

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE  
GUATEMALA**

**Facultad de Ciencias y Humanidades**

**DISEÑO GEOMÉTRICO Y DISEÑO DE  
PAVIMENTO FLEXIBLE**

**Mario Alejandro Salán Reyes**

**BIBLIOTECA  
DE LA  
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

**Guatemala  
2005**



**DISEÑO GEOMÉTRICO Y DISEÑO DE  
PAVIMENTO FLEXIBLE**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE  
GUATEMALA**

**Facultad de Ciencias y Humanidades**

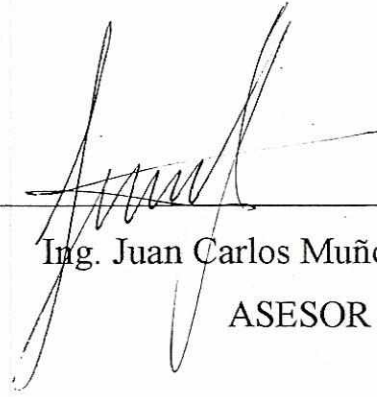
**DISEÑO GEOMÉTRICO Y DISEÑO DE  
PAVIMENTO FLEXIBLE**

**Trabajo de investigación presentado para optar el grado académico de  
Licenciado en Ingeniería Civil por Mario Alejandro Salán Reyes**

**Guatemala  
2005**

Vo.Bo. :

(f)



---

Ing. Juan Carlos Muñoz Espinoza

ASESOR

Tribunal:

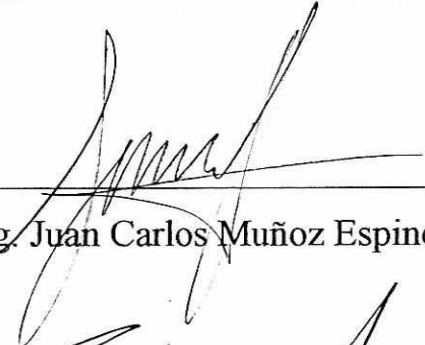
(f)



---

Ing. Franklin Matzdorf Monroy

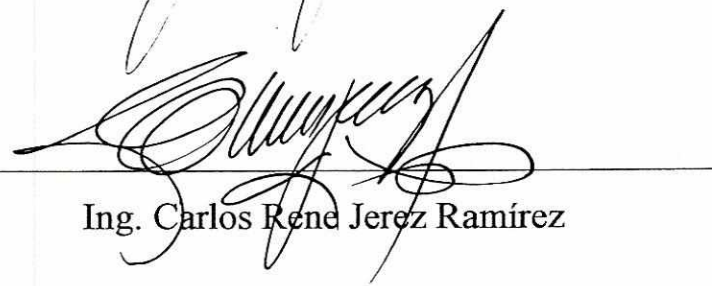
(f)



---

Ing. Juan Carlos Muñoz Espinoza

(f)



---

Ing. Carlos Rene Jerez Ramirez

Fecha de aprobación:

**31 de marzo de 2005**

## ***PREFACIO***

Este trabajo es una introducción a los conceptos básicos de diseño geométrico de una carretera, y se sugiere uno de muchos métodos para diseñar la estructura de ésta.

El trabajo de investigación se llevó a cabo en la carretera que une al municipio de Pajapita con el de Nuevo Progreso en el Departamento de San Marcos. Se tomó en cuenta trabajo de gabinete y de campo, así como la mayoría de parámetros y normas que se utilizan en este tipo de proyectos. Una de las limitaciones principales fue que la empresa no contaba con un laboratorio de ingeniería lo suficientemente moderno como para cubrir todos los chequeos que exigen las normas, problema muy común en Guatemala y que toma en cuenta el Libro Azul de la Dirección General de Caminos, planteando soluciones prácticas para resolverlo.

Agradezco la guía de mi asesor, Ing. Juan Carlos Muñoz Espinoza, así como a todas las personas de la empresa Proyectos de Obra Civil, S.A., por haberme dado su apoyo en la realización de este trabajo.

# ÍNDICE

	Página
PREFACIO.....	vii
ÍNDICE.....	viii
LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
CAPÍTULOS	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. JUSTIFICACIÓN.....	2
III. OBJETIVOS.....	3
IV. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MUNICIPIO DE NUEVO PROGRESO. SAN MARCOS.....	4
V. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROYECTO Y ASPECTOS GENERALES.....	8
VI. CRITERIOS Y ESPECIFICACIONES DE DISEÑO GEOMÉTRICO.....	12
VII. CONCEPTOS Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE.....	29
CONCLUSIONES.....	66
RECOMENDACIONES.....	67
BIBLIOGRAFÍA.....	68

## LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Determinación de puntos críticos del proyecto.....	10
2	Zona crítica de escorrentía superficial.....	11
3	Criterios de diseño.....	13
4	Clasificación y especificaciones de carreteras por la DGC.....	14
5	Sobre anchos en metros para diferentes anchos de calzada y velocidades en K.P.H..	15
6	Peralte recomendado, mínimas longitudes de transición y de deltas mínimos.....	16
7	Valores de K para curvas cóncavas.....	25
8	Valores de K para curvas convexas.....	25
9	Granulometría para materiales de base AASHTO T-27.....	36
10	Tipos de graduación para agregado de mezcla asfáltica AASHTO T-27.....	39
11	Tipo 1 agregados para primera aplicación.....	43
12	Tipo 2 agregados para segunda aplicación.....	43
13	Tipo 3 agregados para tercera aplicación.....	44
14	Tipo y grado de material de imprimación.....	45
15	Tipo y grado para material de liga.....	46
16	Valor de desviación estandar.....	47
17	Valores de serviciabilidad.....	49
18	Correlación para números estructurales.....	50
19	Valores para coeficientes de capa.....	51
20	Valores mínimos para espesores de capa.....	53
21	Tipo 3 agregados para tercera aplicación.....	44

## ***LISTA DE FIGURAS***

Figura		Página
1	Corrimientos en metros de la línea central para producir una curva espiralada.....	20
2	Curva vertical cóncava simétrica.....	23
3	Curva vertical convexa.....	23
4	Clasificación y especificaciones de carreteras por la DGC.....	14
5	Sobre anchos en metros para diferentes anchos de calzada y velocidades en K.P.H....	15
6	Peralte recomendado, mínimas longitudes de transición y de deltas mínimos.....	16

## ***RESUMEN***

Un camino es un medio de transporte y comunicación construido para resistir y mantener adecuadamente el paso de vehículos y son diseñadas adoptando criterios de resistencia, seguridad y uniformidad. Los caminos van, desde caminos de tierra, a carreteras de acceso limitado y supercarreteras.

Podemos afirmar que los caminos son la base de la infraestructura de un país, porque al tener acceso a una comunidad por medio de ellos, es más fácil para el estado proporcionar servicios básicos a la población.

La infraestructura vial incide mucho en la economía de nuestro país por el gran valor que tiene, pues al alto costo de construcción, mantenimiento y rehabilitación hay que adicionarle también costos que se derivan del mal estado de las vías, por lo que los nuevos ingenieros que se dediquen a esta rama de la profesión se enfrentaran a un reto muy importante como proporcionar estructuras de pavimentos eficaces con presupuestos cada vez más restringidos.

Conocer las características socioeconómicas, geográficas, climáticas, hidrológicas, topográficas y de tránsito que utiliza un camino en operación o que se habrá de construir, es vital para el proyecto de diseño geométrico y de la sección transversal del pavimento y se convierten en los elementos principales que se deben tomar en cuenta, pues el transporte seguro, económico y cómodo es el principal motivos de una obra vial.

Para nuestro país, es de vital importancia el transporte de personas y mercancías. Guatemala cuenta con una amplia red vial, de la cual forman parte caminos que al enfrentar los cambios y exigencias tecnológicas que implican el desarrollo humano, ya no cumplen con su objetivo, porque es necesario rediseñar dichos caminos para obtener una infraestructura vial capaz de enfrentar las necesidades que motivaron su construcción y uso.

Para la mayor parte del desarrollo de este trabajo, me apoyé en información técnica proporcionada por la empresa Proyectos de Obra Civil, S.A., que actualmente ejecuta el tramo carretero Pajapita-Nuevo Progreso-San Jerónimo en el Departamento de San Marcos, y con la cual tengo vínculos profesionales.

## ***I. INTRODUCCIÓN***

Este trabajo tiene la finalidad de exponer al lector el método más utilizado en el diseño de la línea central de una carretera y ejemplificar el diseño de una estructura vial de pavimento flexible. En todo el desarrollo de la investigación se obtienen parámetros de diseño aplicando los conceptos y métodos para obtenerlos, tomando en cuenta el gran número de factores que afectan la construcción de una carretera en Guatemala. Tales factores incluyen desde aspectos socioeconómicos hasta las características físicas, climáticas y ecológicas del lugar y el área de influencia del proyecto vial.

Los métodos utilizados fueron: Método de deflexiones para el diseño geométrico y método AASHTO para el diseño de la estructura del pavimento flexible. Los parámetros y coeficientes de diseño se obtuvieron de laboratorios y normas aplicables en el área de influencia. Además, se hizo un análisis de factibilidad de la carretera, para demostrarle al lector, la forma en que un proyecto de infraestructura vial estimula y propicia el desarrollo de las comunidades.

## *II. JUSTIFICACIÓN*

En la actualidad todas las obras de ingeniería civil son construidas para cumplir con las finalidades para las cuales han sido proyectadas. Por esto es que existen diferentes caminos y se clasifican según su utilidad, en: caminos de integración nacional, de tipo social, los que propician desarrollo y los caminos para zonas desarrolladas.

Una carretera es el medio ideal para comunicar distancias relativamente cortas (que van de 500Km o menos), es el medio más económico e inmediato desde el punto de vista población. Además una carretera no solo beneficia a las poblaciones que conecta, sino también a sus alrededores y a todas las personas que habitan en su trayecto.

Debido a su gran importancia, el planeamiento del proyecto de construcción de una carretera, requiere de un método adecuado, que garantice una óptima utilización de recursos para que la obra cumpla lo que todas las variables que influyen en el proyecto demandan y que de la misma forma, sean superadas las expectativas para las cuales fue diseñada.

### **III. OBJETIVOS**

- **Objetivo general:**

Sugerir un método correcto y ordenado para el diseño geométrico y estructural de un pavimento flexible, que incluya la mayoría de factores que influyen en el planeamiento, ejecución y posterior funcionamiento de un proyecto vial.

- **Objetivos específicos:**

- Identificar los factores que influyen en el planeamiento de una obra vial y en su posterior ejecución y utilización.
- Sugerir un método para el correcto diseño geométrico y de la sección transversal de una carretera.
- Sugerir un método para analizar los costos que implica la construcción de una obra vial.
- Exponer los principales problemas que presenta un proyecto vial.

#### **IV. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MUNICIPIO DE NUEVO PROGRESO, SAN MARCOS**

##### **A. Ubicación y localización de la comunidad**

El municipio de Nuevo Progreso está localizado al sur-oeste de la cabecera departamental de San Marcos, a una distancia aproximada de 70 kilómetros de la misma.

##### **COLINDANCIAS:**

NORTE	San Pedro Sacatepéquez (San Marcos).
SUR	Coatepeque (Quetzaltenango) y Pajapita (San Marcos).
ESTE	La Reforma (San Marcos).
OESTE	El Tumbador (San Marcos). <sup>1</sup>

##### **B. Extensión territorial de la comunidad**

La extensión territorial del municipio es de aproximadamente 140 kilómetros cuadrados a una altura de 660 metros SNM.<sup>2</sup>

##### **C. Perfil histórico de la comunidad**

Por acuerdo gubernativo, la población de El Progreso cambió su nombre por el de Nuevo Progreso y el acuerdo de 22 de mayo de 1899 dispuso que se formara el municipio de Nuevo Progreso, deslindándose del entonces municipio de San Antonio.

---

<sup>1</sup>Diccionario Geográfico de Guatemala, Tomo 1, Dirección Gral de Cartografía, Guatemala, C.A., 1961.

<sup>2</sup> Carta Agrológica de Reconocimiento, Departamento de San Marcos, República de Guatemala, 1982.

## D. Vías de acceso

La Ruta Departamental, San Marcos No.4, de Pajapita a la cabecera municipal Nuevo Progreso, tiene aproximadamente 18 kilómetros y 1 ½ kilómetros al Nor-Este de esta cabecera entronca con la Ruta Nacional No.13 llamada Justo Rufino Barrios, a la altura de la finca El Decoro. Sobre dicha Ruta Nacional, por un lado hay unos 20 kilómetros a la cabecera municipal El Tumbador, San Marcos y, por el otro, unos 28 kilómetros a la cabecera municipal de Coatepeque, Quetzaltenango. La cabecera Nuevo Progreso cuenta con caminos de herradura y veredas que unen a sus poblados entre sí y con los municipios vecinos.<sup>1</sup>

## E. Recursos naturales

1. **Hidrografía.** El área del municipio de Nuevo Progreso se encuentra enmarcado en las estribaciones bajas del Declive del Pacífico. Por esta causa, las alturas varían mucho, y por consiguiente la topografía, la cual es sumamente escarpada. Aproximadamente un 60% del territorio posee pendientes superiores al 40%. El municipio cuenta con los siguientes accidentes hidrográficos: Río Cainá, río Ramón, río Najapa, río Ixcahuín, río San Luis, río Naranjo, río Pajapa, río Zarco, río Belén, río Ixtal, río Ixtalito, río La Unión, río Entre Ríos, río Veremos<sup>2</sup>. Es importante mencionar que la mayoría de estas fuentes del valioso líquido son aprovechables para abastecer a los habitantes de sus alrededores.

2. **Flora.** El área ecológica corresponde a la zona de vida Bosque Subtropical Extra-húmedo. El principal cultivo es el café y posee bosques con árboles de las siguientes especies: Eucalipto, aliso, palo blanco y cedro. Existen también arbustos como gigante y piñón.

---

<sup>1</sup> Diccionario Geográfico de Guatemala, Tomo 1, Dirección Gral de Cartografía, Guatemala, C.A., 1961.

<sup>2</sup> Diccionario Geográfico de Guatemala, Tomo 1, Dirección Gral de Cartografía, Guatemala, C.A., 1961.

**3. La fauna.** El municipio cuenta con la siguiente fauna: conejo, gato demonte, armadillo, ratón, tuza, tacuazín, loro, gavián y ardilla. Existen también una variedad de aves como Tuc tuc y azulejo.

## **F. Clima**

El clima es templado, con una temperatura media de 24° C, y una precipitación anual media de 4436 mms/año, distribuidos normalmente de mayo a noviembre; sin embargo, los únicos meses casi siempre secos son febrero y marzo. La humedad relativa promedio anual es de 80%.

