pavimentos es:

TPDs = 2266 vehículos

A:	1964	86.7%
B:	67	3.2%
C:	212.30	10.1%

Factor de sentido FD = 0.5

Factor Camión FC = 1.5 (Asumido para Colombia)

Período de diseño n = 20 años

Crecimiento Anual r = 2.0 %

No. Total de ejes equivalentes a 8,2 Ton:

$$\Sigma = \frac{365 * TPD * FD * \%(B + C) * FC * \left((1 + r)^n - 1 \right)}{\text{Ln}(1 + r)}$$

$$\Sigma = \frac{365 * 2266 * 0.5 * (0.032 + 0.101) * 1.5 * \left((1 + 0.02)^{20} - 1 \right)}{\text{Ln}(1 + 0.02)}$$

$$\Sigma = 2.024.566 = 2.00 \times 10^6 \text{ ejes equivalentes a 8.2 Ton}$$

6.1.3 Serviciabilidad ($\Delta\psi$, P_o , P_f). Es la acción combinada del tránsito y el clima. Califica el estado del pavimento en cualquier momento de su vida. La serviciabilidad depende de una serie de medidas de la rugosidad y el deterioro que presente el pavimento (parcheo, fisuras, deformaciones) en un tiempo dado durante la vida del pavimento.

P_o = Serviciabilidad Inicial: $\left\{ \begin{array}{l} 4.2 \text{ Pavimentos Flexibles} \\ 4.5 \text{ Pavimentos Rígidos} \end{array} \right\}$

P_f = Serviciabilidad Final: $\left\{ \begin{array}{l} 2.0 \text{ Carreteras} \\ 1.8 \text{ Urbano Principal} \end{array} \right\}$

$\Delta\psi$: Pérdida de Serviciabilidad $\Delta\psi = P_o - P_f$

Para el presente proyecto: $P_o = 4.2$ y $P_f = 2.0 \gg \Delta\psi = 2.2$

6.1.4 Confiabilidad. Es la probabilidad de que el sistema estructural que conforma el pavimento cumpla su función prevista, dentro de su vida útil bajo las condiciones que tienen lugar en ese lapso.

La confiabilidad para el comportamiento de la estructura se establece en el 90%, para el cual se determina el valor de la desviación estándar Z_r .

Para un $NC=90\%$ $Z_r = -1.282$

La confiabilidad por tránsito se establece de $NC = 50\%$, para el cual se determina S_o como error estándar.

Para $NC = 50\%$ $S_o = 0.49 \rightarrow$ Aplica para este proyecto
 $NC > 50\%$ $S_o = 0.44$

6.1.5 Resistencia de la subrasante. Como en el diseño de la estructura de pavimento rígido, para determinar el valor de diseño de la subrasante utilizamos el que corresponde a un valor de 6% el cual es crítico aun comparado con los resultados de los ensayos efectuados a las muestras tomadas. De acuerdo a lo anterior se realizará el diseño de pavimento.

El CBR de diseño se tomará con el percentil del 87.5% **CBR = 6%**

Para la subrasante, la correlación del Módulo Resiliente M_R con el CBR, está determinada así:

$$M_R = 1500 (\%CBR)_{(psi)} \qquad M_R = 100 (\%CBR)_{(KG/CM^2)}$$

Luego, para la subrasante de la vía objeto de este proyecto:

$$M_{R\ STE} = 1500 * 6 = 9000 \text{ psi}$$

6.1.6 Propiedades de los materiales de la estructura del pavimento. CAPA ASFÁLTICA: Se escoge el tipo de mezcla de acuerdo a las siguientes características:

Stiffness: S1 o S2 (S1 para carpeta asfáltica, mayor rigidez; S2 para bases asfálticas).

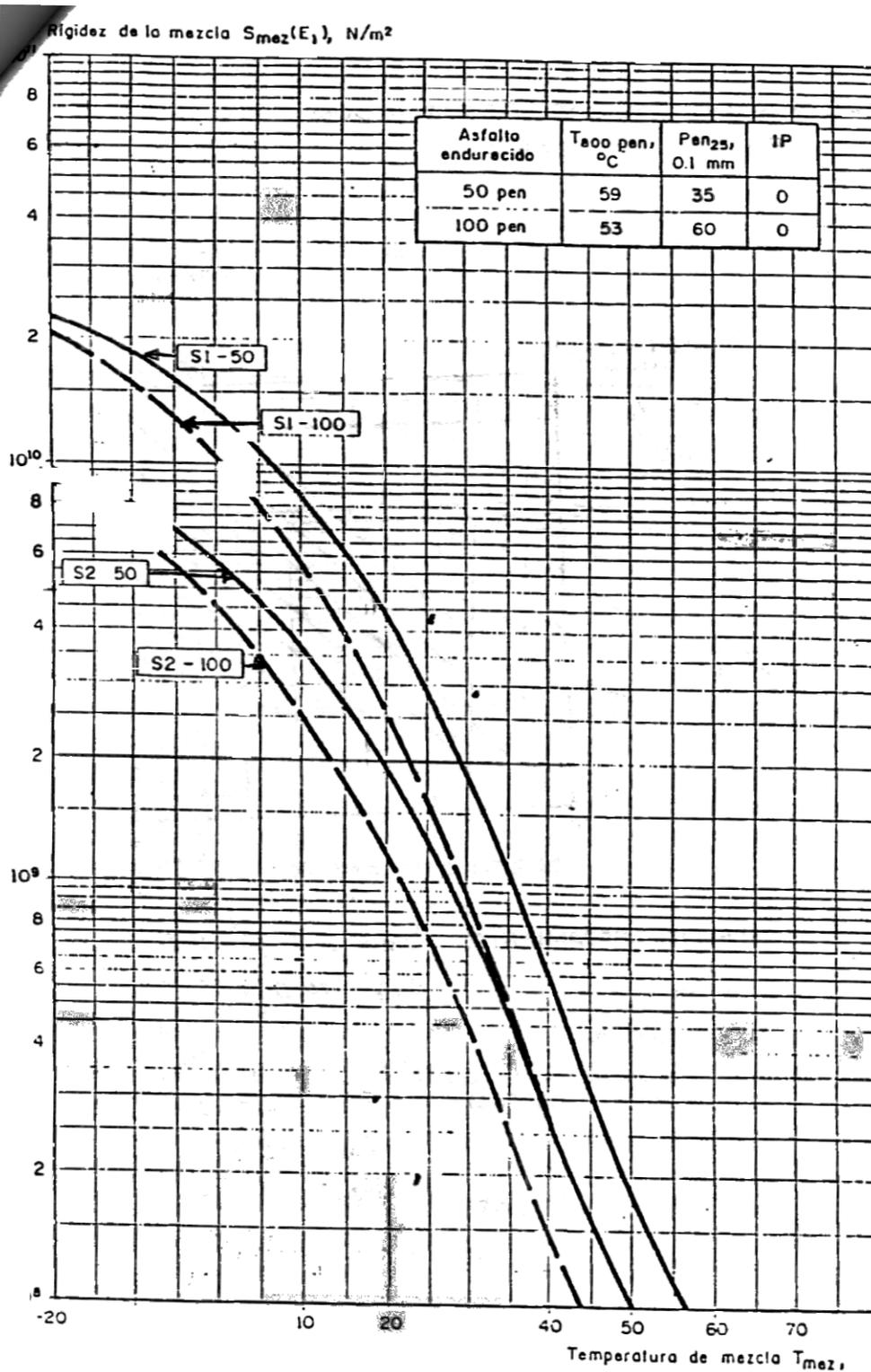
Fatiga. F1 o F2 (F1 mayor resistencia a la fatiga que F2)
Penetración: 50 o 100 (penetración en décimas de milímetro)

Dadas las condiciones del proyecto y de la temperatura ambiente de la región, se escoge una mezcla S1-F1-50. Con este dato, y para un T^o ambiente aproximada de 15^oC , de la Gráfica 1: Curvas maestras del método Shell y frecuencia de 10HZ, se obtiene el módulo dinámico de la carpeta asfáltica:

$$E_{din\ CA} = 62.000 \text{ Kg/cm}^2 = 885.714 \text{ psi.}$$

- **Base granular:** De acuerdo a las especificaciones INVIAS, el CBR mínimo para la base granular es mayor de 80%. Para efectos de diseño, este valor se toma como CBR = 100% y le corresponde un $M_R = 30.000 \text{ psi} = 2.100 \text{ kg/cm}^2$ Ver figura 21.

Figura 21. Curvas maestras del método shell. Frecuencia 10 Hertz



Fuente: lanamme.ucr.ac.cr

- **Subase granular:** Para esta capa el CBR mínimo permitido es 30%, al que le corresponde un $M_R = 15.000 \text{ psi} = 1.190 \text{ kg/cm}^2$

- **Coefficientes estructurales.** Los materiales usados en cada una de las capas de la estructura de un pavimento flexible, de acuerdo a sus características ingenieriles, tienen un coeficiente estructural "ai". Este coeficiente representa la capacidad estructural del material para resistir las cargas solicitantes.

Para la carpeta asfáltica el valor del coeficiente a_1 se obtiene con el módulo de elasticidad de 62.000 Kg/cm^2 en la Gráfica 2. Para este caso, este valor se sale del rango, por tanto se adopta el máximo, $a_1 = 0.46$.

De la Figura 21, para un valor de CBR = 100% para base granular: $a_2 = 0.14$.

Para un valor de CBR = 30% para subbase granular, $a_3 = 0.11$ de la Figuras 22-24.

