

T-UES
1501
B533e
2002
Ej. 2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
INGENIERÍA CIVIL



ESTUDIO DE LOS REQUISITOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO
GEOMÉTRICO DE CAMINOS RURALES SOSTENIBLES

PRESENTADO POR:

15101766

BERNARDO BLADIMIR BERRÍOS GÓMEZ

15101766

RICARDO ANDRÉS HERNÁNDEZ DÍAZ

EMERSON VLADIMIR ROQUE VALDEZ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO DE 2002



5109

Recibido el 14 de enero de 2002



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA

:

Dra. María Isabel Rodríguez

SECRETARIA GENERAL:

Lcda. Lidia Margarita Muñoz Vela

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO

:

Ing. Alvaro Antonio Aguilar Orantes

SECRETARIO

:

Ing. Saúl Alfonso Granados

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR

:

Ing. Luis Rodolfo Nosiglia Durán

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de graduación previo a la opción al grado de:

INGENIERO CIVIL

Título

:

**ESTUDIO DE LOS REQUISITOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO
GEOMÉTRICO DE CAMINOS RURALES SOSTENIBLES**

PRESENTADO POR:

BERNARDO BLADIMIR BERRÍOS GÓMEZ

RICARDO ANDRÉS HERNÁNDEZ DÍAZ

EMERSON VLADIMIR ROQUE VALDEZ

Trabajo de graduación aprobado por:

Coordinador :

ING. M.Sc. ROGELIO ERNESTO GODÍNEZ GONZÁLEZ

Asesor externo :

ING. HÉCTOR ALEJANDRO PORTILLO CORTEZ

San Salvador, Enero de 2002

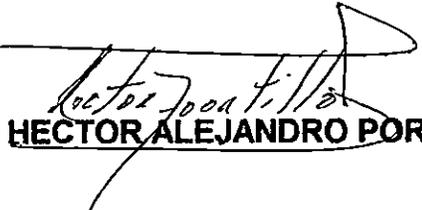
Trabajo de graduación aprobado por:

Coordinador y asesor :



ING. M.Sc. ROGELIO ERNESTO GODÍNEZ GONZÁLEZ

Asesor externo :



ING. HECTOR ALEJANDRO PORTILLO CORTEZ



AGRADECIMIENTOS:

A la Universidad de El Salvador, por habernos dado la oportunidad de formarnos profesionalmente.

A los docentes que con su esfuerzo y profesionalismo supieron proporcionarnos las herramientas necesarias para nuestra formación.

A nuestro coordinador y asesor Ing. Msc. Rogelio Ernesto Godínez González por su profesionalismo y apoyo incondicional.

A nuestro asesor externo Ing. Héctor Alejandro Portillo Cortez por su desinteresada y valiosa colaboración prestada a lo largo de este trabajo de graduación.

Al Ing. Mauricio Valencia y a nuestro compañero Boris González por habernos brindado su ayuda cuando lo necesitamos.

A las familia Hernández Díaz y Roque Valdez, especialmente a la niña Angélica y a la niña Blanca por la paciencia y atenciones brindadas durante todo el tiempo que duró el desarrollo de este trabajo de graduación.

Bladimir, Ricardo y Emerson

DEDICATORIA:

A Dios padre por darme esta oportunidad.

A Jesucristo por sostenerme en todo momento.

Al Espíritu Santo por acompañarme siempre, dándome la sabiduría y fortaleza necesaria para poder triunfar.

A mis padres ANDRÉS BERRIOS POLIO y AMANDA DE LA PAZ GOMEZ CHÁVEZ que con su esfuerzo y determinación me dieron todo lo espiritual y material para formarme en valores y principios.

A mis hermanos ELÍAS GODOFREDO, NORMA RAQUEL Y LEONARDO ARSENIO por estar conmigo apoyándome y alentándome en todo tiempo, principalmente en los momentos difíciles.

A mis tíos y primos, especialmente a GUSTAVO por su dedicación y consejos oportunos.

A mis amigos que me han brindado su cariño y apoyo y por compartir momentos gratos, especialmente a Karlita, Meybi, Somoza, Julio y la familia Ortiz Alvarado.

Bladimir.

DEDICATORIA:

A Dios por haberme dado la paciencia y perseverancia para culminar mi carrera

Al Alma Mater por haberme formado académicamente y permitirme ser parte de ella.

A mis padres Ricardo Hernández y María Angélica Díaz por haberme dado una educación intelectual, moral, espiritual y su incondicional apoyo.

A mi hermana Raquel que siempre estuvo conmigo brindándome toda su dedicación y colaboración.

A mi tía Arlet por sus consejos y cariño que siempre me demostró, la recordare siempre.

A mis compañeros de tesis Emerson y Bladimir, a mis compañeros de fila Adrián, Castillo y Agüita que siempre departimos momentos agradables.

Ricardo.

DEDICATORIA:

En primer lugar agradecer a Dios por permitirme terminar una etapa más de mi vida y por guiarme en todo este tiempo.

A la memoria de mi abuelo Juan Francisco Roque Reyna (Q. D. G. G), por ser un ejemplo de rectitud, perseverancia y honestidad. GRACIAS VIEJO.

A mi abuela María Otilia Gochéz de Roque, por apoyarme moral, espiritual y económicamente a lo largo de mi vida como estudiante.

A mis padres Carlos Humberto Roque Gochéz y Blanca Elena Valdez de Roque, por darme las oportunidades que he tenido en mi vida, corregirme, apoyarme en los momentos difíciles y sobre todo por creer en mi.