## **G. Demografía**

**1. Población.** Según los datos del Censo General de la Población, el municipio, tiene 10,766 habitantes (3,415 ladinos y 7,351 indígenas), correspondiendo a la cabecera 711 y el resto al área rural.

## **H. Economía**

**1. Ingreso económico familiar y actividades económicas.** Aproximadamente las familias en la aldea obtienen un ingreso mensual de Q650.00 producto de las actividades agrícolas, comercio, jornales, un día de trabajo en la agricultura se paga a Q 25.00 y se trabaja de las 7:00 de la mañana a 2:00 de la tarde.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Informe diagnóstico y plan integral participativo/ Cooperación Española-Dic-99'

## 2. Servicios

a. **Transporte.** La comunidad cuenta con transporte de buses y vehículos de palangana, siendo el segundo el medio más utilizado debido a las condiciones de la vía los cuales cobran por transporte de pasajeros de la cabecera municipal a Pajapita la cantidad de Q 1.00 por pasaje y Q 1.00 por transporte de cualquier mercadería equivalente a 100 libras de peso.<sup>4</sup>

b. **Energía eléctrica.** La comunidad cuenta con energía eléctrica distribuida por DEOCSA.

c. **Teléfono.** La comunidad cuenta con varios teléfonos comunitarios que prestan el servicio de llamadas locales e internacionales.

---

<sup>4</sup> Informe diagnóstico y plan integral participativo/ Cooperación Española-Dic-99'

## **V. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROYECTO Y ASPECTOS GENERALES**

### **A. Características actuales de la ruta**

La vía de acceso hacia el municipio de nuevo progreso, inicia en el kilómetro 240, carretera que conduce de Coatepeque a la frontera Tecún Humán con México, y tiene una longitud aproximada de 18 kilómetros. Cuenta con un campamento de la dirección general de caminos, que actualmente se encuentra deshabilitado y tiene un mantenimiento anual por parte de la ya mencionada dependencia. Su ancho promedio es de 4.95 metros variando de 6.4 metros hasta 3.5 metros. A lo largo de su recorrido predomina el tipo de suelo arcilla.<sup>1</sup>

Aproximadamente el 90% de los terrenos adyacentes están dedicados a la agricultura y el resto a la ganadería. Las viviendas del lugar están básicamente ubicadas en la orilla de la carretera, sin haberse respetado y exigido el derecho de vía correspondiente.

Desde su apertura, se han visto varias ampliaciones y cuenta con una capa de balasto bastante deteriorada de aproximadamente 11 centímetros, el material utilizado para este fin ha sido transportado desde plantas de trituración, ya que no se encuentran bancos de balasto próximos a ésta.

**1. Topografía de la vía de acceso.** Las características generales de la vía de acceso al municipio de Nuevo Progreso son: Predominantemente tipo montañoso con partes onduladas y un buen tramo considerado plano en los primeros 4 kilómetros. Presenta curvas horizontales y verticales que no cumplen con especificaciones de visibilidad y seguridad, lo cual se tratará de mejorar según lo permitan las condiciones.

---

<sup>1</sup> De visitas realizadas a la carretera por parte del autor.

Es de suma importancia mejorar el diseño geométrico de la ruta pues los vecinos sufren varios accidentes anualmente por carecer de visibilidad en las curvas. Además, la vía presenta mala conducción de la escorrentía superficial provocando erosión en varios puntos de su recorrido y dificultando el acceso en época de invierno, también existen anchos variables que hacen peligroso el tránsito.

#### **B. Ubicación y evaluación de los bancos de material a explotar para sub-base**

El material que será utilizado para sub-base se encuentra localizado en el kilómetro 4, carretera que conduce del cruce El Castaño hacia Tilapa, es un banco de grava a las orillas del río El Naranjo. El material deberá ser transportado hacia una trituradora para obtener un material clasificado y que cumpla con las normas establecidas por el diseño. Por la cercanía del banco a la planta de trituración, se recomienda su explotación pues esto tendría un impacto en el costo final del proyecto haciéndolo viable y económico.

#### **C. Determinación de puntos críticos para el diseño horizontal de la sub-rasante**

En la sub-rasante actual se determinaron como puntos críticos todos aquellos tramos que no cumplen con especificaciones técnicas requeridas para carreteras tipo "F". De la altimetría y planimetría se determinó como puntos críticos los señalados en la tabla No.1, en la que se describe la estación donde ocurre una complicación para el diseño geométrico de la carretera y se trata de ajustar el diseño a la sub-rasante actual para evitar en lo posible un movimiento de tierras demasiado grande con lo que encarecería el costo total del proyecto. Finalmente se trata de realizar un diseño factible, cómodo, económico seguro y que cumpla las características mencionadas anteriormente.

**TABLA No. 1**  
**DETERMINACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS DEL PROYECTO**

TRAMO		% de Pendiente	Cambio de ruta	Observación
De EST	A EST			
0+720	1+020	1.42		Relleno estructural
0+860	0+900	0.80	X	Estructura de nuevo diseño, Puente las Brisas
2+520	2+760	1.79		Estructura de nuevo diseño, Puente Río Cangrejo
3+020	3+060	1.29		Desvío Nuevo Progreso-San Jerónimo
6+360	6+660	1.21	X	Cambio drástico de ruta
10+350	10+400	7.00		Muro de retención
11+240	11+560	9.00	X	Corte de terreno
12+100	12+120	5.00		Desvío a calle San Juan
12+800	13+000	3.47		Corte de terreno
16+000	16+910	6.72		Área urbana

Fuente: El autor

#### **D. Evaluación del drenaje actual del proyecto**

En la ruta actual del proyecto cuenta con 52 unidades de drenaje transversal con una separación máxima de 920 metros con tubería de concreto de un diámetro de 20 pulgadas y una longitud superficial promedio de 6 metros, el drenaje cuenta con cajas recolectoras de escorrentía superficial pero no cuentan con cabezal de salida ni dissipador de energía, por lo cual debe considerarse en el diseño, así como su reubicación dentro de la ruta para optimizar su funcionamiento.

#### **E. Determinación de puntos críticos de escorrentía superficial**

A lo largo del proyecto existen zonas críticas de escorrentía superficial que no han recibido la atención necesaria para su manejo y conducción, lo cual ha ocasionado la erosión del suelo especialmente en la época lluviosa causando el estrechamiento de la vía y haciéndola peligrosa al paso vehicular, el resumen de estas zonas en la tabla No. 2.2.

**TABLA No. 2**  
**ZONA CRÍTICA DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL**

No	Estación	Observación
1	2+520	Puente rudimentario
2	10+350	Obra de arte
3	11+250	Ninguna obra

Fuente: El autor

## **F. Conteo de tráfico promedio diario**

La clasificación de la vía se realiza respecto al tráfico promedio diario de vehículos en ambos sentidos TPD (tráfico promedio diario o tráfico que se espera circule por la vía de acceso), y el TPDP (tráfico promedio diario pesado) se representa como un porcentaje del TPD. Para este proyecto, no se realizó un estudio de tráfico.

**1. Clasificación de vehículos según ejes.** En el proyecto se utilizó la clasificación de vehículos según ejes:

**a. AUTOS**

- 1) Automóvil tipo sedan
- 2) Campero (jeep)
- 3) Pick-ups
- 4) Paneles

**b. BUSES**

- 1) Buses colectivos
- 2) Microbuses

**c. CAMIONES**

- 1) Ejes, pequeños 5 toneladas
- 2) Ejes, grandes 10 toneladas
- 3) Ejes, semi-remolques

## **VI. CRITERIOS Y ESPECIFICACIONES DE DISEÑO GEOMÉTRICO**

### **A. Parámetros de diseño geométrico**

En este capítulo se enumeran las normas de la **Dirección General de Caminos para carreteras tipo "F"**<sup>1</sup> la cual será la carretera a diseñar pues es este tipo de carretera la que mejor se ajusta a las condiciones técnicas, económicas y necesidades de la comunidad.

Según los criterios de diseño de la Dirección General de Caminos pendientes del 16% son permisibles en tramos de 150 a 200 metros como máximo para una circulación normal de los vehículos, en la tabla No. 3.1 se describe con detalle las especificaciones deseadas para las carreteras tipo "F".

El diseño final de la línea central de la carretera así como la de la sub-rasante se ajusta en lo posible a la carretera existente con fines de evitar volúmenes exagerados de corte, rellenos y movimientos de tierras los cuales tendrían repercusión en el costó total del proyecto, la nueva ruta por tanto será cómoda y segura.

En la tabla No. 4 de la Dirección General de Caminos se encontrará la información general para la clasificación de carreteras y especificaciones de diseño.

---

<sup>1</sup> Publicación especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes DGC-2,001

**TABLA No. 3**  
**CRITERIOS DE DISEÑO**

Tipo de terreno	Montañoso
Transito promedio diario anual	39,177
Velocidad de diseño	30 Km/hora
Ancho de calzada	5.50
<b>ANCHO DE TERRACERÍA</b>	
a. Corte	9.5 metros
b. Relleno	8.5 metros
Derecho de vía	15 metros
Radio mínimo	18 metros
<b>DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA</b>	
a. Mínima	20 metros
b. Recomendada	25 metros
<b>DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PASO</b>	
a. Mínima	50 metros
b. Recomendada	100 metros
<b>PENDIENTES</b>	
a. Máxima posible	16%
b. Máxima recomendada	14%

Fuente. El autor

## **B. Diseño horizontal**

**1. Topografía.** En este trabajo se realizó un levantamiento topográfico preliminar que incluye tránsito, niveles y línea central preliminar misma que es replanteada en el campo para diseñar y trazar la línea central de localización del proyecto final.

**TABLA No. 4**  
**CLASIFICACIÓN Y ESPECIFICACIONES DE CARRETERAS POR LA DGC**

TPD	CARRETERA	Velocidad de diseño K.P.H.	Ancho de calzada m.	Ancho de terracería		Derecho de vía m.	Radio mínimo m.	Pendiente máxima	Distancia de visib. parada mínima		DISTANCIA VISIB. PASO	
				Corte m.	Relleno m.				Mínima	Recom:	Mínima	Recom.
3000 A 5000	<b>TIPO "A"</b>		2 * 7.20	25	24	50						
	Regiones											
	Llanas	100					375	3	160	200	700	750
	Onduladas	80					225	4	110	150	520	550
1500 A 3000	Montañosa	60					110	5	70	100	350	400
	<b>TIPO "B"</b>		7.20	13	12	25						
	Regiones											
	Llanas	80					225	6	110	150	520	550
900 A 1500	Onduladas	60					110	7	70	100	350	400
	Montañosa	40					47	8	40	50	180	200
	<b>TIPO "C"</b>		6.50	12	11	25						
	Regiones											
500 A 900	Llanas	80					225	6	110	150	520	550
	Onduladas	60					110	7	70	100	350	400
	Montañosa	40					47	8	40	50	180	200
	<b>TIPO "D"</b>		6.00	11	10	25						
100 A 500	Regiones											
	Llanas	50					225	4	110	150	520	550
	Onduladas	40					110	6	70	100	350	400
	Montañosa	30					47	8	40	50	180	200
10 A 100	<b>TIPO "E"</b>		5.50	9.50	8.50	25						
	Regiones											
	Llanas	50					75	8	55	70	260	300
	Onduladas	40					47	9	40	50	180	200
10 A 100	Montañosa	30					30	10	30	35	110	150
	<b>TIPO "F"</b>		5.50	9.50	8.50	15						
	Regiones											
	Llanas	40					47	10	40	50	180	200
100	Onduladas	30					30	12	30	35	110	150
	Montañosa	20					18	14	20	25	50	100

Fuente: Augusto Rene Pérez Méndez. Tesis de graduación USAC, 1989. 122 pp.

**TABLA No. 5**  
**SOBRE ANCHOS EN METROS PARA DIFERENTES ANCHOS DE CALZADA Y VELOCIDADES EN K.P.H.**

ANCHO CALZADA VELOCIDADES Km./h	5.50 Típica "E"					6.00 TÍPICA "D"					6.50 TÍPICA "C"					TÍPICA "B"									
	30	40	50	40	50	60	70	80	90	100	110	120	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	
1°	0.60	0.60	0.60	AN	AN	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	AN	AN	AN	AN
2°	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	AN	AN	AN	AN
3°	0.60	0.60	0.70	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.70	0.70		0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	AN	AN	AN	AN
4°	0.60	0.70	0.70	0.60	0.60	0.60	0.60	0.70	0.70	0.80			0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	AN	AN	AN	AN
5°	0.70	0.70	0.80	0.60	0.60	0.60	0.70	0.80	0.90				0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	AN	AN	AN	AN
6°	0.80	0.80	0.90	0.70	0.70	0.70	0.80	0.90					0.60	0.60	0.60	0.60	0.70			0.60	0.60	AN	AN	AN	AN
7°	0.80	0.90	1.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.90					0.60	0.60	0.60	0.60	0.70			0.60	0.60	AN	AN	AN	AN
8°	0.90	1.00	1.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.90					0.60	0.60	0.60	0.60	0.70			0.60	0.60	AN	AN	AN	AN
9°	0.90	1.00	1.10	0.90	0.90	0.90	0.90	1.00					0.60	0.60	0.60	0.60	0.70			0.60	0.60	AN	AN	AN	AN
10°	1.00	1.10	1.20	0.90	1.00	1.00	1.10						0.70	0.70	0.80					0.60	0.60	AN	AN	AN	
11°	1.00	1.10	1.20	1.00	1.00	1.00							0.70	0.80						0.60	0.60	AN	AN	AN	
12°	1.10	1.20	1.30	1.00	1.10								0.80	0.90						0.60	0.60	AN	AN	AN	
13°	1.10	1.20	1.30	1.10	1.10								0.80	0.90						0.60	0.60	AN	AN	AN	
14°	1.20	1.30	1.40	1.20	1.20								0.90	1.00						0.60	0.60	AN	AN	AN	
15°	1.20	1.40	1.50	1.20	1.30								1.00	1.10						0.60	0.60	AN	AN	AN	
16°	1.30	1.40		1.30									1.00							0.60	0.60	AN	AN	AN	
17°	1.30	1.50		1.30									1.10							0.60	0.60	AN	AN	AN	
18°	1.40	1.50		1.40									1.10							0.60	0.60	AN	AN	AN	
19°	1.40	1.60		1.40									1.20							0.60	0.60	AN	AN	AN	
20°	1.50	1.60		1.50									1.20							0.60	0.60	AN	AN	AN	
21°	1.50	1.70		1.50									1.30							0.60	0.60	AN	AN	AN	
22°	1.60	1.70		1.60									1.30							0.60	0.60	AN	AN	AN	
23°	1.60	1.80		1.60									1.40							0.60	0.60	AN	AN	AN	
24°	1.70	1.80		1.60									1.40							0.60	0.60	AN	AN	AN	
25°	1.70			1.60									1.40							0.60	0.60	AN	AN	AN	
26°	1.80			1.60									1.40							0.60	0.60	AN	AN	AN	
27°	1.80			1.60																0.60	0.60	AN	AN	AN	
28°	1.90			1.60																0.60	0.60	AN	AN	AN	
29°	1.90			1.60																0.60	0.60	AN	AN	AN	
30°	2.00			1.60																0.60	0.60	AN	AN	AN	
31°	2.00			1.60																0.60	0.60	AN	AN	AN	
32°	2.10			1.60																0.60	0.60	AN	AN	AN	
33°	2.10			1.60																0.60	0.60	AN	AN	AN	
34°	2.20			1.70																0.60	0.60	AN	AN	AN	
35°	2.20			1.70																0.60	0.60	AN	AN	AN	
36°	2.30			1.80																0.60	0.60	AN	AN	AN	
37°	2.30			1.80																0.60	0.60	AN	AN	AN	
38°	2.40			1.80																0.60	0.60	AN	AN	AN	

- 1.- Los sobreeschancos fueron calculados de acuerdo a especificaciones de la AASHO
- 2.- El sobreeschanco se repartirá proporcionalmente a la longitud de la espiral usada, debiendo ser el PC o PT el punto medio de dicha espiral
- 3.- Sobre las líneas horizontales los valores calculados fueron menores a 0.60 m. Pero mayores que 0.30 m. En caso de ser menores de 0.30 m, no se usará sobreeschanco, lo cual se indica como AN
- 4.- Para ancho de calzada de 7.20 m, y velocidades mayores de 70 Km/h, las curvas serán sobre anchadas.