Figura 22. Coeficiente estructural A1 de la carpeta asfáltica

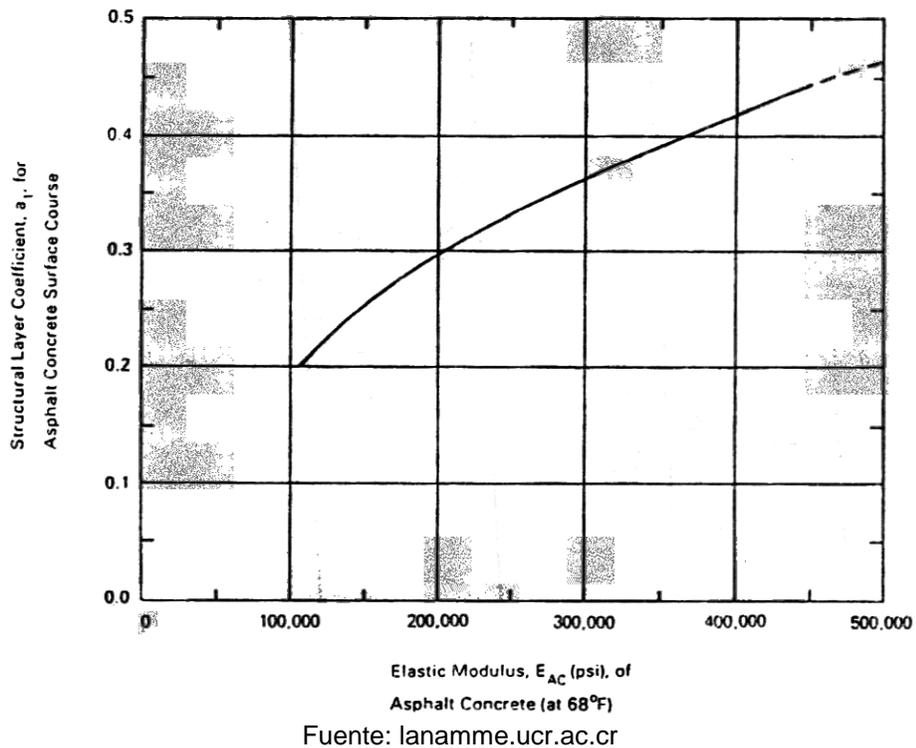
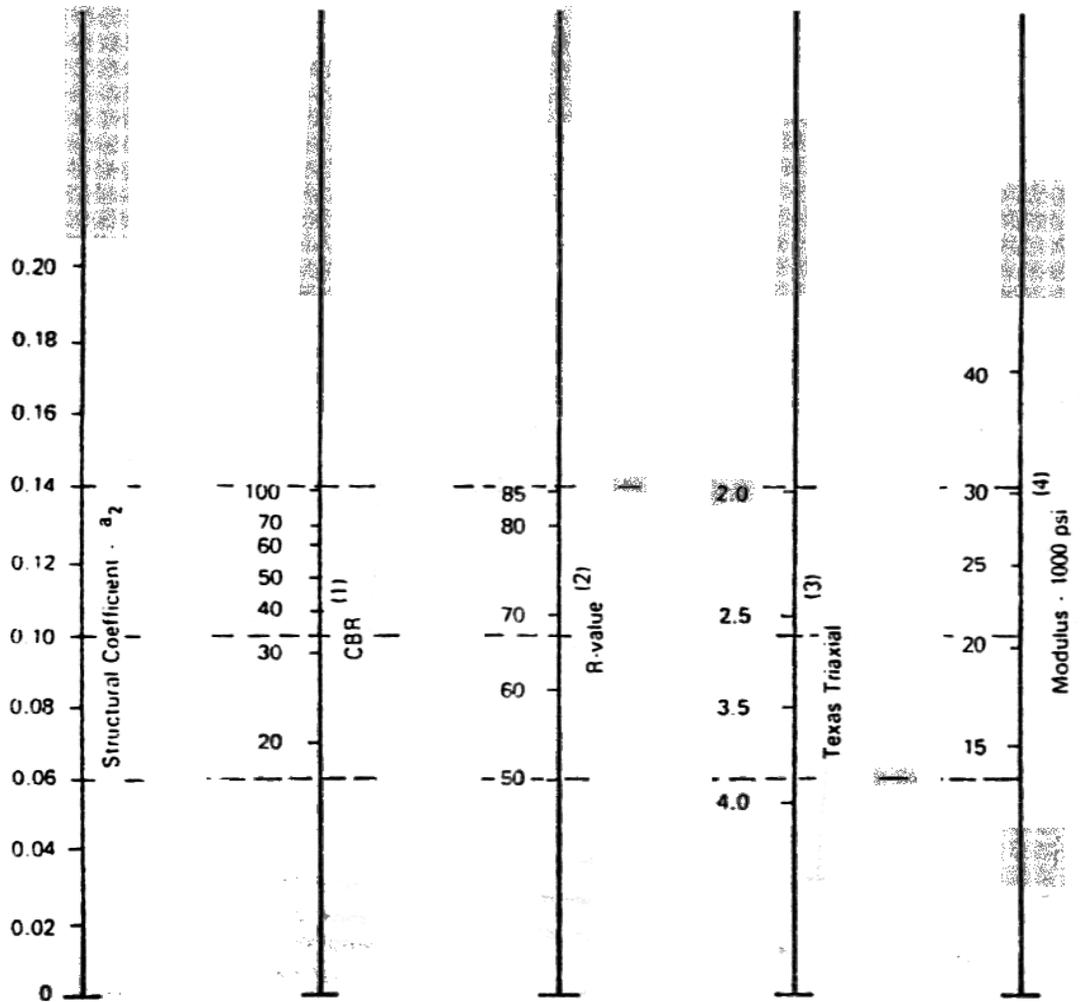


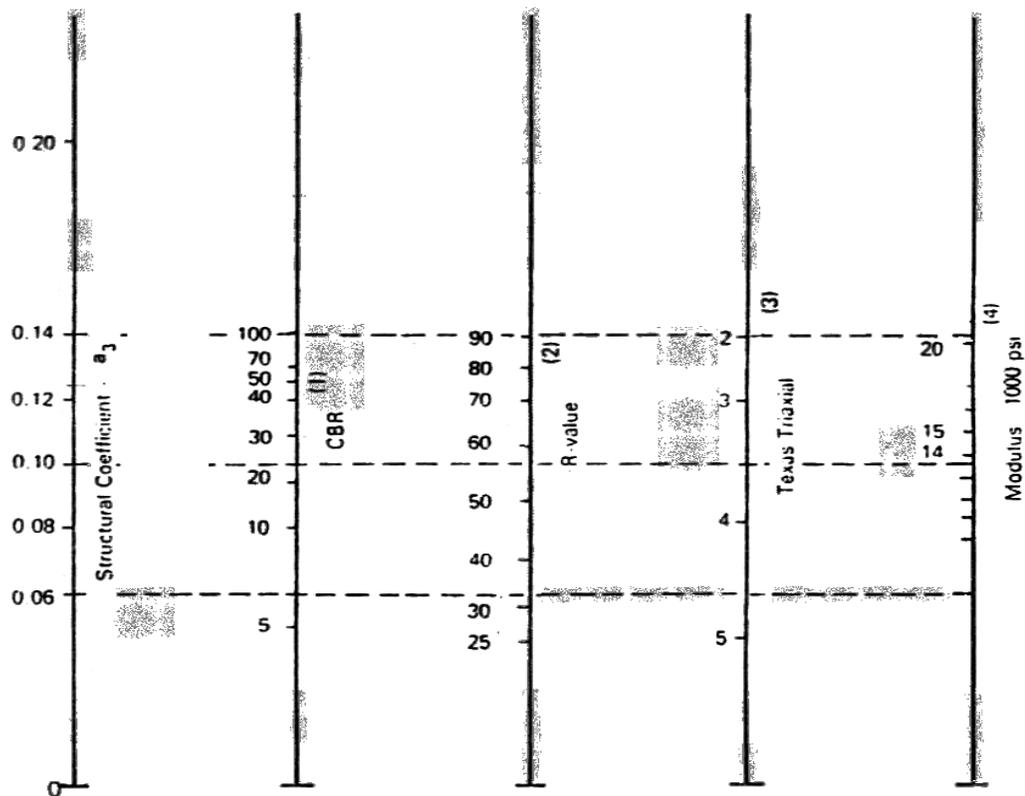
Figura 23. Coeficiente estructural A2 base granular



- (1) Scale derived by averaging correlations obtained from Illinois
- (2) Scale derived by averaging correlations obtained from California, New Mexico and Wyoming
- (3) Scale derived by averaging correlations obtained from Texas
- (4) Scale derived on NCHRP

Fuente: lanamme.ucr.ac.cr

Figura 24. Coeficiente estructural A3 subbase granular



- (1) Scale derived from correlations from Illinois.
- (2) Scale derived from correlations obtained from The Asphalt Institute, California, New Mexico and Wyoming.
- (3) Scale derived from correlations obtained from Texas.
- (4) Scale derived on NCHRP project (3).

Fuente: lanamme.ucr.ac.cr

6.1.7 Drenaje. El método de diseño AASHTO tiene en cuenta la influencia del agua en la resistencia y potencial expansivo de la subrasante, así como en la resistencia de las capas del pavimento, siendo los factores de drenaje recomendados por la AASHTO solo para capas granulares, los cuales modifican los coeficientes estructurales de cada una de las capas; tales factores son medida de la calidad del drenaje el cual se determina por el tiempo de permanencia del agua en la estructura del pavimento, y la capacidad de éste para perder agua, hasta un nivel de saturación del 50%, así la calidad de drenaje se califica como se presenta a continuación: Ver tabla 29.

Tabla 29. Calidad de drenaje den las capas del pavimento

DRENAJE	AGUA ELIMINADA EN
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Malo	(el agua no drena)

Calidad de Drenaje	Porcentaje de tiempo anual en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles cercanos a saturación			
	1%	1a 5%	5 a 25%	25%
Excelente	1,40-1,35	1,35-1,30	1,30-1,20	1,20
Bueno	1,35-1,25	1,25-1,15	1,15-1,00	1,00
Regular	1,25-1,15	1,15-1,05	1,00-0,80	0,80
Pobre	1,15-1,05	1,05-0,80	0,80-0,60	0,60
Malo	1,05-0,95	0,95-0,75	0,75-0,40	0,40

De la tabla anterior, el valor m_2 para la base granular con características de drenaje bueno es: $m_{2BG} = 1.00$.

La subbase tendrá características de drenaje regular: $m_{3SB} = 0.80$.

6.1.8 Número estructural. El número estructural SN, es un número abstracto, que representa la resistencia total de la estructura del pavimento para unas condiciones particulares de tránsito, serviciabilidad, confiabilidad y resistencia, y es igual a la sumatoria del producto de los espesores de cada capa (H_i) por su coeficiente estructural (a_i) y por el coeficiente de drenaje (m_i).

Con ayuda del programa AASHTO 93 se calcula el número estructural de cada una de las capas del pavimento en función de la confiabilidad, serviciabilidad y el valor del módulo resiliente.