A mi tío Luis Reyes , por ser para mi un modelo profesional digno de imitar.

A mi tío Juan Francisco Roque Gochéz, por creer en mí y apoyarme sin condición en todo aspecto.

A mis hermanos Carlos y Ana y a mis primos Alejandro y Fátima por creer en mí. A mi familia en general por brindarme su apoyo incondicional y su calor familiar.

A mis tíos Mauricio y Yolanda por apoyarme y jamás dejarme solo.

A mi novia Lybania por darme su apoyo moral en todo momento.

A mis compañeros de tesis BLADIMIR y RICARDO, por haber logrado culminar esta meta. A mis amigos que he cultivado a lo largo de este tiempo.

Emerson.

RESUMEN

Los Caminos Rurales sostenibles son un nuevo concepto en vías de comunicación en El Salvador y no están consideradas dentro de la actual clasificación vial de la ley de carreteras y caminos vecinales. En los requisitos para el diseño geométrico establecidos por el Ministerio de Obras Públicas (MOP), se priorizan los siguientes criterios para proyectar cualquier tramo de camino de este tipo: a) Mantener en lo posible la configuración geométrica del camino a mejorar b) Proporcionar una superficie de rodadura de concreto asfáltico o concreto hidráulico.

El trabajo de graduación titulado "Estudio de los requisitos técnicos para el diseño geométrico de caminos rurales sostenibles", tiene como propósito ampliar, mejorar y adaptar las normas existentes de diseño geométrico para los mismos, analizando los elementos del alineamiento horizontal, alineamiento vertical y sección transversal, en base a normas, especificaciones y tecnología de la American Association of State Highway and Transportation official (AASHTO), la Secretaría de Obras públicas de México, Dirección general de caminos, del MOP, etc., aplicadas a condiciones Topográficas, Económicas, Sociales, y Políticas de los Caminos Rurales Sostenibles. Partiendo de esto se revisa la ley de carreteras y caminos vecinales de El Salvador, la composición y condiciones de la red vial actual del país, las características con que se han desarrollado los proyectos de caminos rurales sostenibles así como también los factores económicos, poblacionales y fisiográficos que influyen en la realización de estas vías de comunicación; encontrando grandes diferencias en la calidad de los distintos proyectos realizados y otros que se están ejecutando, falta de un monitoreo y actualización de la red vial, condiciones geométricas difíciles de los actuales caminos rurales para un bajo costo debido a que un 88% de la superficie de El Salvador está formado por montañas, volcanes y planicies de

tierra alta, ya que en estos lugares es donde se construyen la mayoría de caminos rurales sostenibles.

El usuario y el vehículo de proyecto rigen el diseño geométrico de caminos rurales sostenibles, partiendo de un diagnóstico de las características geométricas del camino existente, de la operación de los vehículos, la velocidad, el tránsito, la capacidad y nivel de servicio. Un mismo camino puede atravesar diferentes tipos relieve, plano, ondulado y montañoso en función de las pendientes dominantes. En base a conteos de tránsito hechos por el MOP en los caminos, antes de ser mejorados, se proyectó el vehículo de diseño como DE-450 y un tránsito promedio diario anual (T.P.D.A.) de 295 vehículos. Las velocidades de proyecto que se establecen son: terreno montañoso 40 km/h, terreno ondulado 50 km/h y terreno plano 60 km/h. En la aplicación de los parámetros así propuestos al proyecto El Carmen a finca Desiree: pendientes, longitud crítica de tangentes en alineamiento vertical, ancho de rodadura en tangente y en curva, sobreelevación, radios mínimos de curvas horizontales, longitudes mínimas de curvas verticales, y distancias mínimas de visibilidad de parada y de rebase; se diseñaron tres propuestas con el propósito de hacer un análisis comparativo ilustrando la geometría del camino respetando los criterios del MOP y la condición más óptima que se puede obtener conciliando un bajo costo con la seguridad de los usuarios.

Los parámetros para definir la geometría de los caminos rurales sostenibles, se establece con valores límites que pueden utilizarse según el tipo de terreno, la propuesta final de requisitos a cumplir para el diseño geométrico, se especifica en el resumen de la siguiente tabla:

Tabla I. Propuesta final de requisitos técnicos de Diseño Geométrico para Caminos Rurales Sostenibles.

PARÁMETROS	TERRENO			
	PLANO	ONDULADO	MONTAÑOSO	
Vehículo de diseño	DE-450	DE-450	DE-450	
Velocidad de Proyecto (Km/h)	60	50	40	
Pendiente Máxima (%)	2	6	10 ^q	
Pendiente Mínima (%)	0.5	-	-	
Longitud Crítica (m)	Indefinido	800	210 [§]	
Ancho de rodadura en tangente (m)	6.1	6.1	6.1	
Obstáculos laterales (m)	0.6	0.6	0.6	
Nivel de servicio	C	C	C	
Sobreelevar en curvas circulares (m)	2.21	2.21	2.21 [¶]	
Longitud mínima de transición de bombeo a sobreelevación (m)	15	15	15	
Bombeo (%)	1 a 2	1 a 2	1 a 2	
Sobreelevación máxima (%)	10	10	10	
Longitud mínima de tangentes entre curvas circulares (m)	50	45	40	
Distancia mínima de visibilidad de parada (m)	66	45	40	
Distancia mínima de visibilidad de rebase (m)	270	225	180	
Radio mínimo de curvatura (m)	105	75	50 [*]	
Grado máximo de curvatura (°)	10.95	15.17	22.82	
Longitud mínima de curvas verticales	$K=L/A$ (cresta) ¹	10.28	4.86	3.72
	$K=L/A$ (columpio) ¹	12.4	7.46	6.09
	$L=0.6V$ (m) ⁿ	35	30	24

^q En base a un análisis de la relación peso/potencia de este requisito se determinó que para condiciones de relieve fuerte se aceptará una pendiente máxima de 12%

[§] Para relieves fuertes al aumentar el valor requerido para la pendiente máxima, la longitud crítica se reduce a 110 m.