**TABLA No. 6**  
**PERALTE RECOMENDADO, MÍNIMAS LONGITUDES DE TRANSICIÓN Y DELTAS MÍNIMOS**

G	RADIO	30 Km/h			40 Km/h			50 Km/h			60 Km/h			70 Km/h			80 Km/h			90 Km/h			100 Km/h			110 Km/h			120 Km/h		
		Db	e%	Ls	Db	e%	Ls	Db	e%	Ls	Db	e%	Ls	Db	e%	Ls	Db	e%	Ls	Db	e%	Ls	Db	e%	Ls	Db	e%	Ls			
1°	1145.92	BN	17	0°51'	BN	23	1°09'	BN	28	1°24'	BN	34	1°42'	BN	39	1°57'	BN	45	2°15'	BN	50	2°30'	BN	56	2°48'	BN	62	3°06'	BN	67	3°21'
2°	572.96	BN	17	1°42'	BN	23	2°18'	BN	29	2°48'	BN	34	3°24'	BN	39	3°54'	BN	45	4°30'	BN	50	5°06'	BN	56	5°42'	BN	62	6°18'	BN	67	6°54'
3°	381.97	BN	17	2°33'	BN	23	3°27'	BN	29	4°12'	BN	34	5°06'	BN	40	6°00'	BN	46	6°54'	BN	52	7°48'	BN	58	8°42'	BN	64	9°36'	BN	70	10°30'
4°	286.48	BN	17	3°24'	BN	25	4°36'	BN	31	5°36'	BN	38	6°36'	BN	45	7°36'	BN	52	8°36'	BN	59	9°36'	BN	66	10°36'	BN	73	11°36'	BN	80	12°36'
5°	229.18	BN	17	4°15'	BN	31	5°45'	BN	38	7°00'	BN	46	8°30'	BN	54	9°45'	BN	62	10°54'	BN	70	12°00'	BN	78	13°00'	BN	86	14°00'	BN	94	15°00'
6°	190.99	BN	21	5°06'	BN	37	6°54'	BN	45	8°36'	BN	54	10°00'	BN	63	11°36'	BN	72	12°54'	BN	81	14°12'	BN	90	15°30'	BN	99	16°48'	BN	108	18°00'
7°	163.70	BN	24	5°57'	BN	43	8°24'	BN	52	9°54'	BN	62	11°24'	BN	72	12°54'	BN	82	14°24'	BN	92	15°54'	BN	102	16°54'	BN	112	17°54'	BN	122	18°54'
8°	143.24	BN	28	6°48'	BN	49	10°00'	BN	59	11°36'	BN	70	12°54'	BN	81	14°54'	BN	92	16°24'	BN	103	17°54'	BN	114	19°12'	BN	125	20°12'	BN	136	21°12'
9°	127.32	BN	31	7°39'	BN	55	12°36'	BN	66	14°36'	BN	78	16°36'	BN	90	18°36'	BN	102	20°36'	BN	114	22°36'	BN	126	24°36'	BN	138	26°36'	BN	150	28°36'
10°	114.59	BN	35	8°30'	BN	61	15°30'	BN	74	18°30'	BN	88	21°30'	BN	102	24°30'	BN	116	28°30'	BN	130	32°30'	BN	144	36°30'	BN	158	40°30'	BN	172	44°30'
11°	104.17	BN	38	9°21'	BN	66	18°09'	BN	81	21°09'	BN	97	24°09'	BN	113	27°09'	BN	129	30°09'	BN	145	33°09'	BN	161	36°09'	BN	177	39°09'	BN	193	42°09'
12°	95.49	BN	42	11°24'	BN	71	21°36'	BN	87	24°36'	BN	104	27°36'	BN	122	30°36'	BN	140	33°36'	BN	158	36°36'	BN	176	39°36'	BN	194	42°36'	BN	212	45°36'
13°	88.15	BN	45	13°00'	BN	76	24°43'	BN	94	27°43'	BN	112	30°43'	BN	131	33°43'	BN	150	36°43'	BN	169	39°43'	BN	188	42°43'	BN	207	45°43'	BN	226	48°43'
14°	81.85	BN	48	15°24'	BN	81	28°24'	BN	100	31°24'	BN	119	34°24'	BN	139	37°24'	BN	159	40°24'	BN	179	43°24'	BN	199	46°24'	BN	219	49°24'	BN	239	52°24'
15°	76.39	BN	52	17°15'	BN	86	31°30'	BN	106	34°30'	BN	126	37°30'	BN	146	40°30'	BN	166	43°30'	BN	186	46°30'	BN	206	49°30'	BN	226	52°30'	BN	246	55°30'
16°	71.82	BN	55	20°00'	BN	91	34°36'	BN	111	37°36'	BN	131	40°36'	BN	151	43°36'	BN	171	46°36'	BN	191	49°36'	BN	211	52°36'	BN	231	55°36'	BN	251	58°36'
17°	67.41	BN	58	22°06'	BN	96	38°15'	BN	116	41°15'	BN	136	44°15'	BN	156	47°15'	BN	176	50°15'	BN	196	53°15'	BN	216	56°15'	BN	236	59°15'	BN	256	62°15'
18°	63.66	BN	61	24°18'	BN	101	42°18'	BN	121	45°18'	BN	141	48°18'	BN	161	51°18'	BN	181	54°18'	BN	201	57°18'	BN	221	60°18'	BN	241	63°18'	BN	261	66°18'
19°	60.31	BN	64	27°33'	BN	106	45°36'	BN	126	48°36'	BN	146	51°36'	BN	166	54°36'	BN	186	57°36'	BN	206	60°36'	BN	226	63°36'	BN	246	66°36'	BN	266	69°36'
20°	57.30	BN	67	30°00'	BN	111	49°00'	BN	131	52°00'	BN	151	55°00'	BN	171	58°00'	BN	191	61°00'	BN	211	64°00'	BN	231	67°00'	BN	251	70°00'	BN	271	73°00'
21°	54.57	BN	70	33°36'	BN	116	52°36'	BN	136	55°36'	BN	156	58°36'	BN	176	61°36'	BN	196	64°36'	BN	216	67°36'	BN	236	70°36'	BN	256	73°36'	BN	276	76°36'
22°	52.09	BN	72	36°12'	BN	121	55°12'	BN	141	58°12'	BN	161	61°12'	BN	181	64°12'	BN	201	67°12'	BN	221	70°12'	BN	241	73°12'	BN	261	76°12'	BN	281	79°12'
23°	49.82	BN	75	39°06'	BN	126	58°06'	BN	146	61°06'	BN	166	64°06'	BN	186	67°06'	BN	206	70°06'	BN	226	73°06'	BN	246	76°06'	BN	266	79°06'	BN	286	82°06'
24°	47.75	BN	78	42°00'	BN	131	61°00'	BN	151	64°00'	BN	171	67°00'	BN	191	70°00'	BN	211	73°00'	BN	231	76°00'	BN	251	79°00'	BN	271	82°00'	BN	291	85°00'
25°	45.84	BN	79	45°00'	BN	136	64°00'	BN	156	67°00'	BN	176	70°00'	BN	196	73°00'	BN	216	76°00'	BN	236	79°00'	BN	256	82°00'	BN	276	85°00'	BN	296	88°00'
26°	44.07	BN	81	48°06'	BN	141	67°06'	BN	161	70°06'	BN	181	73°06'	BN	201	76°06'	BN	221	79°06'	BN	241	82°06'	BN	261	85°06'	BN	281	88°06'	BN	301	91°06'
27°	42.44	BN	83	49°57'	BN	146	69°57'	BN	166	72°57'	BN	186	75°57'	BN	206	78°57'	BN	226	81°57'	BN	246	84°57'	BN	266	87°57'	BN	286	90°57'	BN	306	93°57'
28°	40.93	BN	85	53°12'	BN	151	72°12'	BN	171	75°12'	BN	191	78°12'	BN	211	81°12'	BN	231	84°12'	BN	251	87°12'	BN	271	90°12'	BN	291	93°12'	BN	311	96°12'
29°	39.51	BN	87	56°33'	BN	156	75°33'	BN	176	78°33'	BN	196	81°33'	BN	216	84°33'	BN	236	87°33'	BN	256	90°33'	BN	276	93°33'	BN	296	96°33'	BN	316	99°33'
30°	38.20	BN	89	60°00'	BN	161	78°00'	BN	181	81°00'	BN	201	84°00'	BN	221	87°00'	BN	241	90°00'	BN	261	93°00'	BN	281	96°00'	BN	301	99°00'	BN	321	102°00'
31°	36.97	BN	91	63°33'	BN	166	81°33'	BN	186	84°33'	BN	206	87°33'	BN	226	90°33'	BN	246	93°33'	BN	266	96°33'	BN	286	99°33'	BN	306	102°33'	BN	326	105°33'
32°	35.81	BN	92	65°36'	BN	171	83°36'	BN	191	86°36'	BN	211	89°36'	BN	231	92°36'	BN	251	95°36'	BN	271	98°36'	BN	291	101°36'	BN	311	104°36'	BN	331	107°36'
33°	34.72	BN	93	69°18'	BN	176	86°18'	BN	196	89°18'	BN	216	92°18'	BN	236	95°18'	BN	256	98°18'	BN	276	101°18'	BN	296	104°18'	BN	316	107°18'	BN	336	110°18'
34°	33.70	BN	94	71°24'	BN	181	88°24'	BN	201	91°24'	BN	221	94°24'	BN	241	97°24'	BN	261	100°24'	BN	281	103°24'	BN	301	106°24'	BN	321	109°24'	BN	341	112°24'
35°	32.74	BN	95	75°15'	BN	186	91°15'	BN	206	94°15'	BN	226	97°15'	BN	246	100°15'	BN	266	103°15'	BN	286	106°15'	BN	306	109°15'	BN	326	112°15'	BN	346	115°15'
36°	31.83	BN	96	77°24'	BN	191	93°24'	BN	211	96°24'	BN	231	99°24'	BN	251	102°24'	BN	271	105°24'	BN	291	108°24'	BN	311	111°24'	BN	331	114°24'	BN	351	117°24'
37°	30.97	BN	97	81°24'	BN	196	96°24'	BN	216	99°24'	BN	236	102°24'	BN	256	105°24'	BN	276	108°24'	BN	296	111°24'	BN	316	114°24'	BN	336	117°24'	BN	356	120°24'
38°	30.16	BN	98	83°36'	BN	201	98°36'	BN	221	101°36'	BN	241	104°36'	BN	261	107°36'	BN	281	110°36'	BN	301	113°36'	BN	321	116°36'	BN	341	119°36'	BN	361	122°36'

- 1.- El peralte fue calculado según el método "4" recomendado por la AASHO
- 2.- El peralte se repartirá proporcionalmente a la longitud de la espiral usada, debiendo ser el PC o PT el punto medio de dicha espiral.
- 3.- En las curvas con peralte calculado menor que la pendiente del bombeo, se recomienda usar como peralte la pendiente del bombeo.
- 4.- El paso del bombeo al 0% en el principio o el final de la espiral TS o ST debe hacerse proporcionalmente a la distancia Db, esta distancia se calcula en base al bombeo, el ancho del asfalto y la mitad de la pendiente de desarrollo del peralte, sin embargo se recomienda usar las que aparecen en este cuadro que son las correspondientes a un bombeo de 3%, un ancho asfáltico de 7.20 m y la mitad de las pendientes indicadas. La distancia Db es la distancia en la que se desarrolla un peralte con la pendiente de bombeo, partiendo de la sección con bombeo normal.
- 5.- Las longitudes de espiral fueron calculadas según las pendientes de desarrollo del peralte indicadas arriba recomendadas por la AASHO
- 6.- Los mínimos valores de longitud de espiral son los correspondientes a las distancias recorridas en 2 segundos a la velocidad de diseño

A POLICY ON GEOMETRIC DESIGN OF RURAL HIGHWAYS, AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY OFFICIALS.  
Tercera impresión

El trazo se efectuó por el método de las dobles deflexiones, el cual consiste en medir el ángulo de deflexión de cada tramo, ya sea derecha o izquierda, cada vez que de un PI final de un tramo, se procede a ubicar el PI final del tramo siguiente y en donde únicamente al tramo inicial se le ubica su azimut para posteriormente calcular en gabinete el azimut de los otros tramos sumando o restando la deflexión respectiva según sea el caso. El método permite mayor rapidez a la realización del levantamiento topográfico de carreteras.

**2. Nivelación.** Además de los estacionamientos de la línea central fueron nivelados los puntos entre estacionamientos en los cuales existen cambios considerables en los niveles tales como zanjas, promontorios etc. Los Bancos de Marca BM o Controles de Nivel fueron ubicados a una distancia máxima de 500 metros referidos en la línea central más cercana, detallando la distancia a la que se encuentra de la misma, siendo derecha o izquierda. La nivelación fue calculada por el método de nivelación por diferencias.

**3. Secciones transversales.** Las secciones transversales permiten conocer las características topográficas de la faja de terreno necesaria para el diseño y construcción de la carretera, en el proyecto se decidió levantar las secciones transversales a cada 20 metros en línea longitudinal y 10 metros perpendiculares a la misma, es decir una faja de 20 metros.