- **Subrasante**

SN₃ SR 3.52

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
90 % Zr=-1.282 So 0.49

Serviciabilidad inicial y final
PSI inicial 4.2 PSI final 2

Módulo resiliente de la subrasante
Mr 9000 psi

Información adicional para pavimentos rígidos
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)
Módulo de rotura del concreto - Sc (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis
 Calcular SN **W18 = 2000000**
 Calcular W18

Número Estructural
SN = 3.52

Calcular Salir

- **Base granular**

SN₂ SBG = 2.95

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 90 % $Z_r = -1.282$ So = 0.49

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial = 4.2 PSI final = 2

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr = 15000 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis
 Calcular SN **W18 =** 2000000
 Calcular W18

Número Estructural
SN = 2.95

Calcular Salir

- **Carpeta asfáltica**

$$SN_{1BG} = 2.30$$

6.1.9 Determinación de espesores. Los espesores mínimos dependiendo del tránsito de diseño que sirven como referencia para los cálculos posteriores son:

Tabla 30. Espesores mínimos de acuerdo al tránsito

ESPESORES MÍNIMOS		
$N \cdot 10^6$	CA (in)	BG (in)
< 0.05	1.0 o TSD	4.0
0.05 – 0.15	2.0	4.0
0.15 – 0.50	2.5	4.0
0.50 – 2.00	3.0	6.0
2.00 – 7.00	3.5	6.0
> 7.00	4.0	6.0

El espesor H_i de cada capa se calcula con el número estructural de la capa inmediatamente inferior o que la soporta, así:

- **Espesor de carpeta asfáltica H_{CA} :**

$$SN_1 = a_1 H_1 \rightarrow H_1 = \frac{SN_1}{a_1} = \frac{2.30}{0.46} = 5'' = 12.7 \text{ cm}$$

De la Tabla 2, para tráfico de $2 \cdot 10^6$ ejes equivalentes,

$$H_1 \text{ min} = 3.0'' < 5.0'' \rightarrow \text{OK}$$

Se toma $H_1 \text{ real} = 12.7 \text{ cm} = 5.0''$

$$SN_{1 \text{ real}} = 0.46 \cdot 5.0 \quad SN_{1 \text{ real}} = 2.3 = SN_1$$

Espesor de Base Granular H_{BG} :

$$SN_2 = SN_{1 \text{ real}} + H_2 \cdot a_2 \cdot m_2$$

$$H_2 = \frac{SN_2 - SN_{1 \text{ real}}}{a_2 \cdot m_2} = \frac{2.95 - 2.30}{0.14 \cdot 1.00} = 4.64''$$

De la Tabla 2, el espesor mínimo de la capa granular es de $6'' > 4.21''$ entonces:

$$H_2 = 6'' = 15.2 \text{ cm.}$$

Por facilidad constructiva se toma como $H_{2 \text{ REAL}} = 6'' = 15 \text{ cm}$

Recálculo SN_2

$$SN_{2 \text{ REAL}} = SN_{1 \text{ REAL}} + H_{2 \text{ REAL}} \cdot a_2 \cdot m_2$$

$$SN_{2 \text{ REAL}} = 2.30 + 6'' \cdot 0.14 \cdot 1.00$$

$$SN_{2 \text{ REAL}} = 3.14 > SN_2 \rightarrow \text{OK}$$

- **Espesor de subbase H_{SB} :**

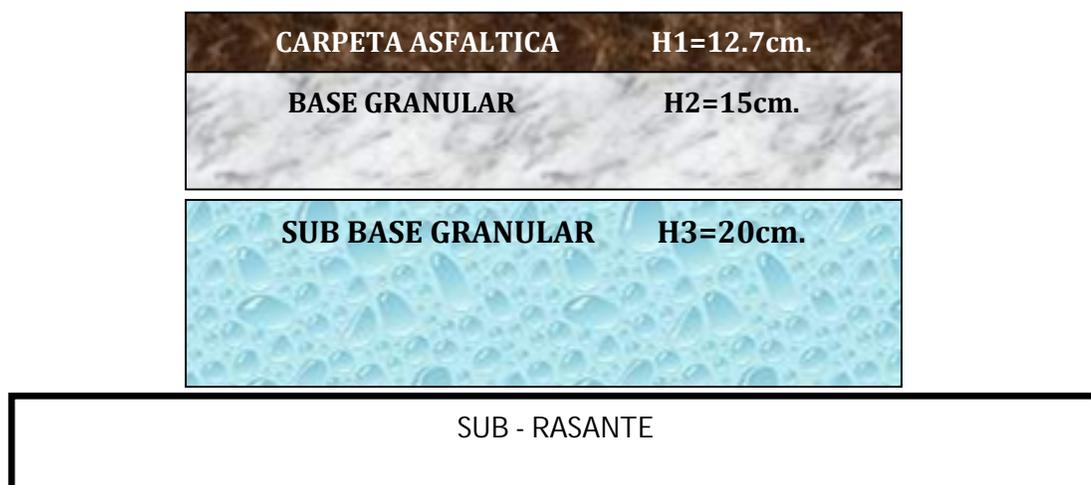
$$SN_3 = SN_{2 \text{ REAL}} + a_3 \cdot m_3 \cdot H_3$$

$$H_3 = \frac{SN_3 - SN_{2 \text{ REAL}}}{a_3 \cdot m_3} \rightarrow H_3 = \frac{3.52 - 3.14}{0.11 \cdot 0.80}$$

$H_3 = 4.3''$ $H_3 = 10.9 \text{ cm} \rightarrow$ colocamos $20 \text{ cm} = 8''$, no se controla por espesor mínimo. $H_3 = 8'' = 20 \text{ cm}$

La estructura final resultante del diseño por el Método AASHTO es la siguiente:
Ver figura 25.

Figura 25. Estructura del pavimento unidad de diseño



6.2 CHEQUEO DEL DISEÑO POR MÉTODO RACIONAL.

La utilización de métodos analíticos o racionales para el diseño de pavimentos flexibles requiere de la caracterización dinámica de los materiales que conforman las capas de la estructura del pavimento con el fin de considerar el efecto dinámico de las solicitaciones reales impuestas por las cargas de los vehículos.

El método racional parte de una modelización de la estructura del pavimento, la cual queda definida por el conocimiento de sus espesores y de las características elástico – dinámicas de cada una de las capas componentes de la estructura. La caracterización de los materiales viales, está enfocada básicamente a la determinación de los módulos dinámicos, la relación de Poisson y la ley de fatiga o falla del material.

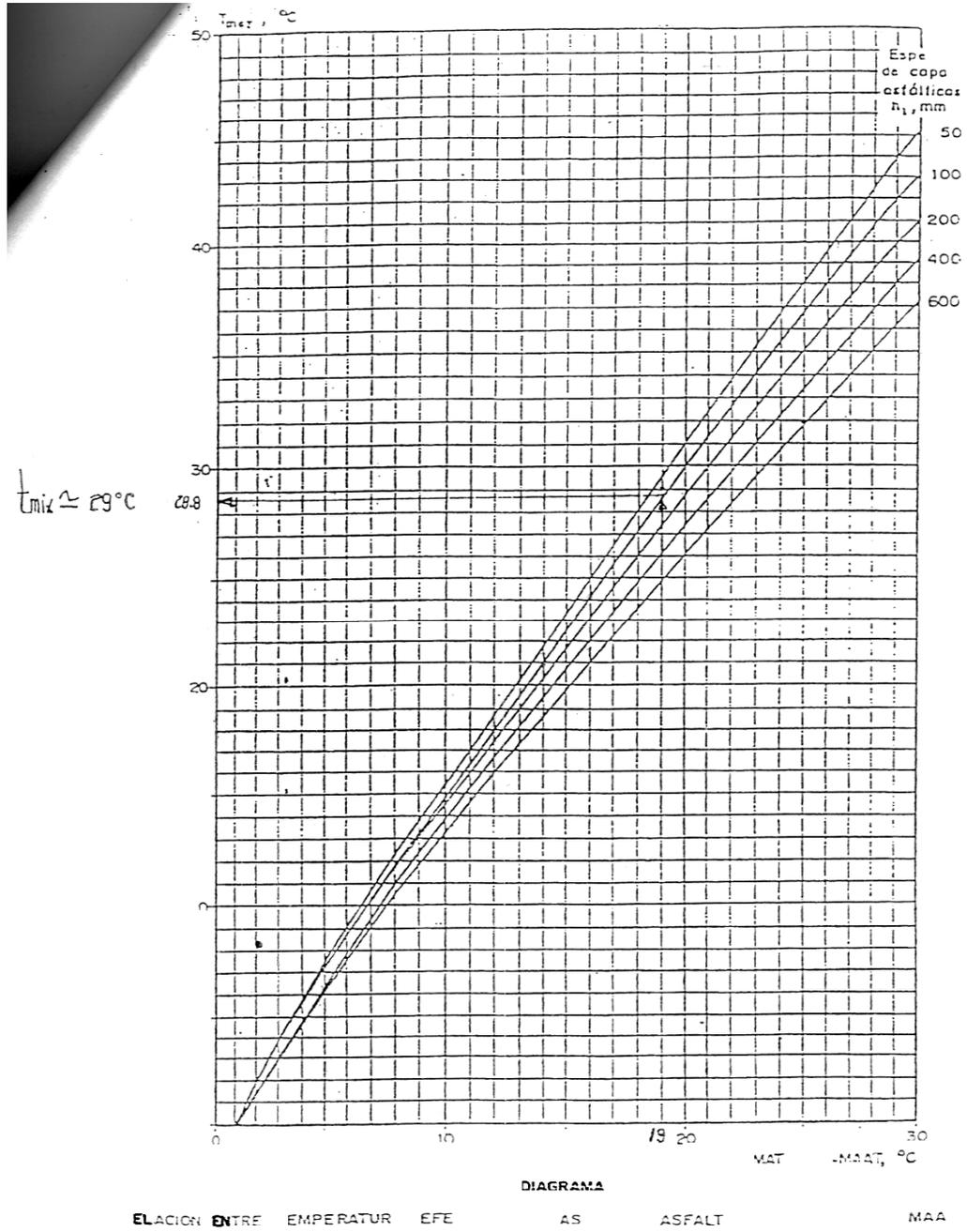
6.2.1 Parámetros:

- $N = 0.26 \cdot 10^6$ ejes de 8.2 Ton
- Carga por llanta = $\frac{8.2Tn}{4} = 2.05 \text{ Tn} = 2050 \text{ Kg} = 20 \text{ kN}$
- Presión de inflado = 5.6 Kg/cm^2
- $a = 10.8 \text{ cm}$
- $s = 3a = 32.4 \text{ cm}$

6.2.2 Clima. Para la región la temperatura promedio ponderada T° WMAAT es de 14°C . Con este dato, y con un espesor de 8.5 cm de carpeta asfáltica, de la figura

26, Diagrama RT: Relación entre temperatura efectiva de las capas asfálticas y W-MAAT, se obtiene la temperatura de la mezcla $T_{MIX} = 21.5^{\circ}\text{C}$.