[¶] Este valor se podrá aumentar hasta en un 50% para radios de curvas menores de 50 m.

^{*} En terrenos cuyas pendientes obliguen a los vehículos a viajar a la velocidad de régimen, el radio mínimo de curvatura, podrá ser de 25.0 m.

¹ L se encuentra evaluando $L=KA$ para un valor específico de A y comparando este resultado con $L=0.6V$, utilizando el mayor de los dos.

ⁿ Esta debe ser en todo caso la longitud mínima para curvas verticales

ÍNDICE.

CONTENIDO	PAGS.
INTRODUCCIÓN	i
CAPÍTULO I. MARCO DE REFERENCIA TÉCNICO	
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema.	7
1.3 Objetivos	9
1.4 Alcances	10
1.5 Limitaciones	10
1.6 Delimitaciones	10
1.7 Justificación	10
1.8 LEY DE CARRETERAS Y CAMINOS DE EL SALVADOR	
1.8.1. Objeto de la ley y definiciones	12
1.8.2. Planificación vial	14
1.8.3. Uso de las vías públicas	14
1.8.4. Disposiciones finales	15
1.9. RED VIAL ACTUAL DE EL SALVADOR	
1.9.1. Descripción de la red vial	15
1.9.1.1. Estado actual de la red vial	15
1.9.1.2. Descripción de la clasificación de la red vial, según el tránsito y geometría.	17

1.9.1.3. Localización y cuantificación de la red vial de	
El Salvador.....	19
1.10. CONCEPCIÓN DE CAMINOS RURALES SOSTENIBLES	20
1.10.1. Concepto actual de Caminos Rurales Sostenibles	21
1.10.2. Criterios básicos para el diseño geométrico de	
Caminos Rurales Sostenibles, establecida por el	
Ministerio de Obras Públicas.....	22
1.10.3. Realización de Caminos Rurales Sostenibles	23
1.10.3.1. Proyectos ejecutados	23
1.10.3.2. Proyectos en ejecución	23
1.10.3.3. Proyectos por ejecutar	25
1.11. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESARROLLO DE LOS	
CAMINOS RURALES SOSTENIBLES.	
1.11.1. Factores económicos.....	25
1.11.2. Factores poblacionales.....	26
1.11.3. Factores fisiográficos.....	27
1.12. ELEMENTOS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO	
1.12.1. El usuario	30
1.12.2. El vehículo	32
1.12.2.1. Clasificación	32
1.12.2.2. Características geométricas y de operación.....	33
1.12.2.2.1. Dimensiones.....	33

1.12.6. Capacidad.....	57
1.12.6.1. Objetivo de la capacidad.....	58
1.12.6.2. Factores que afectan la capacidad.....	60
1.12.6.2.1 Factores relativos al camino.....	60
1.12.6.2.2 Factores relativos al transito.....	68
1.12.6.3. Capacidad para condiciones de circulación continua...	74
1.12.6.3.1. Capacidad bajo condiciones ideales en	
carreteras de dos carriles con dos sentidos...	75
1.12.7. Nivel de servicio.....	75
1.12.7.1. Tipos de niveles de servicio.....	80

**CAPITULO II. DIAGNÓSTICO SOBRE LOS PRINCIPIOS BÁSICOS
PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CAMINOS RURALES
SOSTENIBLES.**

2.1. INTRODUCCIÓN.....	87
2.2. ELEMENTOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO.	
2.2.1. Clasificación del tipo de terreno.....	87
2.2.2. Vehículo de proyecto.....	88
2.2.3. Velocidad de proyecto.....	95
2.2.3.1. Definición.....	95
2.2.3.2. Establecimiento de la velocidad de proyecto.....	96
2.2.4. Pendientes máximas.....	98

2.2.4.1.	Terreno montañoso.....	102
2.2.4.2.	Terreno ondulado.....	105
2.2.4.3.	Terreno plano.....	108
2.2.5.	Sección transversal.....	110
2.2.5.1.	Ancho de rodadura	111
2.2.5.1.1.	Ancho de rodadura en tangente.....	112
2.2.5.1.2.	Sobreancho en curvas circulares.....	114
2.2.5.2.	Bombeo.....	117
2.2.5.3.	Sobreelevación.....	118
2.2.6.	Alineamiento horizontal.....	121
2.2.6.1.	Tangentes horizontales.....	121
2.2.6.2.	Curvas horizontales.....	123
2.2.6.3.	Principios generales para el alineamiento horizontal.....	125
2.2.7.	Distancia de visibilidad.....	126
2.2.7.1.	Distancia mínima de visibilidad de parada.....	126
2.2.7.2.	Distancia mínima de visibilidad de rebase.....	129
2.2.8.	Alineamiento vertical.....	129
2.2.8.1.	Curvas verticales.....	130
2.2.8.2.	Normas generales para el alineamiento Vertical.....	133

2.2.9. Combinación de los alineamientos horizontal y vertical.....	134
2.2.10 Alineamiento de los Caminos Rurales Sostenibles.....	135

CAPITULO III. CASO DE APLICACIÓN.