**4. Referencias.** La línea central cuenta con referencia inicial y final con monumentos construidos de concreto.

### **C. Distancia de visibilidad de parada**

Es la distancia mínima de visibilidad permisible para un vehículo que viaja a la velocidad de diseño, intente detenerse antes de alcanzar un objeto en su trayectoria. Esta distancia de visibilidad de parada es la suma de las distancias siguientes:

**1.** La distancia que recorre el vehículo desde que el conductor observa el objeto y logra aplicar los frenos. A la distancia que recorre en este lapso se le denomina "distancia de percepción - reacción" y se calcula como la distancia recorrida en 2.5 segundos a la velocidad de operación.

**2.** En tabla No. 3 se presentan las distancias mínimas de visibilidad de parada para su respectiva velocidad de diseño

#### D. Distancia de visibilidad de paso

Se refiere a la distancia requerida por un vehículo para invadir un carril de vía contraria rebasar a otro vehículo y volver a su carril en forma segura. En la tabla No. 3 se presenta la distancia mínima para su respectiva velocidad de diseño.

#### E. Diseño de elementos geométricos de curvas horizontales

Con los datos obtenidos en el levantamiento topográfico, distancias entre PI y deflexiones, además con la información de la tabla No. 3 y tabla No. 4, se calculará los elementos geométricos de las curvas horizontales.

**Grado de curvatura:** es el ángulo central que subtiende un arco de circunferencia de 20 metros de longitud.

$$G/360 = 20/2\pi \cdot R \quad G = 20 \cdot 360 / 2\pi \cdot R = 1145.9156/R \quad ^1$$

**Longitud de curva:** es la longitud de arco comprendida entre el PC y PT, cuyo ángulo central es  $\Delta$  (deflexión).

$$L_c = (\Delta/G) \cdot 20 \quad \text{metros}$$

**Sub-tangente:** es la distancia del PC al PT siendo la misma de PI al PT en curvas circulares simples formando un ángulo de  $90^\circ$  con el radio.

$$St = R \cdot \text{tang} (\Delta/2)$$

**Cuerda máxima:** es el segmento de recta que une el PC y PT que subtiende un ángulo  $\Delta$

$$C_{\max} = 2R \text{Sen} (\Delta/2)$$

**External:** es la distancia entre el PI y el arco de la curva circular, pasando por el centro de la misma.

---

<sup>1</sup> Augusto René Pérez Méndez, (Tesis de graduación U.S.A.C.-1,989)

$$E = R(1/\cos(\Delta/2) - 1)$$

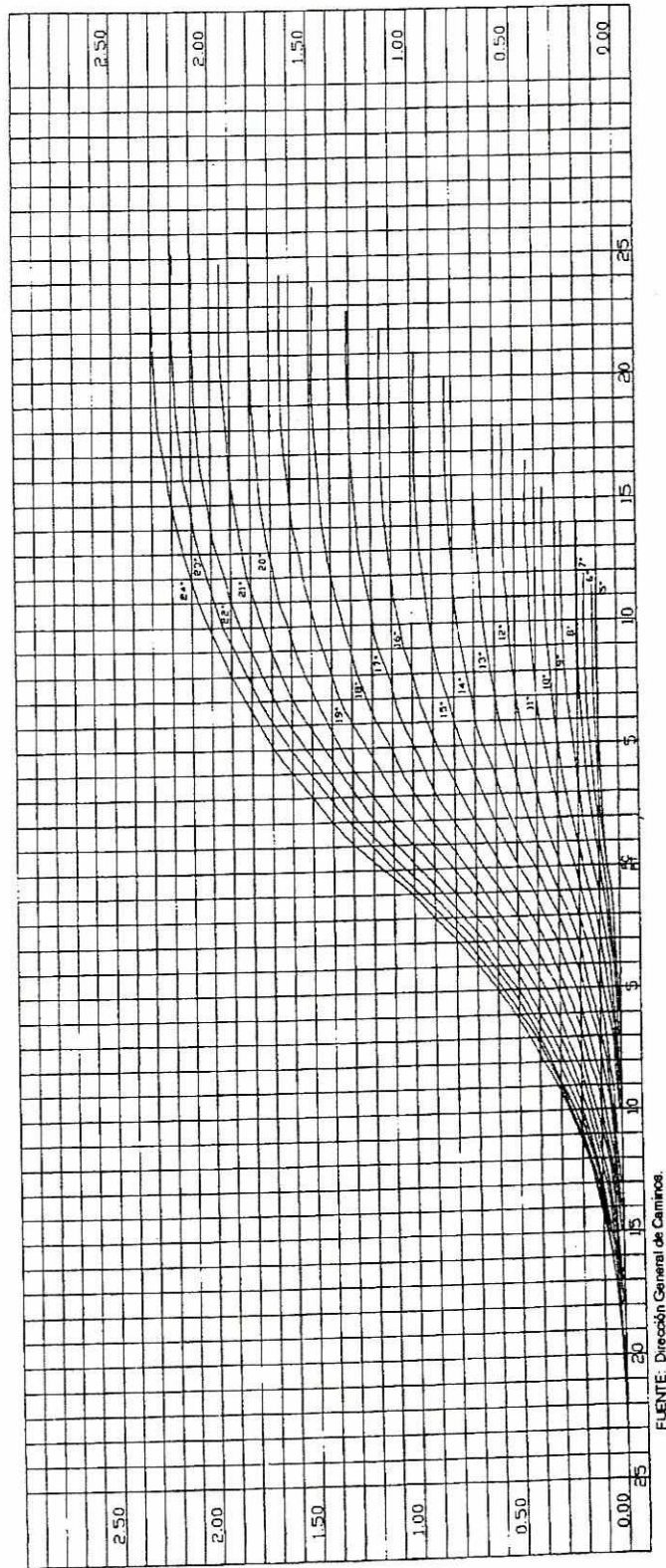
$$E = R \cdot \sec(\Delta/2)$$

**Ordenada media:** es la distancia entre la cuerda circular y la cuerda máxima en el centro de la misma.

$$OM = R(1 - \cos(\Delta/2))$$

Donde  $PC = PT - ST$  y  $PT = PC + LC$

**FIGURA No. 1**  
**CORRIMIENTOS EN METROS DE LA LÍNEA CENTRAL**  
**PARA PRODUCIR UNA CURVA ESPIRALADA**



FUENTE: Dirección General de Caminos.

**1. Diseño de curvas horizontales.** Para el diseño de la curva horizontal se tomaron los datos correspondientes a la segunda curva del proyecto con PI = 0+0600 se obtuvieron los resultados siguientes:

**Datos**

Velocidad de diseño: 30 km/h	LC = 45.719 m
PI = 0+0600	ST = 24.03 m
G = 19°05'58"	CM = 82.84 m
R = 60.0 m	E = 5.49 m
$\Delta = 43^{\circ}39'30''$	OM = 4.30 m
	<b>CAMINAMIENTO</b>
	PC = 0+0573.6
	PT = 0+0619.33

El procedimiento realizado para el cálculo de la curva horizontal anterior fue adoptado para el cálculo de curvas horizontales del proyecto de carretera para el Municipio de Nuevo Progreso, San Marcos.

**F. Corrimientos**

Es el medio por el cual se trata de establecer un balance de fuerzas en el vehículo que transita por una curva para evitar que abandone su carril que es afectado por un desplazamiento radial hacia adentro de la curva circular. El corrimiento depende de la distancia del PC o PT así como de la velocidad de diseño

**G. Sobreanchos**

En curvas horizontales las ruedas del vehículo conservan una trayectoria radial, la carrocería sigue tangencialmente por lo cual el vehículo ocupa mayor espacio en una curva que en una tangente y ésta es la razón por la que es necesario proporcionar un ancho adicional a las curvas. Se obtuvo los sobreanchos máximos para curvas diseñadas a 30 km/h por medio del procedimiento descrito a continuación: el sobreancho es repartido proporcionalmente en toda la longitud espiral o longitud de transición "Ls" empezando a partir del TS hacia el SC, y del ST hacia CS. En el caso del peralte la variación se inicia desde el punto Db en que la carretera tiene una sección con bombeo normal y llega al punto TS en el que un sector de la sección de la carretera tiene bombeo normal y el otro sector una pendiente trasversal cero. A partir del punto TS el peralte se incrementa

proporcionalmente en toda la longitud de transición hasta alcanzar su valor máximo para nuevamente regresar a las condiciones iniciales siguiendo este procedimiento a la inversa. En la tabla No. 5 de sobreanchos de la Dirección General de Caminos.

Finalmente el cálculo de los corrimientos y sobreanchos para cada estación se obtuvieron leyendo directamente de la figura No. 1, de acuerdo a la ubicación de la estación respecto del PC o PT.

## **H. Diseño vertical**

Para el diseño vertical de la carretera se encuentran como mínimo dos formas de curvas que obedecen a una figura geométrica parabólica y su cálculo se realiza a través de las fórmulas matemáticas, estas curvas verticales podrán ser cóncavas o convexas, tal y como se muestran en las figuras No. 2 y No. 3.



E.C.V = Empieza curva vertical  
T.C.V = Termina curva vertical  
P.I.V = Punto de intersección vertical.

1. **Cálculo de longitudes de curva vertical.** Existen cuatro condiciones que deben cumplir las curvas verticales, ellas son:

- a. Condición de apariencia  
 $LCV > 30 * A$
- b. Condición de comodidad  
 $LCV > V^2 * A / 400$
- c. Condición de drenaje  
 $LCV < 40 * A$
- d. Condición de seguridad  
 $LCV \text{ mínima} = LCV \text{ mínima}$

Estas condiciones limitan un intervalo en el cual la curva vertical es adecuada, existen casos en los cuales se optará por tomar longitud de curva mínima siendo ésta cualquiera de los dos casos:

Caso 1:  $LCV_{\text{min}} = \text{la magnitud de la velocidad de diseño (adicional)}$ .

Caso 2:  $LCV_{\text{min}} = K * A$

Donde el factor K está en función de la forma geométrica de la curva:

**TABLA No. 7**

**VALORES DE K PARA CURVAS CÓNCAVAS**

Velocidad de diseño Km/h	Distancia de visibilidad de parada	K
30	30	4
40	40	6
50	55	9
60	70	12
70	90	17
80	110	23
90	135	29
100	160	36
110	185	42
120	210	50

Fuente: Metodología de actividades para el diseño geométrico de carreteras, Augusto Rene Pérez Méndez, tesis de graduación ing. Civil 1989. 122 pp.

**TABLA No. 8**

**VALORES DE K PARA CURVAS CONVEXAS**

Velocidad de diseño Km/h	Distancia de visibilidad de parada	K
30	30	2
40	40	4
50	55	7
60	70	12
70	90	19
80	110	29
90	135	43
100	160	60
110	185	81
120	210	104

Fuente: Metodología de actividades para el diseño geométrico de carreteras, Augusto Rene Pérez Méndez, tesis de graduación ing. Civil 1989. 122 pp.

2. **Diseño de curvas verticales.** Para el proyecto las curvas verticales se calcularon de la siguiente forma:

<b>Cálculo No. 1</b>	Tipo de curva :	Cóncava
	P.I.V :	2+255.00
	Elevación :	502.50
	P.E :	3.02%
	P.S :	1.87%
	Vd :	30 Km/h

Diferencia de pendientes (A)

$$A = P.S - P.E = | 3.53 - 1.24 | = 1.15$$

Factor K según la tabla No. 8 el factor para el tipo de curva cóncava y una velocidad de diseño de 30 Km/h entonces  $K = 4$

**Condiciones:**

**Por apariencia:**

$$LCV > 30 * A$$

$$LCV > 30 * 1.15$$

$$LCV > 34.68 \text{ m}$$

**Por comodidad:**

$$LCV > Vd^2 * 1.15 / 400$$

$$LCV > (30)^2 * 1.15 / 400$$

$$LCV > 2.58 \text{ m}$$

**Por drenaje:**

$$LCV < 40 * A$$

$$LCV < 40 * 1.15$$

$$LCV < 46 \text{ m}$$

**Por seguridad:**

$$LCV > LCV \text{ mínima} = 30 \text{ m}$$

**Longitudes mínimas:**

Caso 1: LCV = magnitud de velocidad de diseño (adicional).

$$LCV > 30.0 \text{ m}$$

Caso 2:  $LCV > K * A$

$$LCV > 4.0 * 1.15$$

$$LCV > 9.16 \text{ m}$$

Por tanto, el intervalo en donde se da la curva vertical es funcional, se encuentra en:

$$30 < LCV < 46$$

**LCV asumida = 40.0 metros**

<b>Cálculo No. 2</b>	Tipo de curva :	Convexa
	P.I.V :	6+933.00
	Elevación :	642.91
	P.E :	4.48%
	P.S :	1.30%
	Vd :	30 Km/h

Diferencia de pendientes (A)

$$A = |P.S - P.E| = |1.30 - 4.48| = 3.18$$

Factor K según la tabla No. 8 el factor para el tipo de curva convexa y una velocidad de diseño de 30 Km/h entonces **K = 2**

**Condiciones:****Por apariencia:**

$$LCV > 30 * A$$

$$LCV > 30 * 3.18$$

$$LCV > 95.40 \text{ m}$$

**Por comodidad:**

$$LCV > Vd^2 * A / 400$$

$$LCV > (30)^2 * 3.18 / 400$$

$$LCV > 7.15 \text{ m}$$

**Por drenaje:**

$$LCV < 40 * A$$

$$LCV < 40 * 3.18$$

$$LCV < 127.2 \text{ m}$$

**Por seguridad:**

$$LCV > LCV \text{ m\u00ednima} = 30 \text{ m}$$

**Longitudes m\u00ednimas:**

Caso 1:  $LCV = \text{magnitud de velocidad de dise\u00f1o (adicional)}$ .

$$LCV > 30.0 \text{ m}$$

Caso 2:  $LCV > K * A$

$$LCV > 4.0 * 3.18$$

$$LCV > 12.72 \text{ m}$$

Por tanto, el intervalo en donde se da la curva vertical es funcional, se encuentra en:

$$30 < LCV < 127.2$$

**LCV asumida = 90.0 metros**

## ***VII. CONCEPTOS Y DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE***

### **A. Teoría del diseño de pavimento flexible**

La mayor parte de los métodos de diseño de pavimentos tienen como base una prueba de laboratorio o conjunto de pruebas, que se supone sirven como índice para presentar el comportamiento real de los pavimentos por medio de alguna correlación o conjunto de correlaciones más o menos razonables y seguras, que deben existir entre el comportamiento de los materiales en el laboratorio y en la estructura del proyecto.

Es natural esperar que los métodos de diseño que se basan en pruebas de laboratorio y en su correlación con el comportamiento estructural, presenten las limitaciones y defectos que son de imaginarse.