Figura 26. Relación entre temperatura efectiva de las capas Y W- Maat



6.2.3 Caracterización dinámica de materiales:

- **Relación de poisson (μ).** De acuerdo a las curvas maestras nacionales el valor de μ para los diferentes materiales es:

μ : 0.35 → Concreto asfáltico
0.40 → Base o subbase granular
0.35 → Base granular con cemento
0.35 → Base cal/cemento
0.12 → Concreto simple
0.45 – 0.50 → Subrasante

- **Concreto asfáltico.** Con $T_{MIX} = 21.5^{\circ}C$ y concreto asfáltico S1 – F1 – 50 y frecuencia de 10 HZ obtengo de la curva maestra del método Shell:

$$E_{din} = 4 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2 = 40000 \text{ Kg/cm}^2 = 4000 \text{ MPa}$$

Relación de Poisson $\mu = 0.35$

- **Subrasante**

CBR de diseño = 6%

$$M_R = 100 \text{ CBR} = 100 \cdot 6 = 600 \text{ Kg/cm}^2 = 60 \text{ MPa}$$

Relación de Poisson $\mu = 0.50$

- **Capas granulares.** El módulo resiliente de los suelos de las capas granulares de base y subbase, dependen del estado de esfuerzos al que están sometidas y del material sobre el que se apoyan. Según el método Shell, el módulo de las capas granulares se puede calcular en función del módulo de la subrasante o apoyo y del espesor de la respectiva capa, mediante la siguiente expresión:

$$M_r = 0.206 \times h^{0.45} \times M_{r \text{ CAPA DE APOYO}}$$

- **Subbase granular**

$$M_r = 0.206 \times h_{SB}^{0.45} \times M_{r \text{ SR}} = 0.206 \times 200^{0.45} \times 600$$
$$M_r = 1341.2 \text{ Kg/cm}^2 = 134 \text{ MPa}$$

Relación de Poisson $\mu = 0.45$

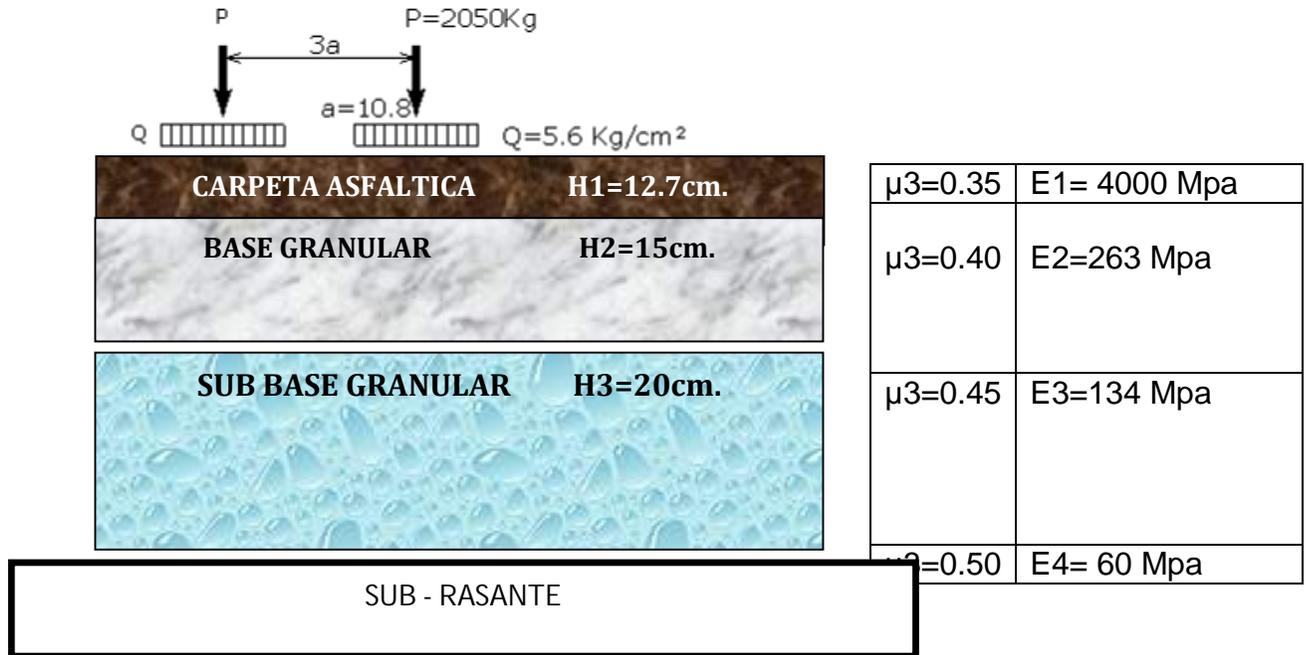
- **Base granular**

$$M_r = 0.206 \times h_{BG}^{0.45} \times M_{r \text{ SB}} = 0.206 \times 150^{0.45} \times 1341$$
$$M_r = 2633.5 \text{ Kg/cm}^2 = 263 \text{ MPa}$$

Relación de Poisson $\mu = 0.40$

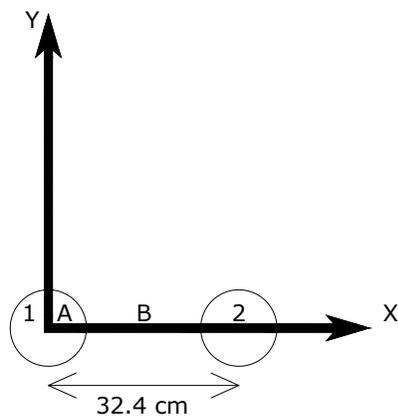
6.2.4 Modelo estructural:

Figura 27. Modelo estructural unidad de diseño 1



6.2.5 Cálculo de esfuerzos y deformaciones:

Figura 26. Distribución de cargas



Una vez definido el modelo estructural y las características y configuración del eje de referencia que actuará sobre el pavimento, se calculan los valores de esfuerzos y deformaciones presentados en los diferentes puntos de interés de la estructura.

Como se considera que los materiales que conforman la estructura durante su vida útil están trabajando dentro del rango elástico, entonces la fatiga de éstos es causada por la relación entre las repeticiones de carga (N) impuestas por el tránsito y la deformación. Entonces el pavimento flexible puede fallar de dos maneras:

a. Que la deformación horizontal por tracción ϵ_r en la fibra inferior de la capa asfáltica, al flexionar ellas bajo la acción de las cargas, supere cierto límite admisible, en este caso se producirá agrietamiento en dichas capas.

b. Que la deformación vertical ϵ_z por compresión de la subrasante supere el límite admitido por ella, caso en el cual se presenta una deformación permanente y por consiguiente la del pavimento, en este caso se producirá ahuellamiento

Para facilitar el cálculo de ϵ_r y ϵ_z , se utilizará el software para diseño de pavimentos de la Shell, BISAR 3.0. Los datos que se introducen son los siguientes: Ver figura 28.

Carga	Parámetro	z	x	y
1	ϵ_r	12.69	0	0
		12.69	16.2	0
2	ϵ_z	47.71	0	0
		47.71	16.2	0

Figura 28. Esfuerzos y deformaciones



BISAR 3.0 - Block Report

CARRERA 13 IPIALES

System 1: (untitled)

Structure

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Vertical		Horizontal (Shear)		Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
					Load (kN)	Stress (MPa)	Load (kN)	Stress (MPa)				
1	0,127	4,000E+03	0,35	1	2,050E+01	5,594E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,080E-01	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
2	0,150	2,630E+02	0,40	2	2,050E+01	5,594E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,080E-01	3,240E-01	0,000E+00	0,000E+00
3	0,200	1,340E+02	0,45									
4		6,000E+01	0,50									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses			Strains			Displacements		
					XX (MPa)	YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μ strain	YY μ strain	ZZ μ strain	UX (μ m)	UY (μ m)	UZ (μ m)
1	1	0,000E+00	0,000E+00	1,269E-01	8,306E-01	1,014E+00	-1,109E-01	1,286E+02	1,905E+02	-1,891E+02	-1,389E+01	0,000E+00	4,879E+02
2	1	1,620E-01	0,000E+00	1,269E-01	4,216E-01	8,654E-01	-8,987E-02	3,754E+01	1,873E+02	-1,351E+02	0,000E+00	0,000E+00	5,017E+02
3	4	0,000E+00	0,000E+00	4,771E-01	-4,477E-03	-2,919E-03	-2,422E-02	1,515E+02	1,904E+02	-3,420E+02	-2,674E+01	0,000E+00	3,722E+02
4	4	1,620E-01	0,000E+00	4,771E-01	-4,142E-03	-2,999E-03	-2,591E-02	1,718E+02	2,004E+02	-3,723E+02	0,000E+00	0,000E+00	3,832E+02

Los resultados obtenidos:

CARGA	Parám	z	x	y	y	y analisis	z	z analisis
1	r	12.69	0	0	1,91x10 ⁻⁴	1,91x10 ⁻⁴		
		12.69	16.2	0	1,87x10 ⁻⁴			
2	vó z	47.71	0	0			3,42x10 ⁻⁴	
		47.71	16.2	0			3,72x10 ⁻⁴	3,72x10 ⁻⁴

Se emplea las deformaciones en “y” debido a que el vehículo se desplaza en ese sentido y genera las tensiones críticas.

6.2.6 Cálculo de esfuerzos () y deformaciones () admisibles:

- **Control de fatiga en la carpeta asfáltica**

Método Shell:

$$\varepsilon_r = (0.856 * V_b + 1.08) * E^{-0.36} * \left(\frac{N}{K}\right)^{-0.2}$$

V_b = Volumen de asfalto – C.A. = 13%

E = Módulo (N/m²)

K = Factor de Calage = 10 para C.A.

N = Número de repeticiones de carga

$$\varepsilon_r = (0.856 * 13 + 1.08) * (4 \times 10^9)^{-0.36} * \left(\frac{2 \times 10^6}{10}\right)^{-0.2}$$

$$\varepsilon_r = 3,71 \times 10^{-4}$$

- **Control de ahuellamiento de la subrasante**

Método Shell:

$$\varepsilon_z = 2.1 * 10^{-2} * N^{-0.25} \rightarrow \text{N.C.} = 85\%$$

$$\varepsilon_z = 1.8 * 10^{-2} * N^{-0.25} \rightarrow \text{N.C.} = 95\%$$

N: Número de repeticiones de carga (admisibles)

$$\varepsilon_z = 2.1 * 10^{-2} * (2 \times 10^6)^{-0.25} = 3.71 \times 10^{-4} \rightarrow \text{N.C.} = 85\%$$

$$\varepsilon_z = 1.8 * 10^{-2} * (2 \times 10^6)^{-0.25} = 4,79 \times 10^{-4} \rightarrow \text{N.C.} = 95\%$$

De los dos resultados anteriores tomamos el más crítico, es decir el valor de ϵ_z para un N.C.= 95%.