3.1. INTRODUCCIÓN.....	138
3.2. GENERALIADES DEL PROYECTO.....	138
3.2.1. Descripción del proyecto.....	139
3.3. PROPUESTA DE REQUISITOS PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CAMINOS RURALES SOSTENIBLES.....	141
3.3.1. Reseña de la metodología seguida para el diseño geométrico de Caminos Rurales Sostenibles.....	143
3.3.2. Propuesta No. 1 Alineamiento del camino existente.....	144
3.3.3. Propuesta No. 2 Alineamiento del camino mejorado.....	145
3.3.4. Propuesta No. 3 Alineamiento del camino mejorado.....	147
3.4. CONCLUSIONES.....	149
3.5. RECOMENDACIONES.....	151

CAPITULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	153
4.1.1. Resultados obtenidos de la evaluación de los requisitos de diseño para distintas condiciones de terreno.....	156

4.1.2.	Análisis de resultados.....	158
4.2.	REQUISITOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO PARA CAMINOS RURALES ESTABLECIDOS POR EL MOP.....	164
4.3.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	166
4.4.	CONCLUSIONES	170
4.5.	RECOMENDACIONES.....	172

CAPITULO V. PROPUESTA DE ESPECIFICACIONES

5.1.	INTRODUCCIÓN.....	174
5.2.	REQUISITOS PROPUESTOS PARA DISEÑO GEOMÉTRICO DE LOS CAMINOS RURALES SOSTENIBLES.....	174
5.3.	TABLA V-I. PROPUESTA FINAL DE REQUISITOS TÉCNICOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO PARA CAMINOS RURALES SOSTENIBLES	177

CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.	CONCLUSIONES.....	179
6.2.	RECOMENDACIONES.....	181
	BIBLIOGRAFÍA.....	183
	ANEXOS	185
	ANEXO I. LEY DE CARRETERAS Y CAMINOS VECINALES.....	186

ANEXO II. RESOLUCIÓN N^o 0057/2001. DIRECCIÓN GENERAL DE TRANSPORTE TERRESTRE, VICEMINISTERIO DE TRANSPORTE.....	195
ANEXO III. PESO MÁXIMO PERMISIBLE POR TIPO DE VEHÍCULOS....	197
ANEXO IV. PLANOS DE ALTERNATIVAS	
GLOSARIO	1
APÉNDICE.....	1

INDICE DE TABLAS

TABLA N^o

Tabla N^o I-1. Condición en que se encuentra la red vial	17
Tabla N^o I-2. Proyectos de Caminos Rurales Sostenibles ejecutados hasta la fecha.....	24
Tabla N^o I-3. Clasificación general de los vehículo.....	34
Tabla N^o I-4. Características de los vehículos de proyecto.....	44
Tabla N^o I-5. Efecto del ancho de carril en la capacidad de tránsito continuo.....	62
Tabla N^o I-6. Efecto de las obstrucciones laterales en la capacidad práctica del tránsito continuo.....	63
Tabla N^o I-7. Efecto combinado del ancho del carril y de la restricción del espacio a los lados.....	64
Tabla N^o I-8. Ancho mínimo de acotamientos recomendados para carreteras rurales.....	65

Tabla N° I-9. Vehículos ligeros equivalentes por camión y por autobús en tramos largos de carreteras de dos carriles.....	71
Tabla N° I-10. Vehículos ligeros equivalentes por caminos, para Subtramos pendientes especificadas de carreteras de dos carriles.....	72
Tabla N° I-11. Vehículos ligeros equivalentes por autobús en subtramos o pendientes especificadas de carreteras de dos carriles.....	73
Tabla N° I-12. Criterios básicos para la evaluación de los niveles de servicio	80
Tabla N° I-13. Niveles de servicio máximos para caminos de dos carriles bajo condiciones de flujo continuo.....	83
Tabla N° II-1. Volúmenes de tránsito	90
Tabla N° II-2. Datos dimensionales y parámetros de un vehículos tipo de diseño que puede funcionar en los Caminos Rurales sostenibles.....	95
Tabla N° II-3. Velocidad de proyecto en base al tipo de terreno	98
Tabla N°II- 4. Relación entre pendientes y velocidad de proyecto	109
Tabla N°II- 5. Longitud crítica para distintas velocidades de proyecto y pendientes máximas	110
Tabla N°II –6. Valores máximos de sobreelevación para distintas condiciones	121

Tabla N°II – 7. Longitudes mínimas de tangentes entre curvas	
Circulares horizontales para los tres tipos de terrenos...	123
Tabla N°II – 8. Radios mínimos de curvas y grados máximos de	
Curvatura para curvas horizontales.....	126
Tabla N°II – 9. Coeficiente de fricción longitudinal de pavimentos	
asfálticos para distintas velocidades.....	128
Tabla N°II – 10. Distancia mínima de parada que corresponden a las	
distancias mínimas de visibilidad en cualquier punto..	129
Tabla N°II – 11. Distancia mínima de visibilidad de rebase.....	130
Tabla N°II – 12. Longitud mínima de curvas verticales.....	134
Tabla N°III – 1. Propuesta de requisitos para diseño geométrico de	
Caminos Rurales Sostenibles.....	142
Tabla N°IV – 1. Pendientes máximas correspondientes a distintas	
Velocidades para un terreno montañoso.....	161
Tabla N° V – 1. Propuesta final de requisitos técnicos de diseño	
geométrico para Caminos Rurales Sostenible.....	176