Desde este punto de vista el método de diseño que se aplique debe verse como un marco de referencia de criterio, una base de cálculo, pero también como algo que debe ser completado con experiencias y arte.

**1. Factores de diseño.** En esta sección se describen las variables del diseño que se requieren para hacer uso del método AASHTO para estructuras de pavimento flexible. El propósito de analizar los factores de diseño, es de proveer los métodos para determinar los factores apropiados para la introducción del tránsito en el diseño estructural de pavimentos. Los primeros a considerar son, el número y carga sobre eje que se espera aplicar al pavimento durante el período de tiempo dado.

Investigaciones realizadas han mostrado que los efectos en la conformación del pavimento de un eje de carga de cualquier masa puede ser representado por un número equivalente a la aplicación de 18 Kips (18,000 lbs.) por eje simple de carga. (ESAL).

Estimar la carga y el volumen del tránsito inicial y futuro para el diseño estructural de pavimentos, requiere de un análisis y estudio sustancial, en la cual las siguientes definiciones pueden ser usadas para tal efecto:

a. **Clasificación y número de camiones.** Se determinan por medio del análisis de estimaciones obtenidas del número de vehículos de diferentes tipos tales como: autobuses, camiones sencillos y camiones múltiples de varias clases, que se espera usen la nueva carretera.

b. **Periodo de diseño.** Es el periodo de tiempo transcurrido, en el cual una estructura nueva o rehabilitada se deteriora desde su servicio inicial hasta su servicio final, momento donde requiere una rehabilitación. La selección de los límites del periodo de diseño son afectados por factores tales como: Clasificación funcional del pavimento, tiempo que debe durar la estructura, fondos disponibles para la inversión inicial, el ciclo en el periodo de análisis y condiciones técnicas o de ingeniería.

Finalmente en el proyecto se asumió un periodo de diseño de 20 años el cual se usará para los cálculos de las estructuras, debido a que se considera económicamente factible y técnicamente gozará de un periodo mínimo de 15 años, antes de que se requiera algún trabajo de rehabilitación. **Sin embargo, el PERIODO DE DISEÑO, no debe confundirse con la VIDA ÚTIL DEL PAVIMENTO, ni con el PERIODO DE ANÁLISIS.** El periodo de análisis es el intervalo de tiempo definido de evaluación económica para fines de comparación de alternativas. El periodo de análisis puede ser igual al periodo de diseño, pero para algunos diseños de pavimentos, por limitaciones de comportamiento real, consideraciones de construcción por etapas o rehabilitaciones planeadas deben ser adoptadas para alcanzar el período de análisis deseado. Por otra parte, la vida útil del pavimento, puede extenderse indefinidamente a través de medidas de rehabilitación, hasta que la misma se convierta en obsoleta debido a cambios en orden, posibilidades u otros factores.

c. **Estimación ESAL.** Para determinar el ESAL se usó la fórmula de proyección aritmética:

$$ESAL = W_{18} = \frac{((1+I_c)^n - 1)}{I_c} * T_o * TD * DD^1$$

Donde:

**ESAL:** número equivalente a la aplicación de 18 KIPS (18,000 lbs.), por eje simple de carga.

**Ic :** índice de crecimiento anual del tráfico de camiones. Depende de la región en análisis.

**T<sub>0</sub>:** Es la magnitud del tráfico pesado promedio diario anual, inicial

**N :** Es el periodo de diseño seleccionado.

**TD :** Factor de distribución de tráfico por carriles.

**DD :** Factor de distribución direccional.

## 2. **Determinación de los factores de diseño utilizados en el proyecto de diseño de pavimento flexible de La Ruta Departamental, San Marcos No.4, de Pajapita a la cabecera municipal Nuevo Progreso.**

a. **Clasificación y número de camiones.** Para tal fin, se estableció un punto de control en la entrada hacia el municipio de Nuevo Progreso, sobre la E-0+100, durante los días más concurridos que según fuentes de la comunidad, son los días lunes, viernes y domingo, días de plaza en la región y municipios cercanos. Se procedió a chequear el paso de vehículos y clasificarlos en horarios de 6: 00 A.M. a 6.00 PM.

b. **Periodo de diseño.** Finalmente en el proyecto se asumió un periodo de diseño de 20 años el cual se usará para los cálculos de las estructuras, debido a que se considera econonómicamente factible y técnicamente gozará de un periodo

---

<sup>1</sup> Irvin Benjamín Martínez Quevedo, (Análisis del diseño de pavimentos para el proyecto CA-2-oriente).

mínimo de 15 años, antes de que se requiera algún trabajo de rehabilitación.

**c. Índice de crecimiento.** Se estima el índice de crecimiento tomando en cuenta su ubicación geográfica, y a la influencia vehicular que puedan tener desde los municipios cercanos, tales como San Jerónimo, Pajapita y El Tumbador. Considerándose también como un camino de orden terciario, por lo que se toma un índice de crecimiento vehicular de 2.5%. La tasa efectiva de crecimiento fue calculada por el método de tanteos utilizando la ecuación compuesta de factor de crecimiento:

$$GF(\text{efectivo}) = \text{Esal total} / \text{Esal inicial}^2$$

$$GF = (((1 - g)^n - 1) / g)^3$$

Donde :

GF = factor efectivo de crecimiento

g = tasa efectiva de crecimiento

**d. Estimación ESAL:** Utilizando la fórmula anteriormente descrita, tenemos los siguientes valores:

**T<sub>o</sub>** : 7,909.0 ( Tráfico promedio diario anual de vehículos pesados c.1 y c.2).

**I<sub>c</sub>** : El índice de crecimiento anual para tráfico pesado, se estimó en 2.5%.

**N** : Período de diseño, seleccionado de 20 años.

**TD** : Factor de distribución por carril, como este diseño, será para carretera de doble vía, el factor será de 0.7.

**D.D.** : Factor de distribución direccional se estimó en 0.5.

Por tanto el cálculo para ESAL, es el siguiente:

$$ESAL = ((1 + 2.5\%)^{20}) / 2.5\% * (16,060) * 0.7 * 0.5 = 368,426.52$$

<sup>2</sup> Publicación I Convención Internacional de Infraestructura Vial de Guatemala.

<sup>3</sup> Loc. cit.

$$\text{ESAL} = 368,426.52$$

**B. Especificaciones generales para la calidad de los material que conforman las diferentes capas del pavimento. (Tomadas de las Especificaciones Generales para construcción de Carreteras y Puentes).**

**1. Sub-rasante.** Reacondicionamiento de la sub-rasante, es la operación que consiste en escarificar, homogeneizar, mezclar, uniformizar, conformar y compactar la sub-rasante de una carretera previamente construida, efectuando cortes y rellenos, no mayores de 20 centímetros de espesor; con el objeto de regularizar, mejorando mediante estas operaciones las condiciones de la sub-rasante, como cimiento de la estructura del pavimento.

**a. Materiales inapropiados para sub-rasante**

1) Suelos clasificados como A-8 según AASHTO M-145, que se componen de materia orgánica parcialmente podrida; generalmente tienen textura fibrosa; color café oscuro o negro y olor a podredumbre; son altamente compresibles y tienen muy baja resistencia. Además, basura e impurezas que pueden ser perjudiciales para la cimentación del pavimento.

2) Las rocas aisladas, mayores de 10 centímetros, que se encuentran incorporadas en los 30 centímetros superiores de la capa de suelo de sub-rasante.

**b. Materiales apropiados para sub-rasante.** Suelos de preferencia granulares con menos de 3% de hinchamiento en ensayo AASHTO T-193, que no tengan características inferiores a los suelos que se encuentran en el tramo que se está reacondicionando.

2. **Sub-base (No estabilizada).** El espesor no debe ser menor de 10 cms., ni mayor de 70 cms., si fuera necesario un valor mayor debe procederse a sustituir el material de sub-rasante.

a. **Requisitos para los materiales.** La capa de Sub-base, debe estar constituida por suelos de tipo granular en su estado natural, que llene los requisitos siguientes:

1) El material debe tener un valor soporte CBR mínimo de 30., según AASHTO T-193, efectuado sobre muestra saturada a 95% de compactación, AASHTO T-180.

2) El tamaño máximo de las piedras que contenga el material de Sub-base, no debe exceder de 7 centímetros, ni debe tener más del 50% en peso de partículas que pasen el tamiz No. 40 (0.425 mm.) ni más del 25% en peso, de partículas que pasen el tamiz No. 200 (0.075 mm.).

3) La porción que pasa el tamiz No. 40 no debe tener un índice de plasticidad mayor de 6, ni un límite líquido mayor de 25, según AASHTO T-90 y T-89. Cuando las disposiciones especiales lo indiquen expresamente, el índice de plasticidad puede ser más alto, pero, en ningún caso mayor de 8.

4) El equivalente de arena no debe ser menor de 25, determinado según AASHTO T-126.

5) Impurezas: el material de sub-base no debe tener materias vegetales, basura, terrones de arcilla.

3. **Base de grava o piedra triturada.** El material de base debe consistir en piedra o grava de buena calidad, triturada y mezcladas con material de relleno, de manera que el producto obtenido, corresponda al tipo de graduación aquí estipulados y además llene los requisitos siguientes:

a. **Requisitos de los materiales para base**

1) **Valor soporte.** CBR mínimo de 90%, sobre muestra al 95% de compactación según AASHTO T-193 y T-80.

2) **Abrasión.** La porción de agregado, retenida en el tamiz No. 4 (4.75 mm.) no debe tener un porcentaje de desgaste para abrasión mayor de 50 a 500 revoluciones, según AASHTO T-96.

3) **Caras fracturadas y partículas planas y alargadas.** No menos del 50% en peso de las partículas retenidas en el tamiz No. 4 (4.75 mm.), deben tener por lo menos una cara fracturada; ni más del 20% en peso pueden ser partículas planas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.

4) **Impurezas.** El material de base de piedra o grava triturada no debe tener materias vegetales, terrones de arcilla o material que puedan causar fallas en el pavimento.

5) **Graduación.** Determinada según AASHTO T-27 y T-11, para uno de los tipos que se establecen en la tabla siguiente.

Tabla No. 9  
**GRANULOMETRÍA PARA MATERIALES DE BASE AASHTO T-27**

Tamiz No.	Estandar (mm)	Tipo "A"		Tipo "B"		Tipo "C"	
		2" máximo		1 1/2" máximo		1" máximo	
		A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2
2	50	100	100				
1 1/2	37.5			100	100		
1	25.0	65 - 85	70 - 90	70 - 95	70 - 100	100	100
3/4	19.0	50 - 80	50 - 75	55 - 85	60 - 90	70 - 100	70 - 100
3/8	9.5				45 - 75		50 - 80
4	4.75	30 - 60	25 - 60	30 - 60	30 - 60	35 - 65	35 - 65
10	2.0				20 - 50		25 - 50
40	0.425	10 - 25	7 - 30	10 - 25	10 - 30	15 - 25	15 - 30
200	0.075	3 - 10	0 - 15	3 - 10	5 - 15	3 - 10	5 - 15

Fuente : Especificaciones generales para caminos y puentes, DGC pag. 305-2, Ed. 2,001

6) **Plasticidad y cohesión.** El material de base de grava o piedra triturada en el momento de ser colocado en la carretera debe tener en la fracción que pasa el tamiz No. 4 (4.75 mm.), incluyendo el material de relleno, las siguientes características: la porción que pasa el tamiza No. 40 (0.425 mm.), no debe tener un I,P, mayor de 3, ni un L.L. mayor de 25, según AASHTO T-90 y T-89.

7) Si las disposiciones especiales lo indican expresamente, el I.P. puede ser más alto, pero en ningún caso mayor de 6. El porcentaje que pasa el tamiz No. 200 (0.075 mm.), debe ser menor que la mitad del porcentaje que pasa el tamiz No. 40 (0.425 mm.).

8) **Equivalente de arena.** No deberá ser menor de 40, determinado según AASHTO T-176.

9) **Material de relleno.** Cuando se necesite agregar material, éste deberá ser suelo arenoso, limo inorgánico, polvo de la roca u otro material con alto porcentaje de partículas que pasen el tamiz No, 10 (2.00 mm.).

10) Espesor mínimo de base es 10 centímetros.

**4. Capa de rodadura.** Está constituida por materiales pétreos ligados por material bituminoso mezclados en planta ya sea en caliente o en frío. La carpeta puede ser una mezcla asfáltica con piedra o grava y concreto asfáltico.

**a. Mezcla asfáltica con piedra o grava.** Consiste en la obtención y explotación de canteras o bancos de piedra o grava, usándolas en su estado natural, clasificadas o bien trituradas total o parcialmente cuando así se requiera, combinándolas con arena o polvo de roca para producir un agregado clasificado.

**1) Requisitos para los materiales.** El agregado pétreo debe consistir en piedra o grava de buena calidad, solamente clasificadas sin triturar o cuando así lo requieran las disposiciones especiales, deberán triturarse, combinando el producto obtenido, con arena pétreo y polvo de roca, naturales o de trituración, según sea el caso.

El agregado pétreo debe llenar los requisitos siguientes:

- **Abrasión.** La porción del agregado retenida en el tamiz No. 4 (4.75 mm.), no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión mayor de 40 a 500 revoluciones, según AASHTO T-96.

- **Desintegración al sulfato de sodio.** El agregado no debe tener una pérdida de peso mayor del 15% al ser sometido a cinco ciclos en el ensayo AAHTO T-104.

- **Caras fracturadas y partículas planas o alargadas.** Cuando se use piedra o grava triturada no menos del 40% en peso de las partículas retenidas en el tamiz No. 4 (4.75 mm.), deben tener por lo menos una cara fracturada. En todo caso, no más del 15% en peso, pueden ser partículas planas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.

- **Impurezas.** El agregado no deberá contener materias vegetales, basura, terrones de arcilla o sustancias que puedan producir fallas en el pavimento.