• **Comparación de solicitaciones calculadas (Y Calc) con las solicitaciones admisibles (Y ADM).** Se hace esta comparación con el fin de definir los ajustes sucesivos que se realizarán durante la etapa de dimensionamiento de la estructura.

$$\begin{array}{l} \text{(,)}_{\text{CALCULADAS}} \quad \text{(,)}_{\text{ADMISIBLES}} \\ \text{CA: } 1.91 \times 10^{-4} < 3.71 \times 10^{-4} \rightarrow \text{OK} \\ \text{SR: } 3.72 \times 10^{-4} < 4.79 \times 10^{-4} \rightarrow \text{OK} \end{array}$$

De estos resultados, se observa que el ahuellamiento está controlando el diseño ya que en la subrasante el valor calculado está más cercano al admisible.

• **Consumo en solicitud crítica**

$$\epsilon_z: 3.72 \times 10^{-4} = 1.8 \times 10^{-2} \times (N)^{-0.25} \rightarrow N_{\text{adm}} = 5.5 \times 10^6$$

Este es el número de repeticiones admisibles para esta estructura de pavimento.

Control Ahuellamiento:

$$C_{\text{AHUE}} = \frac{2 \times 10^6}{5.5 \times 10^6} = 36\% \rightarrow \text{consumo crítico}$$

6.2.7 Espesores definitivos. Acogiéndose a los resultados obtenidos en el diseño por el Método AASHTO y la verificación por el Método Racional, considerando las experiencias locales, las características actuales de la vía a pavimentar y de acuerdo al criterio de los diseñadores se adopta como espesores para la unidad de diseño los siguientes:

Espesor Capa Asfáltica	= 12.7 cm
Espesor Base Granular	= 15 cm
Espesor Sub-Base Granular	= 20 cm

7. PRESUPUESTO DE OBRA

7.1 PAVIMENTO RIGIDO

PROYECTO: CRA 13 ENTRE CALLES 24 Y VIA PERIMETRAL IPIALES Construcción vía vehicular - Carril 7.0 m libres Incluye andenes Losa en Concreto MR39						PAVIMENTO RIGIDO
PRESUPUESTO Y CANTIDADES DE OBRA						
ITEM	DESCRIPCION	UND.	CANT.	VR UNIT. DIRECTO	VALOR PARCIAL	
1	PRELIMINARES					
1.1	LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO	ML	896.35	920.0	\$ 824,642	
1.2	DESCAPOTE A MAQUINA EN MATERIAL COMUN (e=0.1m. Incluye Cargue). INCLUYE DISPOSICION FINAL DE ESCOMBROS	M2	10,218.39	2,830.0	\$ 28,918,044	
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				\$ -	
2.1	EXCAVACION A MAQUINA PARA CORTES Y DESAL. (Acarreo libre 5 Km.)	M3	11,600.00	5,598.8	\$ 64,945,500	
2.2	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL DEL SITIO	M3	3,207.00	13,456.8	\$ 43,155,871	
3	BASES DE PAVIMENTO				\$ -	
3.1	NIVELACION Y COMPACTACION CON EQUIPO DE LA SUBRASANTE	M2	6,543.36	250.0	\$ 1,635,839	
3.2	SUB-BASE GRANULAR AL 50%, (Suministro, Extendido Manual, Humedecimiento y Compactación)	M3	1,635.84	48,853.0	\$ 79,915,630	
3.3	SUB-BASE COMPACTADA EN RECEBO E = 0,10 m	M2	3,585.40	4,204.0	\$ 15,073,022	
4	PAVIMENTO				\$ -	
4.1	LOSA EN CONCRETO MR39. E=0,19 m (Incl. Refuerzo y dilatac)	M2	6,543.36	76,948.8	\$ 503,503,132	
4.2	ANDEN EN CONCRETO 2.500 PSI. E=0,10 m (Incluye dilatación)	M2	3,585.40	34,710.7	\$ 124,451,596	
4.3	SARDINEL EN CONCRETO 2.500 PSI. H=0,60 m	ML	1,792.70	23,974.0	\$ 42,978,190	
5	ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO					
5.1	EXCAVACION A MAQUINA 0-3	M3	616.67	3,956.3	\$ 2,439,703	
5.2	EXCAVACION A MAQUINA 3-5	M3	296.91	5,220.0	\$ 1,549,888	
5.3	EXCAVACION A MANO 0-3	M3	2,678.66	10,568.0	\$ 28,308,206	
5.4	EXCAVACION A MANO 3-5	M3	52.40	14,531.0	\$ 761,376	
5.5	SUMINISTRO E INSTALACION TUBERIA Ø 6" MORTERO	ML	712.00	22,315.3	\$ 15,888,481	
5.6	SUMINISTRO E INSTALACION TUBERIA Ø 8" MORTERO	ML	144.00	23,662.3	\$ 3,407,369	
5.7	SUMINISTRO E INSTALACION TUBERIA Ø 10" MORTERO	ML	1,792.70	24,976.9	\$ 44,776,032	
5.8	BOX COULVERT SECCION INTERNA 1.50 X 1.50 MTS. e=0.15	ML	1,000.00	876,530.8	\$ 876,530,812	
5.9	CAJILLAS	UND	178.00	196,416.1	\$ 34,962,060	
5.10	CAMARAS DE INSPECCION H <2	UND	12.00	1,073,408.5	\$ 12,880,902	
5.11	CAMARAS DE INSPECCION H 4-5	UND	8.00	1,722,943.9	\$ 13,783,552	
5.12	CAMARAS DE INSPECCION H 5-6	UND	5.00	1,969,172.0	\$ 9,845,860	
5.13	RELLENO MATERIAL DE PRESTAMO	M3	2,820.72	11,285.2	\$ 31,832,415	
5.14	RELLENO MATERIAL TRITURADO	M3	19.35	47,772.0	\$ 924,217	
5.15	RETIRO DE SOBRESANTES	M3	3,673.96	8,663.5	\$ 31,829,228	
5.16	SUMIDEROS	UND	36.00	953,646.8	\$ 34,331,284	

6	SEÑALIZACION DE VIAS					\$	-
6.1	DEMARCAION LINEA CONTINUA A=0.12m (e=15 mils, Acrilica Base Agua, Inc. Sumin. y Aplic. Con Equipo. Incl. Microesferas)	ML	3,585.40	2,665.0	\$		9,555,091
6.2	DEMARCAION PASO PEATONAL CEBRA (e=15 mils, Acrilica Base agua Inc, Sumin. y Aplic. Con Equipo Incl. Microesferas)	M2	84.00	22,208.0	\$		1,865,472
6.3	FLECHA DIRECCIONAL "A LA DERECHA" (e=15 mils, Acrilica Base Agua, Inc. Sumin. y Aplic. Con Equipo. Incl. Microesferas)	M2	18.00	33,535.0	\$		603,630
6.4	FLECHA DIRECCIONAL "DE FRENTE A LA DERECHA" (e=15 mils, Acrilica Base Agua, Inc. Sumin. Y Aplic. con Equipo. Incl. Micr	M2	30.00	48,415.0	\$		1,452,450
6.5	FLECHA DIRECCIONAL "DE FRENTE" (e=15 mils, Acrilica Base Agua, Inc. Sumin. y Aplic. con Equipo. Incl. Microesferas)	M2	12.00	26,650.0	\$		319,800
TOTAL COSTOS DIRECTOS						\$	2,063,249,292
ADMINISTRACION		18%	\$	371,384,873			
UTILIDAD		8%	\$	165,059,943			
IMPREVISTO		4%	\$	82,529,972			
TOTAL A.U.I					\$		618,974,788
VALOR TOTAL PROYECTO						\$	2,682,224,080
INTERVENTORIA		6%					171,205,792
VALOR TOTAL PROYECTO						\$	2,853,429,872

7.2 PAVIMENTO FLEXIBLE

PROYECTO: CRA 13 ENTRE CALLES 24 Y VIA PERIMETRAL IPIALES					
Construcción vía vehicular - Carril 7.0 m libres, Bordillo sobre losa				PAVIMENTO ASFALTICO	
Incluye andenes					
CARPETA ASFALTICA					
PRESUPUESTO Y CANTIDADES DE OBRA					
ITEM	DESCRIPCION	UND.	CANT.	VR UNIT. DIRECTO	VALOR PARCIAL
1	PRELIMINARES				
1.1	LOCALIZACION Y REPLANTEO	ML	896.35	920.0	\$ 824,642
1.2	DESCAPOTE A MAQUINA EN MATERIAL COMUN (e=0.1m. Incluye Cargue). INCLUYE DISPOSICION FINAL DE ESCOMBROS	M2	10,218.39	2,830.0	\$ 28,918,044
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
2.1	EXCAVACION A MAQUINA PARA CORTES Y DESAL. (Acarreo libre 5 Km.)	M3	11,600.00	5,598.8	\$ 64,945,500
2.2	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL DEL SITIO	M3	3,207.00	13,456.8	\$ 43,155,871
3	BASES DE PAVIMENTO				
3.1	NIVELACION Y COMPACTACION CON EQUIPO DE LA SUBRASANTE	M2	6,543.36	250.0	\$ 1,635,839
3.2	SUB-BASE GRANULAR AL 50%, (Suministro, Extendido Manual, Humedecimiento y Compactación)	M3	981.50	48,853.0	\$ 47,949,378
3.3	SUB-BASE COMPACTADA EN RECEBO E = 0,10 m	M2	3,585.40	4,204.0	\$ 15,073,022
3.4	BASE GRANULAR (Suministro, Extendido Manual, Humedecimiento y Compactación)	M3	1,308.67	72,736.8	\$ 95,188,480
4	PAVIMENTO				
4.1	IMPRESION CON EMULSION ASFALTICA CRL-0 (Suministro, Barrido Superficie y Riego)	M2	6,543.36	2,427.0	\$ 15,880,723
4.2	CARPETA CONCRETO ASFALTICO	M3	458.03	459,209.9	\$ 210,334,117
4.3	ANDEN EN CONCRETO 2,500 PSI. E=0,10 m (Incluye dilatación)	M2	3,585.40	34,710.7	\$ 124,451,596
4.4	SARDINEL EN CONCRETO 2,500 PSI. H=0,60 m	ML	1,792.70	23,974.0	\$ 42,978,190