INDICE DE FIGURAS

Fig. I – 1. Dimensiones de los vehículos ligeros y pesados	35
Fig. I – 2. Ancho del vehículo en curva	37
Fig. I – 3. Curva peso/potencia	39
Fig. I – 4. Relación entre velocidad de marcha y del proyecto.....	46

Fig. I – 5. Curvas de variación de las corrientes de tránsito, fluctuación promedio y fluctuaciones máximas.....	53
Fig. I – 6. Vehículos ligeros equivalentes por camión, para diferentes velocidades medias de los camiones en caminos de dos carriles.....	70
Fig. I – 7. Concepto general de los niveles de servicio	84
Fig I –8. Ilustración de los diferentes niveles de servicio	85
Fig. II –1. Dimensiones del vehículo de proyecto en metros	94
Fig. II –2. Características del vehículo de proyecto	95
Fig. II –3. Resistencia por pendiente	100
Fig. II –4. Efecto de la fuerza centrífuga sobre el vehículo.....	119
Fig. II –5. Elementos de una curva circular.....	124
Fig. II –6. Elementos de una curva vertical.....	131

SIMBOLOGIA

- A** : Ancho total del vehículo
- DE** : Distancia entre los ejes mas alejados de la unidad
- DES** : Distancia entre la articulación y el eje del semirremolque cuando el semirremolque tiene ejes tándem
- DET** : Distancia mas alejada entre los ejes del tractor
- D_p** : Distancia de visibilidad de parada
- D_R** : Distancia mínima de visibilidad de rebase

- D_s** : Distancia entre el eje posterior del tandem del tractor y el eje delantero del tándem del semirremolque
- D_t** : Distancia entre el delantero del tractor y el primer eje del tándem
- e** : Eficiencia del motor del vehículo
- EV** : Entrevía, distancia entre las caras extremas de las ruedas
- f** : Coeficiente de fricción entre llanta y pavimento
- F_D** : Fuerza disponible para acelerar o desacelerar el vehículo
- F_T** : Fuerza tractiva neta del vehículo
- H_c** : Altura de los ojos del conductor
- H_f** : Altura de los faros delanteros
- H_l** : Altura de las luces posteriores
- HP** : Potencia en caballos de fuerza
- H_t** : Altura total del vehículo
- L** : Longitud total del vehículo
- P** : Pendiente de la tangente del alineamiento vertical, en por ciento.
- Pot** : Potencia disponible del vehículo
- F_A** : Resistencia producida por el aire al movimiento del vehículo
- F_f** : Resistencia producida por la fricción entre llanta y superficie de rodamiento
- F_P** : Resistencia que ofrece la pendiente al movimiento del vehículo
- F_R** : Resistencia al rodamiento producida por la deformación de la llanta
- t** : Tiempo de reacción del conductor en segundos

- Ts** : Distancia entre los ejes del tándem del semirremolque
- Tt** : Distancia entre los ejes del tándem del tractor
- V** : Velocidad
- Vd** : Vuelo delantero
- Vt** : vuelo trasero
- W** : peso total del vehículo
- α : Angulo de desviación del haz luminoso de los faros
- PI** : Punto de intersección de tangentes
- PC** : Principio de curva horizontal
- PT** : Principio de tangente
- Rc** : Radio de curva en el alineamiento horizontal
- Gc** : Grado de curvatura
- Δ : Angulo central o deflexión
- ST** : subtangente
- L** : Longitud de curva
- PIV** : Punto de intersección de las tangentes en alineamiento vertical
- PCV** : Punto en donde comienza la curva vertical
- PTV** : Punto en donde termina la curva vertical
- P₁** : Pendiente de la tangente de entrada en por ciento
- P₂** : Pendiente de la tangente de salida en por ciento
- A'** : Diferencia algebraica entre las pendientes de la tangente de entrada y la de salida

- γ : Ángulo entre la horizontal y la línea que define la pendiente
- a_c : Ancho de rodaje en curva
- a : Sobreancho
- z : Sobreancho por dificultad de maniobra
- A_T : Ancho de rodaje en tangente
- V_t : Vuelo trasero
- V_d : Vuelo delantero
- DE : Distancia entre ejes
- EV : Entrevía
- C : Distancia libre entre vehículos
- U : Distancia entre huellas externas
- F_z : Proyección del vuelo
- S : Sobreelevación
- β : Ángulo entre la horizontal y la línea que define la sobreelevación de la curva horizontal
- F_c : Fuerza Centrífuga
- μ : Coeficiente de fricción entre el pavimento y las llantas del vehículo
- g : Gravedad
- L_t : Longitud mínima de tangente entre curvas circulares horizontales, en metros
- A_v : Área frontal del vehículo

SIGLAS UTILIZADAS

**AASHTO: American Association of Highway and Transportation
Officials.**

MOP : Ministerio de Obras Públicas.

SOP : Secretaría de Obras Públicas (México).

THMA : Tránsito horario máximo anual.

TPDA : Tránsito promedio diario anual.

INTRODUCCIÓN.