- **Graduación.** El agregado pétreo, listo para ser mezclado con material bituminoso, debe cumplir con los requisitos de graduación determinada según AASHTO T-27 y T-11, de acuerdo al cuadro siguiente:

**Tabla No. 10**  
**TIPOS DE GRADUACIÓN PARA AGREGADO DE MEZCLA ASFÁLTICA**  
**AASHTO T-27**

Tamiz No.	Estandar (mm)	Tipo 'A'		Tipo 'B'			Tipo 'C'			Tipo 'D'	
		1 1/2' máximo		1" máximo			3/4' máximo			1/2' máximo	
		A-1	A-2	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	D-1	D-2
1 1/2	37.5	100	100								
1	25.00	90-100	70-100	100	100	100					
3/4	19.00	40-75	50-80	90-100	70-100	80-100	100	100	100		
1/2	12.5	10-35				70-90	90-100	70-100	80-100	100	100
3/8	9.5	5-25	25-50	20-55	35-60	60-80	40-70	45-75	70-90	70-100	80-100
4	4.75	0-20	10-30	0-10	15-35	50-70	0-15	20-40	50-70	20-40	55-75
8	2.36	0-10	5-20	0-5	5-20	35-50	0-5	5-20	35-50	5-20	35-50
30	0.6					19-30			18-29		18-29
50	0.3					13-25			13-23		13-23
100	0.15								8-16		8-16
200	0.075		0-4		0-4	0-8		0-4	4-10	0-4	4-10

Fuente: Especificaciones Generales para carreteras y puentes DGC, Pág. 401-3, Ed. 2,001

- **Plasticidad.** La fracción de agregado que pasa tamiz No. 40 (0.425 mm.), incluyendo el polvo mineral, no debe tener un I.P. mayor de 6, según AASHTO T-90, ni un L.L. mayor de 25, según AASHTO T-89.

- **El equivalente de arena.** No debe ser menor de 40, determinado según AASHTO T-176.

- **Peso.** El material debe ser razonablemente uniforme en calidad y densidad y su peso unitario, según AASHTO T-19, no debe ser menor de 70 lbs./pie<sup>3</sup> (1120 kg/m<sup>3</sup>).

- **Resistencia al desvestimiento.** Las partículas deben ser de tal naturaleza que al recubrirlas completamente con material bituminoso, no presenten evidencia de desvestimiento, permaneciendo más del 70% de partículas perfectamente cubiertas, al efectuar el ensayo de inmersión en agua a 60° Centígrados de la Dirección General de Caminos.

b. **Concreto asfáltico.** Consiste en la elaboración, en planta en caliente, de una mezcla de proporciones estrictamente controladas de materiales pétreos, polvo mineral y cemento asfáltico, para obtener un producto de alta resistencia y duración, con características de calidad uniformes, que se pueden tender y compactar de inmediato en la carretera.

1) **Requisitos del agregado pétreo:**

- **Abrasión.** La porción del agregado retenida en el tamiz No. 8 (2.36 mm.), no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión mayor de 40, a 500 revoluciones, según AASHTO T96.

- **Desintegración al sulfato de sodio.** El agregado retenido en el tamiz No. 8 (2.36 mm.), no debe tener una pérdida de peso mayor de 10% al ser sometido a cinco ciclos, según AASHTO T-104.

- **Caras fracturadas y partículas planas o alargadas.** No menos del 90% en peso, de las partículas retenidas en el tamiz No.8 (2.36 mm.), deben tener, por lo menos, una cara fracturada. No menos del 75% en peso, de las partículas retenidas en el tamiz No.8, deben tener por lo menos, dos caras fracturadas. No más del 8% en peso, pueden ser partículas alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.

- **Impurezas.** El agregado pétreo no debe contener materias vegetales, basura, terrones de arcilla o sustancias que incorporadas al concreto asfáltico, puedan causar fallas en el pavimento.

- **Peso.** El agregado debe ser uniforme en calidad y densidad y su peso unitario AASHTO T-19 no debe ser menor de 85 lbs./pie<sup>3</sup> (1,360 kg./m<sup>3</sup>).

- **Graduación.** El material pétreo elaborado, listo para ser mezclado con asfalto, debe llenar los requisitos de graduación determinada según AASHTO T-27, T-11 y T-37, de acuerdo al cuadro siguiente.

- **Plasticidad.** La fracción de agregado que pasa tamiz No. 40 (0.425 mm.), incluyendo el polvo mineral, no debe tener un I.P. mayor de 4 según AASHTO T-90, ni un L.L. mayor de 20 según AASHTO T-89. El equivalente de arena no debe ser menor de 35, determinado según AASHTO T-176.

- **Resistencia al desvestimiento.** Las partículas del agregado deben ser de tal naturaleza que al encubrirlas completamente con el cemento asfáltico no presenten evidencia de desvestimiento, permaneciendo más del 70% de las partículas perfectamente cubiertas con material bituminoso, al efectuar el ensayo por inmersión en agua a 60 grados centígrados de la Dirección General de Caminos.

c. **Tratamientos asfálticos superficiales.** Estas son capas de revestimiento de poco espesor, formadas por riegos sucesivos y alternados de material bituminoso y agregados pétreos, destinadas principalmente, a recibir directamente la acción del tránsito proporcionando al pavimento las condiciones necesarias de impermeabilidad, resistencia al desgaste y suavidad para el rodaje, aunque para el diseño del pavimento no se considera que aporte ninguna contribución a la distribución de la carga.

1) **Requisitos de los agregados:**

- **Agregados pétreos.** Deben ser partículas provenientes de la trituración de grava o piedra de buena calidad.

- **Abrasión.** No debe tener un porcentaje de desgaste, mayor de 35 a 500 revoluciones, según AASHTO T-96.

- **Desintegración al sulfato de sodio.** No debe tener una pérdida de peso mayor de 12% al ser sometidos a cinco ciclos, según ensayo AASHTO T-104.

- **Caras fracturadas y partículas planas o alargadas.** No menos del 75% en peso, deben tener por lo menos una cara fracturada, no más del 10% en peso, podrán ser partículas delgadas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.

- **Impurezas y polvo.** Deben estar exentos de materias vegetales, basura, terrones de arcilla o sustancias que incorporadas a la capa de tratamiento puedan provocar fallas en el pavimento. Se acepta el agregado cuando no tenga más del 75% de material que pase el tamiz No. 200 (0.075 mm.), según AASHTO T-11.

- **Peso.** Los agregados deben ser uniformes en calidad y densidad y su peso unitario no debe ser menor de 80 lbs./pie<sup>3</sup> (1,280 kg./m<sup>3</sup>).

- **Graduación.** Los agregados pétreos debe cumplir con los requisitos de graduación determinada según AASHTO T-27, para los tipos establecidos, dependiendo de que el tratamiento esté compuesto de 1,253 capas. La graduación será de acuerdo al cuadro siguiente.

**Tabla No. 11**  
**TIPO 1 AGREGADOS PARA PRIMERA APLICACIÓN**

Tipo y Grado	PORCENTAJES POR PESO QUE PASA UN TAMIZ DE ABERTURA CUADRADA						
	1 1/4"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No. 8
	(31.5 mm)	(25.0 mm)	(19.0 mm)	(12.5 mm)	(9.5 mm)	(4.75 mm)	(2.36 mm)
1-A	100	90 - 100	30 - 60	0 - 10		0 - 2	
1-B	100	95 - 100		0 - 30	0 - 6		
1-C		100	90 - 100	20 - 55	0 - 15	0 - 5	
1-D			100	90 - 100	40 - 70	0 - 15	0 - 5

Fuente: Especificaciones generales para caminos y puentes DGC Pág. 404-2, Ed. 2,001

**Tabla No. 12**  
**TIPO 2 AGREGADOS PARA SEGUNDA APLICACIÓN**

Tipo y Grado	PORCENTAJES POR PESO QUE PASA UN TAMIZ DE ABERTURA CUADRADA						
	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No. 8	No.16	No. 100
	(19.0 mm)	(12.5 mm)	(9.5 mm)	(4.75 mm)	(2.36 mm)	(1.18 mm)	(0.15 mm)
2-A	100	65 - 100	0 - 30		0 - 1		
2-B		100	85 - 100	10 - 30	0 - 10	0 - 5	0 - 2

Fuente Especificaciones generales para caminos y puentes DGC, Pág. 402-3 Ed. 2,001

Tabla No. 13

## TIPO 3 AGREGADOS PARA TERCERA APLICACIÓN

Tipo y Grado	PORCENTAJES POR PESO QUE PASA UN TAMIZ DE ABERTURA CUADRADA					
	3/8"	No.4	No. 10	No. 16	No. 40	No.100
	(9.5 mm)	(4.75 mm)	(2.00 mm)	(1.18 mm)	(0.425 mm)	(0.15 mm)
3 - A	100	45 - 70	0 - 20	0 - 4		
3 - B	100	70 - 100	Oct-50		0 - 5	0 - 1

Fuente: Especificaciones Generales para carreteras y puentes, DGC Pág 401-3 Ed. 2,001

Si el tratamiento superficial es una capa que usa la gradación 1-0.

Si es en dos capas:

- 1) Graduación 1-C con 2-B, la combinación más usada.
- 2) Graduación 1-A con 2-A.

Si es en tres capas;

- 1) Graduaciones 1-A, 2-A y 3-B
- 2) Graduaciones 1-B, 2-B y 3-A.

- **Resistencia al desvestimiento;** las partículas deben ser de tal naturaleza que al recubrirlas con el material bituminoso, no presenten evidencia de desvestimiento, permaneciendo más del 70% cubiertas después del ensayo por inmersión en agua a 60 grados centígrados de la Dirección General de Caminos.

**5. Riego de imprimación.** Es la aplicación de un material bituminoso líquido, por medio del riego a presión, sobre la superficie de la sub-base o sobre la base y hombros de una carretera, para protegerla, impermeabilizarla, unir entre sí las partículas minerales sueltas y endurecer la superficie, favoreciendo la adherencia entre la superficie imprimada y la capa inmediata superior.

a. **Requisitos de los materiales.** Material bituminoso; el tipo, grado, especificación y temperatura de aplicación, se establecen en la tabla siguiente.

**Tabla No. 14**  
**TIPO Y GRADO DE MATERIAL DE IMPRIMACIÓN**

Tipo y grado de material bituminoso	Especificación	Temperatura de aplicación	
		F°	C°
1)Asfaltos líquidos			
RC-70; MC-30;MC-70	AASHTO M81, M82	120 - 160	49 - 71
RC-250; MC-250	AASHTO M81, M82	160 - 200	21 - 93
2) Alquitranes			
RT - 2	AASHTO M52	60 - 125	16 - 52
RT - 3	AASHTO M52	80 - 150	27 - 66

Fuente: Especificaciones Generales para carreteras y puentes DGC, pág. 407-1, Ed. 2,001

6. **Riego de liga.** Es la aplicación de un material bituminoso líquido por medio de riego a presión, sobre una superficie existente bituminosa o no, que debe ser cubierta al instante, con una capa inmediata superior que contiene material bituminoso; este riego tiene por objeto mejorar las condiciones de adherencia entre las dos superficies y prevenir deslizamientos.

a. **Requisitos del material bituminoso;** el tipo, grado, especificación y temperatura de aplicación, debe ser uno de los establecidos en la tabla siguiente.

**Tabla No. 15**  
**TIPO Y GRADO PARA MATERIAL DE LIGA**

Tipo y grado de material bituminoso	Especificacion	Temperatura de aplicación	
		F°	C°
1)Asfaltos líquidos RC-70	AASHTO M81	120 - 160	49 - 71
2)Emulsiones *			
SS-1, SS-1H	AASHTO M140	75 - 130	24 - 55
CSS-1, CSS-1H	AASHTO M208	75 - 130	24 - 55
3) Alquitranes			
RTCB - 5, RTCB - 6	AASHTO M52	60 - 120	16 - 49
4) Cemento asfáltico			
85 - 100 penetración	AASHTO M20		
AC-20	AASHTO M226	290 - 400	143 - 204

Fuente: Especificaciones Generales para Carreteras y Puentes DGC, pág. 408-1, Ed. 2,001

### **C. Diseño de espesores de pavimento flexible**

**1. Conceptos y determinación de valores.** Conociendo las características físicas y mecánicas de los tipos de suelos que se encontraron en la subrasante a través de los ensayos de suelo, y considerando las características y calidad de los materiales que se utilizarán en la sub-base, base y capa de rodadura del nuevo pavimento, los cuales deben llenar los requisitos que se indiquen en las especificaciones técnicas dadas en el inciso (4.2) de este capítulo y, bajo las condiciones de tránsito actual y tránsito futuro, estimado para el año 2,024, se procedió a efectuar el diseño del pavimento flexible.

Para el diseño y dimensionamiento de la estructura de pavimento flexible que se usará en el tramo de carretera a la aldea toj-alic, se utilizó el método de la "Guide for Design of Pavement Structure" de la American Association of State highway and Transportation Officials -AASHTO-, 1,986. (Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO 1,986).

La ecuación básica usada en la guía para el diseño de pavimentos flexible es:

$$\text{Log}(W_{18}) = Z_n * S_o + 9.36 * \log (\text{SN} + 1) - 0.2 + \text{Log} \left[ \frac{\Delta \text{PSI}}{(4.2 - 1.5)} \right] + 2.32 * \log M_R - 8.07$$

$$(0.4 + 1,094/(\text{SN}+1)^{5.19})$$

Los factores que intervienen en la fórmula anterior, se definen a continuación y se les asigna los valores obtenidos para el diseño de pavimento flexible de este proyecto.

- $\text{ESAL} = W_{18}$  = es el tráfico estimado durante el periodo de diseño = 368,426.52
- $R$  = es el valor de confiabilidad. Se asume que los datos ingresados corresponden a valores promedio, como se indica en la siguiente tabla:

**Tabla No. 16**

**VALOR DE DESVIACIÓN ESTANDAR**

Confiabilidad R %	Zo
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
92	-1.405
93	-1.476
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: Publicación de I Convención Internacional de Infraestructura vial en Guatemala

- $Z_n$  = El valor de  $Z_n$  está determinado por el nivel de confiabilidad de diseño  $R$ . La AASHTO, sugiere un valor de  $R=0.90$ , por tratarse de una carretera rural.

- $S_o$  = es la desviación estándar promedio, debe ser seleccionado para representar las condiciones naturales locales, a las cuales estará sometido el pavimento. Los valores de  $S_o$ , no incluyen error por tránsito. Sin embargo, en las predicciones de error por serviciabilidad, hechas por la Road Test. ( $S_o$ ) se encuentra dentro del rango ( 0.4 a 0.5). En el diseño de pavimento flexible para el municipio de Nuevo Progreso, se asumió un valor promedio de  $S_o = 0.45$ .

- $M_R$  = es el módulo efectivo de resiliencia de la sub-rasante.

Como en Guatemala no existen equipos sofisticados para determinar el  $M_R$ , se obtiene multiplicando el valor CBR de la sub-rasante a compactación seleccionada (95 %) ,por un número que depende del tipo de suelo existente en la sub-rasante, algunas instituciones han desarrollado correlaciones que definen los módulos basados en los resultados de CBR (%). Para este diseño se tomó el valor más crítico (el más bajo) de CBR, de  $CBR = 18.3$ , obteniendo el módulo de resiliencia

$$\text{Shell (Heukelom \& Klomp ) } M_R (\text{psi}) = 1,500 * CBR (1)$$

$$\text{Dinamarca (NDRL) } M_R (\text{psi}) = 1,500 * CBR^{0.73}$$

$$\text{Reino Unido (TRRL) } M_R (\text{psi}) = 2,550 * CBR^{0.64}$$

Para este diseño de pavimento flexible, se usará la fórmula presentada por Shell, tomando el valor más crítico (el más bajo) de  $CBR = 18.3$ , se obtuvo  $M_R = 27,450$ .