5	ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO				
5.1	EXCAVACION A MAQUINA 0-3	M3	616.67	3,956.3	\$ 2,439,703
5.2	EXCAVACION A MAQUINA 3-5	M3	296.91	5,220.0	\$ 1,549,888
5.3	EXCAVACION A MANO 0-3	M3	2,678.66	10,568.0	\$ 28,308,206
5.4	EXCAVACION A MANO 3-5	M3	52.40	14,531.0	\$ 761,376
5.5	SUMINISTRO E INSTALACION TUBERIA Ø 6" MORTERO	ML	712.00	22,315.3	\$ 15,888,481
5.6	SUMINISTRO E INSTALACION TUBERIA Ø 8" MORTERO	ML	144.00	23,662.3	\$ 3,407,369
5.7	SUMINISTRO E INSTALACION TUBERIA Ø 10" MORTERO	ML	1,792.70	24,976.9	\$ 44,776,032
5.8	BOX COULVERT SECCION INTERNA 1.50 X 1.50 MTS. e=0.15	ML	1,000.00	876,530.8	\$ 876,530,812
5.9	CAJILLAS	UND	178.00	196,416.1	\$ 34,962,060
5.10	CAMARAS DE INSPECCION H <2	UND	12.00	1,073,408.5	\$ 12,880,902
5.11	CAMARAS DE INSPECCION H 4-5	UND	8.00	1,722,943.9	\$ 13,783,552
5.12	CAMARAS DE INSPECCION H 5-6	UND	5.00	1,969,172.0	\$ 9,845,860
5.13	RELLENO MATERIAL DE PRESTAMO	M3	2,820.72	11,285.2	\$ 31,832,415
5.14	RELLENO MATERIAL TRITURADO	M3	19.35	47,772.0	\$ 924,217
5.15	RETIRO DE SOBRANTES	M3	3,673.96	8,663.5	\$ 31,829,228
5.16	SUMIDEROS	UND	36.00	953,646.8	\$ 34,331,284
6	SEÑALIZACION DE VIAS				
6.1	DEMARCAION LINEA CONTINUA A=0.12m (e=15 mils, Acrilica Base Agua, Inc. Sumin. y Aplic. Con Equipo. Inc. Microesferas)	ML	3,585.40	2,665.0	\$ 9,555,091
6.2	DEMARCAION PASO PEATONAL CEBRA (e=15 mils, Acrilica Base agua Inc, Sumin. y Aplic. Con Equipo Incl. Microesferas)	M2	84.00	22,208.0	\$ 1,865,472
6.3	FLECHA DIRECCIONAL "A LA DERECHA" (e=15 mils, Acrilica Base Agua, Inc. Sumin. y Aplic. Con Equipo. Incl. Microesferas)	M2	18.00	33,535.0	\$ 603,630
6.4	FLECHA DIRECCIONAL "DE FRENTE A LA DERECHA" (e=15 mils, Acrilica Base Agua, Inc. Sumin. Y Aplic. con Equipo. Incl. Micr	M2	30.00	48,415.0	\$ 1,452,450
6.5	FLECHA DIRECCIONAL "DE FRENTE" (e=15 mils, Acrilica Base Agua, Inc. Sumin. y Aplic. con Equipo. Incl. Microesferas)	M2	12.00	26,650.0	\$ 319,800
TOTAL COSTOS DIRECTOS					\$ 1,849,183,227
ADMINISTRACION		18%	\$ 332,852,981		
UTILIDAD		8%	\$ 147,934,658		
IMPREVISTO		4%	\$ 73,967,329		
TOTAL A.U.I					\$ 554,754,968
VALOR TOTAL PROYECTO					\$ 2,403,938,196
INTERVENTORIA		6%			153,442,864
VALOR TOTAL PROYECTO					\$ 2,557,381,059

7.3 ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ITEM: LOCALIZACION Y REPLANTEO					UND. M2
Herramienta menor 5% m. de o.	%	480.00	0.05	24.00	
Tránsito y nivel	Dia	60,000.00	0.002	120.00	
Estacas 25 cms.	Und.	540.00	0.55	295.92	
Comisión de topografía - M2/dia	Jornal	160,000.00	0.003	480.00	
COSTO DIRECTO					920.00
A.U.I. 30%					276.00
COSTO TOTAL					1,196.00
EXCAVACION A MAQUINA PARA CORTES Y DESAL. (Acarreo libre 5 Km.)					UND. M³
Retroexcavadora	Hora	90,000.00	30.00	3,000.00	
Volqueta (acarreo libre 5 Km)	M3-km	519.75	5.00	2,598.75	
COSTO DIRECTO					5,598.75
A.U.I. 30%					1,679.63
COSTO TOTAL					7,278.38

RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL DEL SITIO					UND. M³
Bulldozer	Hora	90,000.00	45.00	2,000.00	
Cargador	Hora	70,000.00	45.00	1,555.56	
Motoniveladora 125 HP.	Hora	75,000.00	40.00	1,875.00	
Compactador	Hora	70,000.00	40.00	1,750.00	
Carrotanque de agua	Hora	26,250.00	100.00	262.50	7,443.06
Derechos de explotación	M ³ .	4,635.00	1.25	5,793.75	
Agua	Lit.	4.54	30.00	136.13	5,929.88
Cuadrilla D	Jornal	30,183.27	360.00	83.84	83.84
COSTO DIRECTO					13,456.77
A.U.I. 30%					4,037.03
COSTO TOTAL					17,493.80

NIVELACION Y COMPACTACION CON EQUIPO DE LA SUBRASANTE					UND. M2.
Motoniveladora 125 HP.	Hora	75,000.00	700.00	107.14	
Compactador	Hora	70,000.00	700.00	100.00	207.14
Cuadrilla D - M2/dia	Jornal	30,183.27	700.00	43.12	43.12
COSTO DIRECTO					250.00
A.U.I. 30%					75.00
COSTO TOTAL					325.00

SUB-BASE GRANULAR AL 50%, (Suministro, Extendido Manual, Humedecimiento y Compactación)					UND. M3
Motoniveladora	Hora	75,000.00	20.00	3,750.00	
Compactador	Hora	70,000.00	20.00	3,500.00	
Carrotanque	Hora	26,250.00	20.00	1,312.50	8,562.50
Recebo de primera (Cantera) (50%)	M3	28,833.56	0.625	18,020.98	
Triturado tamaño max. 2,5" (50%)	M3	32,000.00	0.625	20,000.00	
Desperdicios 2%	%	38,020.98	0.02	760.42	38,781.40
Cuadrilla D - M2/dia	Jornal	30,183.27	20.0	1,509.16	1,509.16
COSTO DIRECTO					48,853.00
A.U.I. 30%					14,655.90
COSTO TOTAL					63,508.90

SUB-BASE COMPACTADA EN RECEBO E = 0,10 m					UND. M2
Compactador manual tipo rana	Hora	15,000.00	100.00	150.00	150.00
Recebo de primera (Cantera)	M3	28,833.56	0.125	3,604.20	
Desperdicios 2%	%	3,604.20	0.02	72.08	3,676.28
Cuadrilla D - M2/dia	Jornal	30,183.27	80.0	377.29	377.29
COSTO DIRECTO					4,204.00
A.U.I. 30%					1,261.20
COSTO TOTAL					5,465.20

BASE GRANULAR (Suministro, Extendido Manual, Humedecimiento y Compactación)					UND. M³
Bulldozer	Hora	90,000.00	45.00	2,000.00	
Cargador	Hora	70,000.00	45.00	1,555.56	
Trituradora	Hora	31,500.00	20.00	1,575.00	
Motoniveladora	Hora	75,000.00	40.00	1,875.00	
Compactador	Hora	70,000.00	100.00	700.00	
Carrotanque	Hora	26,250.00	100.00	262.50	7,968.06
Material granular base (Cantera)	M3	48,930.00	1.25	61,162.50	
Desperdicios 5%	%	61,162.50	0.05	3,058.13	
Agua	Lts	4.54	100.00	453.75	64,674.38
Cuadrilla D - M3/dia	Jornal	30,183.27	320.0	94.32	94.32
COSTO DIRECTO					72,736.75
A.U.I. 30%					21,821.03
COSTO TOTAL					94,557.78

CARPETA CONCRETO ASFALTICO					UND. M3
Compresor para barrido	Hora	47,250.00	50.00	945.00	
Tanque irrigador de asfalto	Hora	63,000.00	21.00	3,000.00	
Terminadora de pavimento	Hora	73,500.00	20.00	3,675.00	
Compactador metalico	Hora	73,500.00	30.00	2,450.00	
Compactador de llantas	Hora	99,750.00	30.00	3,325.00	13,395.00
Asfalto liquido imprim. MC-70	Gal	4,017.00	6.00	24,102.00	
Asfalto para liga RC-250	Gal	4,120.00	4.00	16,480.00	
Concreto asfaltico en caliente	M3	303,850.00	1.25	379,812.50	
Desperdicios 5%	%	379,812.50	0.05	18,990.63	439,385.13
Cuadrilla B - M3/dia	Jornal	385,783.76	60.00	6,429.73	6,429.73
COSTO DIRECTO					459,209.85
A.U.I. 30%					137,762.96
COSTO TOTAL					596,972.81

LOSA EN CONCRETO MR39. E=0,19 m (Incl. Refuerzo y dilatac)					UND. M2
EQUIPO					7,607.25
Mezcladora concreto hidraulico	Hora	16,000.00	8.00	2,000.00	
Vibrador de concreto	Hora	16,000.00	8.00	2,000.00	
Cortadora de concreto	ml	6,500.00	0.50	3,250.00	
Herramienta menor 5% m. de o.	%	7,145.00	5%	357.25	
MATERIALES					60,185.09
Concreto simple 3.500 PSI.	M3	237,354.13	0.19	45,097.28	
Formaleta y juntas	Glb.	4,020.00	1.00	4,020.00	
Acero de refuerzo PDR.60 liso 1"	Kgs.	3,356.87	1.15	3,860.40	
Acero de refuerzo PDR.60 corrugado 1/2"	Kgs.	3,366.28	0.16	538.60	
Canastillas pasadoveelas	Kgs.	3,702.90	0.57	2,115.94	
Curado de concreto	Kgs.	442.90	1.20	531.48	
Sellado con SikaRod y sellador elastico (sikaflex)	ml	2,100.76	0.55	1,155.42	
Desperdicios	%	57,319.13	5%	2,865.96	
TRANSPORTE					687.51
En general	Glb.	687.51	1.00	687.51	
MANO DE OBRA					7,145.00
Cuadrilla A - M2/dia	Jornal	714,500.33	100.0	7,145.00	
OTROS					1,323.92
Ensayos de laboratorio concreto y materiales	Glb.	966.67	1.0	966.67	
Vigilancia 5% m. de o.	%	7,145.00	5%	357.25	
COSTO DIRECTO					76,948.77
A.U.I.	%	30%			23,084.63
COSTO TOTAL					100,033.40