La comunicación siempre ha sido una necesidad para los seres humanos, es así como los caminos resultaron ser importantes para muchos pueblos de la edad antigua. A medida que los conocimientos de los pueblos aumentaron, los caminos se mejoraron con el fin de ofrecer más seguridad y comodidad. Actualmente se están desarrollando los Caminos Rurales Sostenibles como un elemento de comunicación, estos presentan deficiencias en lo relativo a la parte geométrica, planteamiento del problema donde se hace ver la necesidad de desarrollar un estudio para proponer los requisitos de diseño geométrico correspondientes.

Tomando en cuenta todos los elementos que se ven involucrados en el diseño geométrico, se revisan los conceptos fundamentales acerca de estos con el fin de sustentar la propuesta de requisitos de diseño geométrico a cumplir para los Caminos Rurales Sostenibles, esto constituye el objetivo que se persigue en este estudio, basados en los criterios de la AASHO, la SOP de México y el Ministerio de Obras Públicas, MOP.

Basados en esta investigación, se elabora la propuesta de los requisitos de diseño geométrico, en la cual se trata de mejorar las deficiencias que presentan los Caminos Rurales Sostenibles enfatizando la seguridad, comprobando la adaptabilidad de estos requisitos por medio de un caso de aplicación de un tramo de un camino, para posteriormente efectuar una evaluación de los mismos, con el objeto de obtener una propuesta de requisitos

que se adapte a las condiciones fisiográficas, económicas y sociales del país para el diseño de los Caminos Rurales Sostenibles.

CAPÍTULO I

MARCO DE REFERENCIA TÉCNICO

INTRODUCCIÓN

Dado el marco socio económico del país, la inversión en caminos rurales es muy reducida para producir los máximos beneficios a la colectividad, a través de proyectos como los denominados "Caminos Rurales Sostenibles" procurando mejorar las condiciones de la superficie de rodadura de los caminos, asegurando una mayor vida útil y reduciendo los costos de operación; pero sin una notable mejoría en las características geométricas, principalmente atendiendo el lineamiento de conservar en lo posible la geometría existente, como al respecto evolutivamente se hace referencia en los antecedentes. La concepción actual de caminos rurales, toma como prioridad la economía sobre la seguridad, pues no se dan requisitos claros y completos para el diseño geométrico de estos proyectos, enfocando lo sostenible con mayor connotación económica que de técnicas de caminos o de carreteras, lo cual constituye un problema desde la geometría vial.

Instituciones como la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y la Secretaría de Obras Públicas de México han realizado estudios y desarrollado tecnologías sobre el diseño geométrico de caminos que se aplican actualmente en el país adaptadas a las condiciones topográficas, económicas y sociales de los caminos rurales sostenibles, en El Salvador; de esto trata la revisión estructurada que se propone realizar en los contenidos temáticos reseñados con el fin de ser claros y explícitos en los criterios y parámetros a aplicar en los diseños de los alineamientos y secciones

transversales, incluyendo la estructura y acabados de los pavimentos, a partir de los cual se llega a la formulación de una propuesta concreta de especificaciones para la consecución de los proyectos de Caminos Rurales Sostenibles. De ahí que este trabajo de graduación, se propone ampliar, mejorar, adaptar y complementar los requisitos de diseño geométrico actualmente utilizados por el Viceministerio de Obras Públicas para caminos rurales sostenibles.

Esto justifica el estudio del tema, como se describe y da pie a los objetivos y alcances del mismo, ya que lo contenido llevarán a una aplicación concreta a un caso de un proyecto que tiene que ver con la reconstrucción de vías y mejora de rutas, a partir de los terremotos ocurridos el 13 de Enero y 13 de Febrero de 2001 que dañaron vías importantes del país.

Las partes reseñadas en la metodología establecen cómo se llegará a conseguir los resultados que se proponen los objetivos y la consecución del fin de este trabajo.

1.1. ANTECEDENTES.

El registro del trazo de los primeros caminos utilizados por el hombre se encuentra a lo largo de la historia. Se ha registrado que la primer superficie dura construida para ser utilizada como camino, apareció en Mesopotamia en la edad temprana un poco después del descubrimiento de la rueda cerca del 3500 a.c. De igual forma en Creta, en el Mar Mediterráneo fue encontrado un camino de piedra construido antes de 1500 a.c. Así mismo en la parte occidental del

mundo, en América, existen evidencias de grandes redes de caminos construidos por los mayas, aztecas e Incas en Centro y Sur América; resulta curioso que estos pueblos contarán con un buen número de calzadas de piedra, caminos, veredas y senderos, ya que ellos no hacían uso de la rueda en vehículos de transporte, animales de tiro y carga, sobresalen en este aspecto los aztecas y mayas, quienes utilizaban ampliamente los caminos para sus actividades religiosas, comerciales y bélicas. Otro dato que llama la atención es, que a la par de la construcción de los caminos también se preocuparon por su conservación, pronunciaron leyes sobre la manera y época en que debían repararse. Los romanos ligaron la extensión de su imperio con un gran sistema de caminos que comunicaban la regiones conquistadas con Roma, de ahí la frase que "todos los caminos llevan a Roma", y entre sí. En esta época se encuentran vestigios de construcción de caminos, bajo ciertos criterios, los cuales son bastante similares a los utilizados actualmente para la construcción de caminos modernos, entre estos caminos, a manera de ejemplo se puede mencionar la Vía Apia, la cual fue construida cerca de 312 a.c., primero se excavaba una zanja profunda de tal manera que la superficie quedara a nivel del terreno. El pavimento se colocaba en tres capas: una capa de piedra quebrada, sobre esta se colocaba una segunda capa de piedra más fina que las primeras, mezcladas con mortero y colocadas firmemente, posteriormente colocaban la capa de desgaste la cual estaba constituida por bloques de piedra unidos con mortero. Con la subsecuente caída del imperio romano la