- **Serviciabilidad:** es la habilidad específica de una sección de pavimento para servir al tráfico. Hay dos formas de definir la serviciabilidad. Una es basada en la medida del índice de rugosidad que está basado solamente en la rugosidad del pavimento. La otra forma es a través del índice de serviciabilidad presente (PSI) desarrollado durante las pruebas de AASHTO, está basado en la rugosidad así como en la medida de los deterioros en la superficie del pavimento; ahuellamiento, fisuración, baches. En sí el PSI es una combinación matemática

de valores obtenidos de ciertas características físicas del pavimento y la evaluación subjetiva del público para evaluar las condiciones al circularlo. El índice de serviciabilidad oscila entre un valor (0) o condición impasable, a un valor (5) o condición excelente, como se indica a continuación:

**Tabla No. 17**

**VALORES DE SERVICIABILIDAD**

CONDICION	PSI
Excelente	4 - 5
Bueno	3 - 4
Regular	2 - 3
Malo	1 - 2
Muy Malo	0 - 1

Fuente: Publicación de I Convención Internacional de Infraestructura Vial en Guatemala

- $\Delta$  PSI = es la pérdida de serviciabilidad de diseño ( $P_o - P_t$ ).

Es la diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial,  $P_o$  y final  $P_t$ , del diseño. Para este diseño, se seleccionó un valor promedio  $P_o = 4.5$  o condición inicial excelente y un valor  $P_t = 2.5$ , en condición regular, por tanto  $\Delta$  PSI = 2.0.

- SN = es el número estructural del pavimento.

Para obtener el SN, se valúa la ecuación del diseño con los datos obtenidos anteriormente, se llevan a cabo iteraciones del SN; iniciando con un número comprendido en el rango entre (3 - 6); las iteraciones de SN, se detienen cuando el ESAL o  $W_{18}$  obtenido sea igual o aproximado a ESAL de diseño (2,024).

$$\text{Esal diseño} = 368,426.52 = 3.684 \times 10^5$$

$$Z_n = -1.282$$

$$S_0 = 0.45$$

$$M_R = 27,450$$

$$\Delta \text{PSI} = 2.0$$

de donde:

$$\text{Log}(W_{18}) = Z_n * S_o + 9.36 * \log(\text{SN} + 1) - 0.2 + \text{Log} \left[ \frac{\Delta \text{PSI}}{(4.2 - 1.5)} \right] + 2.32 * \log M_R - 8.07$$

$$\left( 0.4 + 1,094 / (\text{SN} + 1)^{5.19} \right)$$

Al realizar algunas iteraciones, se obtuvo los siguientes resultados:

$$\text{Esal} (\text{SN}=3) = 9.53 \times 10^6 > \text{Esal diseño}$$

$$\text{Esal} (\text{SN}=2) = 7.66 \times 10^5 > \text{Esal diseño}$$

**TABLA No. 18**

**CORRELACIÓN PARA NÚMEROS ESTRUCTURALES**

SN	Zn*So	9.36*log(SN+1)	2.32*log(Mr)	log(PSI/2.7)	(SN+1) <sup>5.19</sup>	Log(W18)	Esal/calc.	Esal/diseño
3.000	-0.5769	5.635281519	10.29741825	-0.13033377	1332.57406	6.979053	9,529,134.66	368,426.52
2.000	-0.5769	4.465854944	10.29741825	-0.13033377	299.4051815	5.884223	765,989.94	368,426.52
1.900	-0.5769	4.32804526	10.29741825	-0.13033377	251.0993619	5.751164	563,850.91	368,426.52
1.800	-0.5769	4.185399173	10.29741825	-0.13033377	209.2908215	5.612756	409,973.64	368,426.52
1.770	-0.5769	4.141610638	10.29741825	-0.13033377	197.9110311	5.570142	371,656.54	368,426.52
<b>1.767</b>	<b>-0.5769</b>	<b>4.13720573</b>	<b>10.29741825</b>	<b>-0.13033377</b>	<b>196.8011065</b>	<b>5.565852</b>	<b>368,003.46</b>	<b>368,426.52</b>
1.766	-0.5769	4.135736365	10.29741825	-0.13033377	196.4322505	5.564421	366,792.79	368,426.52
1.740	-0.5769	4.097345268	10.29741825	-0.13033377	187.0360926	5.527007	336,517.18	368,426.52

Fuente : El autor

De acuerdo a las iteraciones mostradas en el cuadro anterior, se tomará un  $\text{SN} = 1.767$  para el diseño de las capas de la estructura del pavimento.

**2. Coeficientes de capa.** El coeficiente de capa del pavimento flexible de AASHTO ( $a_i$ ) es una medida de la habilidad relativa de una unidad de espesor de un material dado para funcionar como un componente estructural del pavimento, y se expresa en "1 / unidad de longitud". Por ejemplo 2" de material con un coeficiente de capa de 0.20 se asume que provee la misma contribución estructural que da la del material de 1" con un coeficiente de capa de 0.40 / pulg.

A pesar que el concepto de **Coefficiente de capa** sigue siendo un punto central en cuanto al procedimiento de diseño de los pavimentos flexibles de AASHTO, la guía de diseño de 1,986, se apoya con más énfasis en la determinación de las propiedades de los materiales a través de los ensayos del **Módulo de Resilencia** (método AASHTO T724), para lo materiales granulares no ligados, y el módulo elástico (ASTM D4123 ó ASTM C469) para los concretos asfálticos y otros materiales estabilizados , para estimar valores apropiados del coeficiente de capa. Sin embargo, debido a que en nuestro país es muy difícil realizar dichos estudios de laboratorio, la guía AASHTO propone ciertos valores de coeficiente de capa para algunos materiales.

**Tabla No. 19**

**VALORES PARA COEFICIENTES DE CAPA**

COEFICIENTE DE CAPAS $a_i$ ( 1/ pulg)	
Material	Valores típicos
Concreto asfáltico	0.30 - 0.44
Base estabilizada con asfalto	0.20 - 0.38
Base tratado con cemento	0.15 - 0.20
Base tratada con cal	0.15 - 0.20
Base de piedra triturada	0.13 - 0.14
Sub-base granular	0.09 - 0.12

Fuente: Publicación de informe de Asistencia Técnica en mantenimiento LBH-DGC-BID

Los coeficientes de capa determinados para este diseño de pavimento, son:

Concreto asfáltico = 0.37

Base = 0.13

Sub-base = 0.11

**3. Pruebas de alternativas de espesores de capas para pavimento.** Una vez determinado el SN, se deben identificar varias combinaciones de espesores que correspondan al número estructural requerido, utilizando la siguiente ecuación:

$$SN = \sum (a_i * D_i * m_i) = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3 .$$

Donde :

.  $a_i$  = Coeficiente de capa de la capa i, ( 1 / pulg).

.  $D_i$  = Espesor de la capa i, (plg.)

.  $m_i$  = Coeficiente de drenaje de la capa i.

Esta ecuación, no tiene una solución única, ya que existen muchas combinaciones de capas de pavimentos que pueden adoptarse para alcanzar el número estructural (SN). Consideraciones de diseño, construcción, y costos permiten reducir el número de combinaciones posibles de capas así como evitar la posibilidad de diseños imprácticos.

**a. Concepto de análisis de capas.** Las estructuras de pavimentos son sistemas de capas que deben diseñarse adecuadamente. Las capas de base y sub-base deben ser protegidas de esfuerzos verticales excesivos que puedan originar deformaciones permanentes. Esto conlleva a la necesidad de colocar espesores mínimos de capa en la estructura del pavimento para los requerimientos de tráfico.

**b. Estabilidad y facilidad de construcción.** La magnitud del tráfico requiere espesores mínimos de capas por estabilidad y cohesión. Los siguientes son valores mínimos sugeridos, los cuales deberán modificarse de acuerdo a las condiciones locales.

Tabla No. 20

## VALORES MÍNIMOS PARA ESPESORES DE CAPA

Tráfico ESAL	Espesor mínimo (pulgadas)	
	Concreto asfáltico	Base granular
Menos de 50,000	1.0°	4.0
50,000 a 150,000	2.0	4.0
150,000 a 500,000	2.5	4.0
500,000 a 2,000,000	3.0	6.0
2,000,000 a 7,000,000	3.5	6.0
mas de 7,000,000	4.0	6.0

° Tratamiento superficial

Fuente: Publicación de I Convención Internacional de Infraestructura vial en Guatemala

Para este diseño de pavimento flexible, con ESAL= 368,426.52, se tiene como espesor mínimo 2.5 pulgadas de concreto asfáltico y 4.0 pulgadas de espesor de base Granular.

**4. DISEÑO DE ESPESORES.** Teniendo como número estructural (SN= 1.767) , y tomando consideraciones sobre los costos de la base sobre la sub-base, entonces

$$1.767 = 2.5'' * 0.37 + 4'' * 0.13 + D_{\text{sub-base}} * 0.11$$

$$\text{despejando para } D_{\text{sub-base}} = 2.93'' = 3''.$$

Debido a que las capas de Sub-base y Base son pequeñas y que en la etapa de construcción, bien se podría mezclar y compactar en una sola capa, se recomiendo únicamente colocar una capa de 2'' de concreto asfáltico y una sub-base Granular de 25 cms. ( 10 ") de espesor.

**Chequeo:**

	Espesor	Coefficiente. Estructural	SN
Capa de rodadura	2"	0.37	0.74
Sub-base Granular	10"	0.11	<u>1.10</u>
<b>SN PAVIMENTO</b>			<b>1.84 &gt; 1.767</b>

## **VIII. OBRAS AUXILIARES**

### **A. Muro de gravedad**

Es un muro que se fabrica de concreto ciclópeo en relación 66% roca o piedra y el resto 34% de arena, cemento y cal sin refuerzo de acero, esto es porque su resistencia a la fuerza de empuje se deberá principalmente a su propio peso, así su volumen es relativamente grande. En la estación 0+380 del proyecto existe la necesidad de un muro el cual se propone de gravedad por las ventajas siguientes, se adapta a la forma del terreno, se puede explotar banco de material existente en el lugar y ser una solución económicamente viable.

Generalidades de muro: se emplearán piedra dura y resistente, las piedras tendrán aproximadamente forma de sillares y se colocaran horizontalmente, cuando menos el 75% de la piedra consistirá en piedras de más de 50 kg cada una, las piedras más pesadas quedarán en la parte inferior del muro, cada piedra se apoyará en los hilares inferiores y no en forma de cuña en las piedras contiguas, el aspecto del muro será uniforme y razonablemente parejo. Los materiales y mano de obra se sujetaran a las especificaciones de la Dirección General de Caminos. El muro de retención se diseñará utilizando los factores de seguridad contra deslizamiento, volteo, capacidad soporte propuestas por las normas estructurales de diseño y construcción para la República de Guatemala NR-5, descritas en su capítulo 3, la cual recomienda como  $F_{sv}$  (factor de seguridad de volteo 1.5),  $F_{sd}$  (factor de seguridad contra deslizamiento 1.5).

## B. Drenajes

La tierra está completamente cubierta por una red de cursos de agua, pequeños y grandes, los que durante un tiempo geológico se han vuelto relativamente estables. Cada pequeño valle tiene su riachuelo por medio del cual, el agua de lluvia corre hacia el mar.

Se considera que el agua no controlada es uno de los elementos más perjudiciales para la estructura de cualquier tipo de pavimento es por ello que el objetivo principal de un drenaje es minimizar este impacto para prolongar la vida útil del pavimento.

Se logra controlar el agua de lluvia a través de conductos y obras de arte que conduzcan el agua de lluvia de una área a otra donde puedan ser desfogadas de una forma segura, estos conductos varían en tamaño desde pequeños tubos hasta grandes puentes según la magnitud de la corriente. El dimensionamiento de estos conductos necesita práctica y juicio maduro, ya que si el área del conducto es pequeño los rellenos de la carretera serán dañadas y si es muy grande gran cantidad de recursos serán mal invertidos.

**1. Diseño de cunetas o zanjas laterales.** Las cunetas o zanjas laterales a cada lado de la carretera sirven para interceptar el agua superficial que proviene del mismo, y de los taludes cuando existen cortes. En ciertos lugares las cunetas sirven para almacenar la lluvia que cae, o que se acumula al limpiar la vía. Las cunetas tienen un valor limitado para rebajar el nivel de las aguas subterráneas que existen debajo del pavimento de una carretera.

Por las características de la vía de acceso se recomienda adecuada utilizar cunetas tipo paloma o L (ele), la cual se calcula sus dimensiones utilizando el método racional, el cual está basado en la relación directa entre la precipitación pluvial y la esorrentía que se produce en el área de estudio.

Su fórmula es:  $Q = A * C * I / 360$  en donde

Q = caudal en metros cúbicos / hora o pies cúbicos / segundos o litros / segundos

A = área de la cuenca en hectáreas o acres.

C = coeficiente de escorrentía = escorrentía / precipitación

I = intensidad de lluvia en mm / hora o pulgada / hora

Nota: la intensidad depende de dos factores:

- a. Curvas de intensidad
- b. Tiempo de concentración = t

Diseño de cunetas

datos:

área = 120.35 hectáreas

C = 0.8 terrenos montañosos

a = 6,358.62

b = 48.56

H = Diferencia de nivel hasta el punto mas alto

L = Distancia máxima de flujo

Tiempo de concentración en minutos para cuencas grandes puede ser estimado mediante la siguiente fórmula:

$$t = \frac{(0.886 * L)^{0.385} * 60}{H^{0.385}}$$

$$t = \frac{(0.886 * 1.2)^{0.385} * 60}{350^{0.3}} = 7.41 \text{ minutos}$$

Intensidad  $I = a / (t + b) = 6,358.62 / (7.41 + 48.56) = 113.59 \text{ mm / hora}$

Caudal  $Q = A.C.I / 360 = 120.35 * 0.8 * 113.59 / 360 = 30.37 \text{ m}^3 / \text{seg.}$

Diámetro  $D = (Q*4^{5/3} / \text{PI}*S^{1/2})^{3/8} = (30.37^{5/3}*4^{5/3} / \text{PI}*0.2^{1/2})^{3/8} 7.50 \text{ pulg.}$

Con un diámetro de 7.5 pulgadas se tiene un área a sección llena de 0.02 m<sup>2</sup> con la cual se propone que las cunetas tipo L con una sección de 0.075 m<sup>2</sup> los detalles se incluyen en planos finales, las cunetas serán recubiertas con concreto propuesto para el pavimento del proyecto.