ANDEN EN CONCRETO 2.500 PSI. E=0,10 m (Incluye dilatación)					UND. M2
EQUIPO					3,010.49
Mezcladora concreto hidraulico	Hora	16,000.00	17.50	914.29	
Vibrador de concreto	Hora	16,000.00	17.50	914.29	
Compactador manual - Saltarin	Hora	15,000.00	17.50	857.14	
Herramienta menor 5% m. de o.	%	6,495.46	5%	324.77	
MATERIALES					24,313.27
Concreto simple 2.500 PSI.	M3	187,411.62	0.10	18,741.16	
Formaleta y juntas en madera	Glb.	3,877	1.00	3,877.00	
Acabado - esmaltado con cemento	Kgs.	442.90	1.20	531.48	
Cerramiento/ señalización	Glb.	200.00	1.00	200.00	
Desperdicios	%	19,272.64	5%	963.63	
TRANSPORTE					400.00
En general	Glb.	400.00	1.00	400.00	
MANO DE OBRA					6,495.46
Cuadrilla A - M2/dia	Jornal	714,500.33	110.0	6,495.46	
OTROS					491.44
Ensayos de laboratorio concreto y materiales	Glb.	166.67	1.0	166.67	
Vigilancia 5% m. de o.	%	6,495.46	5%	324.77	
COSTO DIRECTO					34,710.66
A.U.I.	%	30%			10,413.20
COSTO TOTAL					45,123.86

SARDINEL EN CONCRETO 2.500 PSI. H=0,60 m					UND. ML
Herramienta menor 5% m.o.	%	2,460.28	0.05	123.01	
Concreto simple 2.500 PSI.	M3	187,411.62	0.090	16,867.05	
Tabla ordinaria 0.24x2.6 m	Und.	3,605.00	0.25	901.25	
Puntales 2x2 cms	Und.	3,399.00	0.25	849.75	
Clavos de 2.1/2"	Lbs.	1,442.00	0.25	360.50	
Desperdicios 5%	%	7,655.00	0.05	382.75	
Acero de refuerzo PDR.60	Kgs.	4,058.58	0.50	2,029.29	21,513.60
Cuadrilla C - Ml/dia	Jornal	221,425.47	90.0	2,460.28	2,460.28
COSTO DIRECTO					23,974.00
A.U.I. 25%					5,993.50
COSTO TOTAL					29,967.50

EXCAVACION A MAQUINA, ALTURA PROMEDIO 3,00 MTS					UND: M3
Retroexcavadora	Día	720,000	190	3,789	3,797
Herramienta menor (5%MO)	%	159	5	8	
Cuadrilla D- Und./dia	Jornal	30,183	190	159	159
TOTAL COSTOS DIRECTOS					3,956
A.U.I.30%					1,186.88
COSTO TOTAL					5,143.16

EXCAVACION A MAQUINA, ALTURA 3.00-5.00 MTS					UND: M3
Retroexcavadora oruga	Día	720,000	150	4,800	4,820
Herramienta menor (1%MO)	%	400	5	20	
Comisión de topografía - M2/dia	Jornal	160,000	400	400	400
TOTAL COSTOS DIRECTOS					5,220
A.U.I.30%					1,566.00
COSTO TOTAL					6,786.00

EXCAVACION A MANO, ALTURA PROMEDIO 3,00 MTS					UND: M3
Herramienta menor (5%MO)	%	10,065	5	503	503
Cuadrilla C Und./dia	Jornal	221,425	22	10,065	10,065
TOTAL COSTOS DIRECTOS					10,568
A.U.I.30%					3,170.41
COSTO TOTAL					13,738.44

EXCAVACION A MANO, ALTURA 3,00 - 5,00 MTS					UND: M3
Herramienta menor (5%MO)	%	13,839	5	692	692
Cuadrilla C Und./dia	Jornal	221,425	16	13,839	13,839
TOTAL COSTOS DIRECTOS					14,531
A.U.I.30%					4,359.31
COSTO TOTAL					18,890.36

SUMINSITRO E INSTALACION TUBERIA DIAMETRO 6" (CEMENTO)					UND: ML
Herramienta menor (5%MO)	%	2,013.0	5.0	100.6	100.6
TUBO DE CEMENTO DE 6"	ML	13,275.0	1.2	15,664.5	18,365.2
MORTERO DE PEGA	M3	270,066.0	0.0	2,700.7	
Transporte	%	18,365.2	10.0	1,836.5	1,836.5
Cuadrilla C Und./dia	Jornal	221,425.5	110.0	2,013.0	2,013.0
TOTAL COSTOS DIRECTOS					22,315
A.U.I.30%					6,694.58
COSTO TOTAL					29,009.87

SUMINISTRO INSTALACION TUBERIA DIAMETRO 8" (CEMENTO)					UND: ML
Herramienta menor (5%MO)	%	2,214	5.00	111	111
TUBO DE CEMENTO DE 8"	ML	15,179	1.10	16,697	19,398
MORTERO DE PEGA	M3	270,066	0.01	2,701	
Transporte	%	19,398	10.00	1,940	1,940
Cuadrilla C Und./dia	Jornal	221,425	100.00	2,214	2,214
TOTAL COSTOS DIRECTOS					23,662
A.U.I.30%					7,098.69
COSTO TOTAL					30,760.97

SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DIAMETRO 10" (CEMENTO)					UND: ML
Herramienta menor (5%MO)	%	2,460	5.00	123	123
TUBO DE CEMENTO DE 10"	ML	17,117	1.00	17,117	20,358
MORTERO DE PEGA	M3	270,066	0.01	3,241	
Transporte	%	20,358	10.00	2,036	2,036
Cuadrilla C Und./dia	Jornal	221,425	90.00	2,460	2,460
TOTAL COSTOS DIRECTOS					24,977
A.U.I.30%					7,493.06
COSTO TOTAL					32,469.93

BOX COULVERT SECCION INTERNA 1.50 X 1.50 MTS. e=0.15					UND: ML
Herramienta menor (5%MO)	%	120,557	5	6,028	14,668
VIBRADOR PARA CONCRETO	HR	9,600	2.5	3840	
MEZCLADORA PARA CONCRETO	HR	12,000	2.5	4800	
CONCRETO 1:2:3 ESTRUCTURAL	M3	210,304	0.99	208,201	650,268
FORMALETA TRES USOS	GLB	120,467	1.00	120,467	
REFUERZO D=1/2" 60000 PSI	VARILLA	10,000	30.00	300,000	
ALAMBRE DE AMARRE	KG	7,200	3.00	21,600	
DESPERDICIO	%	650,268	4%	26,011	26,011
Transporte	%	650,268	0.10	65,027	65,027
Cuadrilla B Und./dia	Jornal	385,784	3.20	120,557	120,557
TOTAL COSTOS DIRECTOS					876,531
A.U.I.30%					262,959.24
COSTO TOTAL					1,139,490.06

CAJILLA EN LADRILLO SECCION 0.6 * 0.6 * 1.00 MTS TAPA EN CONCRETO					UND: UND
Herramienta menor (5%MO)	%	55,356	5.00	2,768	2,768
LADRILLO PEQUEÑO	UND	200	150.00	30,000	134,264
CONCRETO PARA TAPA 1:2:21/2	M3	237,354	0.04	9,494	
MORTERO PEGA Y PAÑETE 1:3	M3	270,066	0.30	81,020	
HIERRO D=3/8"	VARILLA	6,000	1.00	6,000	
TABLA	UND	7,000	1.00	7,000	
CLAVOS	LB	3,000	0.25	750	
Transporte	%	134,264	3.00	4,028	4,028
Cuadrilla C Und./dia	Jornal	221,425	4.00	55,356	55,356
TOTAL COSTOS DIRECTOS					196,416
A.U.I.30%					58,924.82
COSTO TOTAL					255,340.89

CAMARA DE INSPECCION ALTURA HASTA 2 MTS D=1,20 M					UND: UND	
Herramienta menor (5%MO)	%	147,617	5.00	7,381		7,381
LADRILLO PEQUEÑO	UND	200	#####	220,000		891,661
CONCRETO PARA PISO 1:2:21/2 Y ESM	M3	237,354	0.35	83,074		
CONCRETO PARA TAPA 1:2:21/2	M3	237,354	0.15	35,603		
MORTERO PEGA Y PAÑETE 1:3	M3	270,066	1.27	342,984		
HIERRO D=5/8"	UND	15,000	1.00	15,000		
TAPA COMPLETA	UND	195,000	1.00	195,000		
Transporte	%	891,661	3.00	26,750		26,750
Cuadrilla C Und./dia	Jornal	221,425	1.50	147,617		147,617
TOTAL COSTOS DIRECTOS						1,073,409
A.U.I.30%						322,022.56
COSTO TOTAL						1,395,431.10

CAMARA DE INSPECCION ALTURA ENTRE 4 Y 5 MTS					UND: UND	
Herramienta menor (5%MO)	%	221,425	5.00	11,071		11,071
LADRILLO PEQUEÑO	UND	200	2,300	460,000		1,447,036
CONCRETO PARA PISO 1:2:21/2 Y ESM	M3	237,354	0.35	83,074		
CONCRETO PARA TAPA 1:2:21/2	M3	237,354	0.15	35,603		
MORTERO PEGA Y PAÑETE 1:3	M3	270,066	2.41	650,859		
HIERRO D=5/8"	VARILLA	15,000	1.50	22,500		
TAPA COMPLETA	UND	195,000	1.00	195,000		
Transporte	%	1,447,036	3.00	43,411		43,411
Cuadrilla C Und./dia	Jornal	221,425	1.00	221,425		221,425
TOTAL COSTOS DIRECTOS						1,722,944
A.U.I.30%						516,883.18
COSTO TOTAL						2,239,827.13

CAMARA DE INSPECCION D = 2 m ALTURA ENTRE 5 y 6					UND: UND	
Herramienta menor (5%MO)	%	276,782	5.00	13,839		13,839
LADRILLO PEQUEÑO	UND	200	#####	540,000		1,629,661
CONCRETO PARA PISO 1:2:21/2 Y ESL	M3	237,354	0.35	83,074		
CONCRETO PARA TAPA 1:2:21/2	M3	237,354	0.15	35,603		
MORTERO PEGA Y PAÑETE 1:3	M3	270,066	2.79	753,484		
HIERRO D=5/8"	VARILLA	15,000	1.50	22,500		
TAPA COMPLETA	UND	195,000	1.00	195,000		
Transporte	%	1,629,661	3.00	48,890		48,890
Cuadrilla C Und./dia	Jornal	221,425	0.80	276,782		276,782
TOTAL COSTOS DIRECTOS						1,969,172
A.U.I.30%						590,751.59
COSTO TOTAL						2,559,923.56