construcción de nuevos caminos llegó a ser casi un arte perdido, hasta la construcción masiva de caminos con normas rudimentarias en cuanto al ancho, espesor de la vía, etc. Es hasta el siglo XVIII que la construcción de caminos volvió a tomar relevancia, en Francia, donde se inició este renacer en cuanto a la construcción de caminos, posteriormente le siguió la construcción de caminos en Inglaterra, desarrollando un método constructivo el cual todavía subsiste aunque con ciertas variantes, este es el método MacAdam. La legislación sobre la construcción de caminos se inicio en Inglaterra y los Estados Unidos de América. Estas leyes en un primer momento obligaron a la comunidad a reparar los caminos y puentes, defender los castillos y guarniciones y ayudar a repeler las invasiones; posteriormente se estableció que la posesión de los caminos ya no era de los propietarios de los latifundios, sino de todas las personas que desearán utilizarlos. Algunos estatutos de estas leyes obligaban a los propietarios a que arreglaran los linderos para el drenaje de los caminos, de igual forma obligaban a recortar las plantas de los bordes de los caminos, mantener bien puestos los setos, abstenerse de arar o de plantar árboles, arbustos, matorrales, más cerca de la distancia especificada a partir del eje del camino.

En muchos estatutos de estas leyes se hacía referencia a las obligaciones que los gobiernos tenían para el mantenimiento de las vías de comunicación, al derecho del público a hacer uso de las vías de comunicación sin interferencia.

Además mencionaban las obligaciones que tenían los propietarios de los terrenos que lindan con el camino que se estuviera construyendo.

En los Estados Unidos no se construían muchos caminos, por la razón que la mayoría de pueblos se fundaban junto a bahías y ríos, el transporte de personas se hacía por agua y si existía un poblado tierra adentro la comunicación con este se hacía por medio de caminos rústicos que más bien era una brecha abierta en la selva. Antes de que comenzaran las guerras de independencia, los viajes se hacían a pie o a caballo. Los caminos eran casi siempre veredas abiertas de gran ancho. El progreso de los caminos fue muy lento hasta un tiempo después del fin de las guerras en 1783. Por ejemplo, la rebelión del Whiskey en Pensylvania Occidental en 1794 fue debida a los caminos. Los agricultores protestaban por el impuesto que se le aplicó al whiskey que ellos producían. Este incidente sirvió para que se construyera la Carretera Troncal de Filadelfia a Lancaster, esta era una carretera de peaje de 100 kms. de longitud, con un ancho de 7.30 m. revestida de piedra machacada a mano y con grava. Esta es la primera carretera formal que se conoce en América, con un ancho de vía definido y con la modalidad del sistema de cobro de peaje.

En El Salvador los primeros caminos que se construyeron, los constituyeron caminos para bestias y carretas tiradas por bueyes, estos fueron contruidos sin ningún conocimiento de diseño geométrico acomodándose al nivel del terreno y sin noción alguna de las características prevalectentes de

tránsito, fue hasta fines de la década de los años 1940's y principios de los años 1950's que se utilizaron criterios de diseño geométrico para las carreteras del país, sobre ancho de los carriles, hombros lo suficientemente anchos para permitir el parqueo de autobuses y camiones; se construyeron tramos de carreteras que antes de usarse ya se encontraban completamente saturados.

La Dirección General de Caminos se originó según decreto del Poder Ejecutivo, el 30 de Agosto de 1916. En este decreto se consideró como prioridad el hecho que el país tuviera buenas vías de comunicación, tomándose en cuenta las necesidades del sector comercio, la industria y el sector agrícola del país.

La Dirección General de Caminos se creó como una entidad técnica y consultiva anexa al Ministerio de Gobernación y Fomento. Su función era el control de cuanto se relacionara con las vías de comunicación, puentes y obras que tuvieran relación con estos. El decreto de creación se dio durante la administración del Presidente Carlos Meléndez.

En la sesión del 5 de julio de 1940, la Asamblea Nacional Legislativa aprobó el decreto N° 19, mediante el cual se suprimen las Juntas Departamentales de Caminos y se creaba la Dirección General de Carreteras como dependencia del Ministerio de Fomento. El 11 de Julio de 1940, durante la administración del General Maximiliano Hernández Martínez, se creó el Reglamento para la Construcción, Mantenimiento y Mejoramiento de las carreteras de la República. El 22 de septiembre 1969, durante la administración del General Fidel Sandez Hernández se creó la Ley General de Carreteras, en la cual se establece una

jerarquización de las carreteras y caminos existentes en el país en base a sus características geométricas y de tránsito.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para proporcionar la base del desarrollo económico, se requiere llevar a cabo grandes inversiones en infraestructura, principalmente en vías de comunicación. De acuerdo a esto, el Gobierno de El Salvador desarrolla el programa de inversión monetaria destinado al mejoramiento de las características físicas de los caminos con el programa denominado "Caminos Rurales Sostenibles" orientado a mejorar las condiciones de caminos que conectan importantes núcleos de población, potenciales lugares de desarrollo agrícola o turístico y que por sus condiciones actuales ostentan la categoría de Caminos Rurales. Por tal razón, el Ministerio de Obras Públicas ha establecido dos criterios básicos para el desarrollo de Caminos Rurales Sostenibles, estos son:

1. Mantener en lo posible la configuración geométrica del camino a mejorar.¹
2. La superficie de rodadura estará conformada por material bituminoso o por concreto hidráulico²

Este programa tiene por objeto procurar el mejoramiento de las condiciones de superficie de rodadura, asegurando de esta forma que el camino se mantenga

1. Viceministerio de Obras Públicas (1999) Especificaciones y requisitos técnicos de Diseño para Caminos Rurales Sostenibles, Pág. 80.