**2. Drenajes transversales.** La longitud necesaria para una alcantarilla depende de la anchura del camino, altura de terraplén y los taludes, pendiente y esviaje (*skew*); Tipo de extremos según sean secciones terminales, muros de cabecera extremos biselados, desagüe en pozo colector o vertedero.

El objetivo principal del drenaje transversal es dar paso al agua que tenga que cruzar de un lado a otro la carretera y conducirla a cauces naturales bien definidos donde no sea dañina a la estructura del pavimento. En el proyecto se recomienda la construcción de drenaje con tubería de un diámetro de 24 pulgadas con ángulo de esviaje de 30° y una pendiente de 3%. Para evitar cargas puntuales en la tubería se recomienda que exista un relleno de 0.60 metros entre el nivel de la rasante y la corona de la tubería. Cuando por algún motivo esta distancia sea menor, la tubería se deberá proteger con una base de suelo cemento o con muros y losa de concreto.

### **C. Cajas y cabezales**

Las cajas recolectoras de aguas pluviales y cabezales se describen en los planos finales del proyecto los cuales deberán construirse de concreto ciclópeo, el zampeado se colocará a mano con mortero de cemento. Los cabezales deberán de ser paralelos a la rasante de la carretera y tener la misma pendiente de ésta.

**D. Bordillos**

Los bordillos son estructuras de concreto simple que al igual que las cunetas se construyen longitudinalmente a la carretera con la finalidad de conducir el agua hacia zonas de descarga y de esta forma evitar erosiones en la estructura del pavimento. En el proyecto se recomienda su uso en zonas donde por alguna razón no se pueda utilizar la cuneta, los cuales deberán de ser construidos bajo los requisitos de las secciones 551, 553 y 609g de la Dirección General de Caminos. Las interrupciones de estos deberán tener un ancho de 0.4 a 0.5 metros y estar espaciadas entre 30 a 40 metros dependiendo de las condiciones y caudal a evacuar.

## ***IX. VOLÚMENES DE TRABAJO E INTEGRACIÓN DE COSTOS***

### **A. Movimiento de tierras**

El movimiento de tierras es el movimiento de una parte de la superficie de la tierra de un lugar a otro y en su nueva posición, crea una forma y condición física deseadas. En ocasiones, el material removido se desecha como desperdicio. Debido a la gran variedad de suelos existentes y de trabajos que deben efectuarse en ellos, se ha desarrollado una amplia variedad de equipos y métodos para este fin.

El diagrama de masas es una gráfica que muestra la acumulación del corte y el relleno según la distancia desde un punto de partida u origen. El corte se considera positivo y el relleno negativo. El volumen de cada uno se traza en metros cúbicos. Por lo general, la distancia se mide a lo largo de la línea de centro de la construcción, en estaciones separadas 30 metros, empezando con el origen como 0+ 00. Se aplican factores de esponjamiento a los cortes y factores de consolidación a los rellenos de terraplenes para obtener los metros cúbicos de banco excavados y el relleno compactado, respectivamente. Los volúmenes de corte y relleno para el proyecto fueron calculadas con el auxilio de las secciones trasversales tomadas a cada 20 metros.

### **B. Balance de cortes**

La curva de Bruckner es la representación gráfica de los volúmenes acumulados de corte y rellenos existentes en el proyecto y cuyo objetivo es mostrar la tendencia al aumento o disminución de estos volúmenes. La curva es creciente cuando predominan los volúmenes de corte, mientras que es decreciente cuando los volúmenes de relleno son predominantes. Si en la curva existen dos puntos con la misma ordenada, se dice que el movimiento de tierras está balanceado entre esos dos puntos, puesto que el material de corte existente es el necesario para realizar los rellenos en ese tramo. La línea de balance

es una lineal horizontal que corresponde a la unión de esos dos puntos, y a este sector se le llama tramo con balance.

Un tramo con balance y desperdicio ocurre cuando el volumen de corte excede la cantidad necesaria par realizar los volúmenes de relleno, y por otro lado un tramo con balance y préstamo existe cuando el material de corte es insuficiente para la construcción de los rellenos de ese mismo tramo. Al momento de realizar el cálculo de los puntos de balance, hay que considerar que existe una capa de suelo con materia orgánica de aproximadamente 0.3 metros de espesor, la cual debe ser removida para efectuar los rellenos o bien cuando el material por debajo de ésta no sea desperdicio. Los volúmenes de corte y relleno a ser utilizados como materiales en el proyecto no son afectados por ningún factor de contracción ni de consolidación..

Debido a las condiciones y característica particulares del proyecto requiere de material de préstamo para alcanzar el nivel y la rasante diseñada para la nueva ruta.

La Dirección General de Caminos considera los siguientes renglones para el cálculo y ejecución de movimiento de tierras:

**1. Corte.** Es el material no clasificado que se excava dentro de los límites de la construcción, para ser utilizado en la construcción de terraplenes.

**2. Excavación no clasificada.** Es la operación de cortar y remover cualquier clase de material independiente de su naturaleza o de sus características, dentro y fuera de sus límites de construcción, para incorporarlo en la construcción de rellenos con material proveniente de corte y existe material sobrante, éste tendrá que desperdiciarse cuando así haya sido contemplado en el diseño o porque el material es

inadecuado. Su unidad de medida y pago será m<sup>3</sup> y toda la excavación será no clasificada.<sup>14</sup>

**3. Excavación no clasificada de desperdicio.** Es el material resultante de la excavación que de acuerdo con los planos constituye sobrante o que sea material inadecuado para la construcción de la obra, su unidad medida y pago es m<sup>3</sup>.

**4. Excavación no clasificada para préstamo.** Cuando todo el material proveniente del corte sea insuficiente para completar los rellenos y terraplenes de conformidad con los planos, tendrá que recurrirse a obtener materiales provenientes de áreas ubicadas fuera de los límites de construcción o bancos de préstamo, la unidad de medida y pago es el m<sup>3</sup>.

**5. Límites de construcción.** Es el área de terreno comprendida entre las intersecciones de los planos de los taludes, con el terreno original. En algunos casos, estos límites se extienden más allá de los correspondientes al derecho de vía.

**6. Acarreo libre.** Es el transporte de materiales no clasificados, provenientes del corte y de préstamo, así como el transporte del material de desperdicio, a una distancia menor o igual a 1,000 metros.

**7. Acarreo.** Es el transporte de materiales no clasificados, provenientes del corte y de préstamo así como el transporte del material de desperdicio, a cualquier distancia que exceda de 1,000 metros, se paga por el número de metros cúbicos – kilómetro de acarreo.<sup>15</sup>

---

<sup>14</sup> Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes / 2.001 división-200

<sup>15</sup> Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes / 2,001-división 200

## C. Maquinaria utilizada para construcción de carreteras

1. **Equipo de compactación.** Los métodos comunes de compactación de suelos utilizados en la construcción de carreteras son de fuerza estática y de fuerza de impacto, es necesario contar con el equipo adecuado de acuerdo a los materiales a trabajar. Se podrá utilizar compactadoras de rodillo de acero liso llamadas TANDEN, para indicar que uno de los rodillos sigue la misma trayectoria que el otro. Si existieran tramos con presencia de arcilla o barro se recomienda la compactadora rodillo pata de cabra que trabaja de mejor forma en suelos con estas características. Este trabajo no tiene el alcance de determinar con exactitud el equipo de compactación necesario para el proyecto, pues existen muchas variables involucradas que sólo pueden evaluarse al momento de la construcción y ejecución, a continuación se describe de forma general el equipo utilizado en la compactación de la construcción de carreteras.

2. **Equipo de excavación y corte.** Principalmente se utilizan palas mecánicas o retroexcavadoras para excavar debajo de la superficie natural de terreno sobre la cual descansa la máquina que está adaptada para la excavación de pozos, trincheras y trabajos de excavación escalonados, el tractor con cuchillas frontal o "Bulldozer" que se desplaza verticalmente puede empujar la tierra de un lugar a otro y conformar la superficie que tiene muchísimas aplicaciones y generalmente se relaciona con trabajos donde se requiere mucha potencia.

3. **Equipo de carga y acabados.** Cargador frontal de ruedas o montado sobre orugas, cuentan con un cucharón grande para la carga de los diferentes materiales movilizados en la construcción de carreteras. La motoniveladora es una máquina que se utiliza para mover la tierra u otro material suelto y es considerada como básica para operaciones de afinamiento de la superficie, pues es una tarea de bastante exactitud. Camión de volteo es adecuado para utilizarse en acarreo de muchos tipos y clases de materiales indispensable en la construcción de carreteras.

## D. Aspecto administrativo legal

1. **Aspecto administrativo.** Para la movilización de trámites del proyecto se cuenta con la representación del comité pro-mejoramiento de carretera del municipio de Nuevo Progreso, del cual su presidente es el señor Calixto Ramírez; dicho comité se encuentra legalmente inscrito en gobernación departamental.

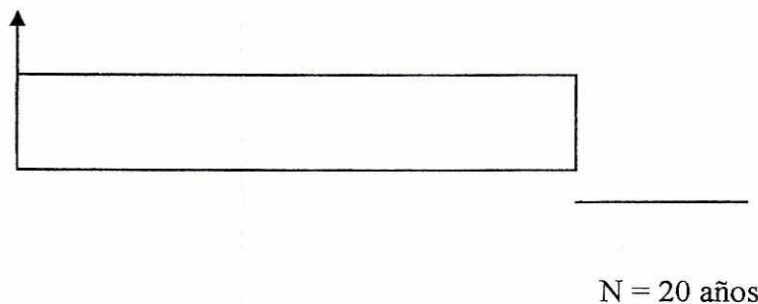
## E. Costos del proyecto

Para ejecución del proyecto de pavimentación del tramo Pajapita-Nuevo Progreso, se estimaron los costos que se presentan en la tabla siguiente, los cuales incluyen su valor de transporte, la mano de obra incluye los trabajos necesarios para la realización de cada actividad previa a la construcción final del renglón estimado así como acabados finales.

### 1. Valor actual neto

Datos:

Valor actual del proyecto	Q 65,000,000.00
Periodo de vida útil	20 años
Beneficiarios actuales	10,766 habitantes
Tasa de interés	12 %
Q 65,000,000.00	$i = 12\%$



## 2. Análisis de población futura

Pf = Población futura

Po = Población actual 10,766 habitantes

r = Tasa de crecimiento = 2.5 %

$Pf = Po \times (r/100 + 1)^N = 10,766 \times (2.5/100 + 1)^{20} = 17,641.34$  habitantes

17,641 habitantes / 5 habitantes / vivienda = 3,528.27 viviendas

$65,000,000.00 \times 0.12 = 7,800,000.00$

$7,800,000 / 12 = 650,000$

$650,000 / 3528.27 = 184$

**Conclusión:** Si la inversión fuera reembolsable en 20 años se tendrían que cancelar mensualidades de Q 650,000.00 distribuidos en todos los beneficiarios, lo que equivaldría a cancelar una cuota de Q 184.00 por cada vivienda.

## 3. Relación costo beneficio

$C / B = \text{Costo total} / \text{Beneficiarios} \times N$

$C / B = 65,000,000.00 / (10766 \times 20) = 301.87$

El factor de costo beneficio es de 301.87 el cual se considera alto, lo que significa que el beneficio es bajo con relación al alto costo del proyecto, es importante mencionar que esto se debe a que inicialmente la población es muy pequeña, sin embargo el potencial de comercio y otros factores como turismo y transporte podrían absorber el costo inicial del proyecto, por otra parte si evaluamos el método de construcción seleccionado, podemos evidenciar que una de las ventajas del pavimentos flexible tiene la característica de construcción rápida y de uso inmediato.

## **CONCLUSIONES**

1. Se hace necesario y determinante, en el proyecto, el movimiento de tierras para mejorar las condiciones de pendientes y visibilidad para lograr un acceso cómodo y seguro, el cual tiene un costo alto en el presupuesto.
2. Para obtener y garantizar un buen diseño de pavimento es de suma importancia contar con un estudio detallado de los materiales que serán utilizados como agregados. También se debe hacer un estudio de suelos y, al mismo tiempo, considerar las características particulares de cada proyecto.
3. La relación costo-beneficio del proyecto resulta alta si se maneja como una expresión numérica de inversión inicial. Tal situación evidencia la urgente necesidad de mejorar el acceso a la comunidad a un alto costo, pues es imprescindible para su desarrollo e integración socioeconómica y así comunicarse eficientemente con los mercados de la región.

## ***RECOMENDACIONES***

1. Que se sigan las especificaciones técnicas detalladas en este trabajo para obtener los resultados esperados en el mismo.
2. Que este trabajo sea guía para estudios posteriores que conduzcan a la realización del proyecto.
3. Que se realice un estricto control de calidad del concreto asfáltico utilizado en el pavimento siguiendo las especificaciones de la Dirección General de Caminos en su división 500.
4. Que se reconozca la necesidad urgente de la comunidad de mejorar su comunicación con los mercados vecinos para lograr su desarrollo.
5. Se recomienda analizar el concepto de costo beneficio de tal forma que se maneje como un costo alto de impacto imprescindible para alcanzar el bienestar socioeconómico de la comunidad.

**BIBLIOGRAFIA**

Santiesteban Batz, Jaime Humberto. 1,993. *Diseño Hidrológico e Hidráulico del Drenaje menor de carreteras*. Tesis de ingeniería civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 115 págs.

Guevara Utrilla, Francisco Luis. 1,964. *Estudio y cálculo de los elementos básicos para el diseño de carreteras*. Tesis ingeniería civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 145 págs.

Crespo Villalaz, Carlos. 1,998. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. 4ª. Edición. México, Editorial Noriega Limusa. 639 págs.

Augusto René Pérez Méndez. 1,989. *Metodología de actividades para el diseño geométrico de carreteras*. Tesis ingeniería civil Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 122 págs.

Guatemala, 2,001. Dirección General de Caminos. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes, Libro Azul*. 2ª. Edición Guatemala, Litografía Guatemala. 807 págs.

Anckerman Álvarez, Enrique. 1964. *Manual para laboratorio de suelos en construcción de carreteras*. Tesis ingeniería civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 145 págs.

Departamento de Ingeniería, Proyectos de Obra Civil, S.A. 2,004. *Información técnica con respecto al planeamiento y ejecución de proyectos viales*. 1,355 págs.

Martínez Quevedo, Irvin Benjamín. 1,989. *Análisis del Diseño de pavimentos para el proyecto CA-2-Oriente, Tramo TAXISCO-CIUDAD PEDRO DE ALVARADO*. 89 págs.

Paiz, Byron. 1,999. *Diseño de Pavimentos para "El Área Rural"*. I Convención Internacional de Infraestructura Vial en Guatemala. 60 págs.