RELLENO Y COMPACTACION MATERIAL DE PRESTAMO					UND: M3
RETROEXCAVADORA	DIA	720,000	240.00	3,000	5,723
VIBROCOMPACTADOR MANUAL	HR	9,600	15.00	640	
VOLQUETA	HR	31,250	15.00	2,083	
MATERIAL DE PRESTAMO	M3	1,000	1.25	1,250	1,250
Cuadrilla D Und./dia	Jornal	30,183	7.00	4,312	4,312
PRECIO UNITARIO TOTAL					11,285
A.U.I.30%					3,385.57
COSTO TOTAL					14,670.80

RELLENO MATERIAL TRITURADO					UND: M3
Herramienta menor (5%MO)	%	6,037	5.00	302	302
TRITURADO	M3	40,700	1.00	40,700	40,700
Transporte	%	14,671	5.00	734	734
Cuadrilla D Und./dia	Jornal	30,183	5.00	6,037	6,037
TOTAL COSTOS DIRECTOS					47,772
A.U.I.30%					14,331.61
COSTO TOTAL					62,103.63

RETIRO DE SOBRANTES					UND: M3
RETROEXCAVADORA	DIA	720,000	130.00	5,538	5,538
VOLQUETA	HR	31,250	10.00	3,125	3,125
TOTAL COSTOS DIRECTOS					8,663
A.U.I.30%					2,599.04
COSTO TOTAL					11,262.50

SUMIDERO EN CONCRETO 1,5 * 0,8 * 1,5					UND: UND
Herramienta menor (5%MO)	%	201,296	5.00	10,065	31,665
VIBRADOR PARA CONCRETO	HR	9,600	1.00	9,600	
MEZCLADORA PARA CONCRETO	HR	12,000	1.00	12,000	
Concreto 1.2:3	M3	210,304	0.97	203,995	699,695
Formaleta	UND	180,700	1.00	180,700	
Rejilla 1.00*.45	UND	165,000	1.00	165,000	
Tapa Sumidero	UND	150,000	1.00	150,000	
Transporte	%	699,695	3.00	20,991	20,991
Cuadrilla C Und./dia	Jornal	221,425	1.10	201,296	201,296
TOTAL COSTOS DIRECTOS					953,647
A.U.I.30%					286,094.03
COSTO TOTAL					1,239,740.81

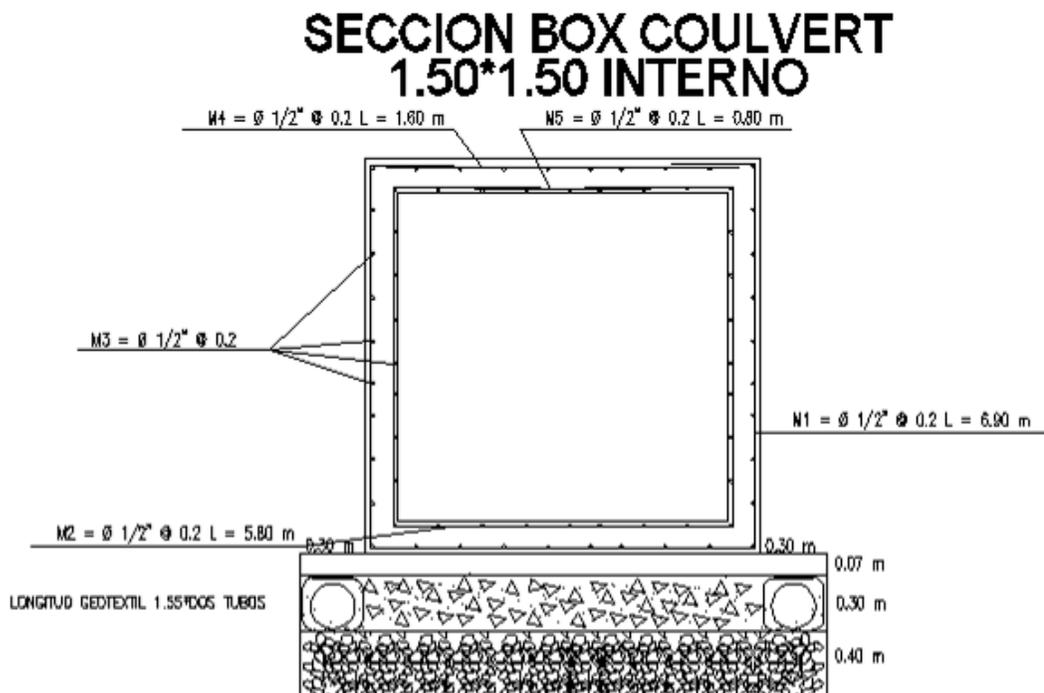
8. DISEÑOS COMPLEMENTARIOS

8.1 ESTRUCTURAS DE ALCANTARILLADO

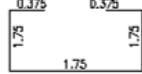
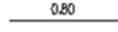
Dentro del proyecto se tendrá que contemplar la construcción de estructuras de alcantarillado combinado por medio de un box coulvert de 1.50x1.50 de sección, el cual como se ha mencionado no es objeto de diseño dentro del presente trabajo de aplicación el cual se enfoca principalmente en la estructura de pavimento.

El box coulvert se construirá en los tramos I y II en el eje del trazado de la vía.

A continuación se muestra el detalle del box proyectado:



CUADRO DE REFUERZOS POR METRO LINEAL
BOX COULVERT 1.50*1.50 INTERNO

Código de Refuerzo	Detalle	Espaciamiento (m)	Diámetro (In)	Cantidad	Longitud (m)	Longitud Total (m)
M1		.20	1/2"	5	6.00	30.00
M2		.20	1/2"	5	6.00	30.00
M3		.20	1/2"	68	1.15	78.20
M4		.20	1/2"	5	1.60	8.00
M5		.20	1/2"	5	0.80	4.00
TOTAL HIERRO DE Ø 1/2"						150.20
TOTAL CONCRETO						0.78 m3

9. CONCLUSIONES

En el diseño geométrico de la vía, existen particularidades en cuanto a que para la asignación de velocidad del tramo se realizó para la totalidad de la vía puesto que su longitud es de 950m, por tal motivo el proceso de asignación de velocidades específicas se realizó a dos curvas horizontales, tres verticales las cuales al final tuvieron una velocidad específica igual a la VTR.

Los análisis y teorías aplicados en el diseño de la estructura están supeditados a la veracidad de las variables obtenidas tanto de ensayos de campo, laboratorio, conteos vehiculares y la obtención de la resistencia de diseño del concreto en la obra ejecutada.

Para el diseño de pavimentos se han tenido en cuenta cargas importantes en el tránsito generado, asumiendo que el flujo vehicular tanto de tráfico pesado como liviano sería igual al que soporta la vía Rumichaca- Ipiales, en un porcentaje de 50% lo que implica una posible sobreestimación del mismo y que genera un factor de seguridad para cargas reales.

Esta estructura se diseña para un periodo de 20 años lo cual se considera en la estimación de la variable tránsito, esto no necesariamente significa que se garantice la integridad local o general de la estructura dentro de este periodo, ya que se debe tener certeza de alcanzar las especificaciones de materiales y resistencias de diseño; en la construcción y puesta en servicio.

Como se mencionó en la variable *capacidad de soporte*; para el diseño de pavimento se considera que la base de apoyo cumple con las condiciones de soporte, recomendaciones e intervenciones (mejoramiento de subrasante) mencionadas y se utiliza un valor que corresponde al CBR mínimo **ANTES** del mejoramiento, lo que hace suponer que los valores actuales deben ser necesariamente mayores.

Se realizó el chequeo de los diseños para un CBR de 6% para verificar con que CBR mínimo “teórico” la estructura *no falla*. Con razón de chequear el CBR actual de la base de apoyo se recomienda hacer un CBR de campo.

De igual forma, se hace un paréntesis en cuanto a que la conformación De terraplenes en la vía del tramo II, se realice con control técnico de la construcción en cuanto a materiales y tecnologías para que su comportamiento estructural no presente deformaciones importantes que conlleven al mal funcionamiento de la estructura de pavimento y la eventual falla del mismo producto de la consolidación generada por las cargas a través del tiempo.

Se hace referencia a que el POT del municipio de Ipiales, no cuenta con la clasificación de las vías de acuerdo a la zona de localización y sección de vía (como por ejemplo secciones tipo de vías locales, colectoras, principales), por tanto se realizó la proyección de la sección que debería tener la vía y proyectando una posible ampliación de la calzada en la zona de antejardines determinada en este trabajo de aplicación. Se debe destacar que el alineamiento tanto horizontal como vertical fue mejorado notablemente en el tramo I.

10. RECOMENDACIONES

Realizar un mantenimiento periódico a lo largo de la vía, lo cual debe incluir no solo arreglos en la estructura del pavimento, sino la ejecución de un mantenimiento preventivo el cual consiste en la limpieza de cunetas, obras transversales, zonas de laderas.

Realizar la demarcación y ubicación de señales verticales en los sitios que contribuye a la seguridad del usuario de acuerdo a lo está.

Contar con la construcción de obras de drenaje y alcantarillado como construcción de box couvert diseñado de tal manera que soporte cargas.

Conservar y mejorar el patrimonio vial del municipio de Ipiales, para tal fin se deben realizar estudios periódicos que permitan diagnosticar problemas en las diferentes vías, al igual que su posible solución, con base en lo anterior, este trabajo hace parte de un plan integral para la construcción de un macro proyecto de movilidad que incluye la construcción del Box Couvert bajo el trayecto de la vía, construcción del puente de paso a desnivel y pavimentación de vías de acceso a proyectos urbanísticos futuros.

BIBLIOGRAFÍA

AASHTO, Guía para el diseño de estructuras de pavimento, 1993

BERRY, Peter L. y REID, David. "Mecánica de suelos", McGraw Hill. Bogotá 1993.

CARDENAS Grisales, James. Diseño Geométrico de Vías. ECOE ediciones2000.

CORPOCALDAS, INVIAS. Manual para el control de la erosión. 1999

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO, Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público; Capítulo 6 Pavimentos De Concreto Hidráulico, IDU, Bogotá, 2005

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Manual de diseño de geométrico. 2008.

_____. Manual de diseño de pavimentos rígidos en vías con bajos volúmenes de tránsito. 1997

INVIAS, Manual de Diseño Geométrico de Vías, Bogotá 2008

LONDOÑO NARANJO, Cipriano y ALVAREZ PABÓN, Jorge Alberto. Manual de diseño de pavimentos de concreto: para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito / Cipriano Alberto Londoño Naranjo; Jorge Alberto Álvarez Pabón; Instituto Colombiano de Productores de Cemento. – Medellín: ICPC; 2008.

ANEXOS

Anexo A. Medio Magnético

Contiene:

- Ensayos de laboratorio
- Planos Diseño Horizontal Y Vertical
- Planos Secciones Transversales