² Comunicación Personal con el Ing. Hans Tovar, jefe de la Unidad de Planificación Vial, Ministerio de Obras Públicas.

en buenas condiciones para poderlo transitar especialmente en invierno, pero sin impulsar una notable mejoría en la geometría del camino.

Sin embargo, estos dos criterios establecidos por el Ministerio de Obras Públicas se oponen entre sí, ya que sólo el mejoramiento de la superficie de rodadura y no de las características geométricas del camino hacen que este adquiera una aparente comodidad pero volviéndose inseguro, debido a que el usuario tiende a incrementar la velocidad, con la que se conduciría en un camino con inferior calidad de la superficie de rodadura; por consiguiente, estos dos criterios son dependientes entre sí, porque se tendría que mejorar la superficie de rodadura una vez que se hallan mejorado las características geométricas del camino, prevaleciendo la seguridad del usuario y no el ahorro en el proyecto vial. Lo anterior conlleva a que los Caminos Rurales Sostenibles son un nuevo concepto dentro de la clasificación vial que se tendría en el país, en la que no se definen con claridad los requerimientos mínimos para el diseño geométrico, tampoco qué parámetros son los que se toman en cuenta para su aplicación, ni qué vías de la actual clasificación son potenciales a convertirse en un Camino Rural Sostenible.

Sin embargo, existen proyectos como el de Comasagua – Santa Tecla en el Departamento de La Libertad³ en el que se han aplicado normas de diseño geométrico para caminos terciarios modificados y el caso del ramal CA -2 – El

³ Caminos Rurales Sostenibles Fase I BID - 840.

Espino desvío Samuria – Jucuaran⁴, donde se ha mejorado la superficie de rodadura con una imprimación, pero no así sus características geométricas, y por ser este un camino de montaña se incrementa su peligrosidad al permitir desarrollar más velocidad, siendo este caso particular un ejemplo claro de la aplicación de los dos criterios básicos establecidos por el ministerio de Obras Públicas. Por tal motivo, se vuelve necesario hacer un estudio para definir los requisitos técnicos para el diseño geométrico de los Caminos Rurales Sostenibles, con el propósito de unificar criterios técnicos en el control de calidad y realización de los proyectos viales.

1.3. OBJETIVOS

GENERAL:

- Analizar los requisitos técnicos del diseño geométrico para Caminos Rurales Sostenibles aplicados actualmente por el Ministerio de Obras Públicas y hacer las recomendaciones pertinentes.

ESPECÍFICOS:

- Proponer las características de diseño geométrico para un Camino Rural Sostenible, en base a condiciones físicas como topografía, y de funcionamiento como tipo de tránsito, etc.
- Aplicar a un proyecto específico, las características y criterios del estudio de los requisitos técnicos de diseño geométrico.

4 Caminos Rurales Sostenibles Fase I MESA – AID.

1.4. ALCANCES

Las especificaciones para el diseño geométrico que resulten del estudio realizado en este trabajo de graduación, se referirán a ampliar, mejorar y adaptar las normas existentes de diseño geométrico para Caminos Rurales Sostenibles, aplicados a un caso específico.

1.5. LIMITACIONES

Falta de información precisa y actualizada en cuanto a la red vial : conteos de tránsito, condiciones físicas de las vías, y estadísticas de accidentes, a lo que se suma la poca colaboración del personal técnico del Ministerio de Obras públicas

1.6. DELIMITACIONES

Este estudio comprenderá lo relativo a los requisitos del diseño geométrico de los Caminos Rurales Sostenibles, de manera que sean aplicados a un proyecto específico sin detallar diseño de taludes, obras de paso, drenajes; además, se considerará una superficie de rodadura de material bituminoso. La aplicación se hará en un tramo de camino que se elegirá durante la realización del estudio debido a la gran cantidad de recursos que conlleva realizar el proyecto completo.

1.7. JUSTIFICACIÓN.

El mejoramiento de la infraestructura vial, particularmente los caminos rurales, tiene impactos obvios y positivos en el óptimo desarrollo de la agricultura, el turismo, así como beneficios de bienestar en términos de integrar a los pequeños agricultores y a los trabajadores sin tierras, a mayores y más diversos

mercados de trabajo y de producto. Tener caminos que puedan usarse todo el año, trae importantes beneficios, abaratando los costos de transporte, mejorando el acceso a los mercados y servicios sociales básicos. Los estimados de la tasa de rendimiento social abarcan del 14 % al 300 %, no tomando en cuenta los beneficios potenciales del turismo, comercio y pesca⁵

Los caminos rurales sostenibles deben ser diseñados de acuerdo a requisitos técnicos, que ofrezcan las máximas garantías de seguridad para el usuario, tanto en su alineamiento horizontal, vertical, como sección transversal que le permitan desplazarse con mayor comodidad sobre la vía, produciendo con ello una reducción en los costos de operación, tiempo necesario para trasladarse de un lugar a otro, etc. Y sobre todo, que soporten las condiciones de intemperismo y tránsito a que serán sometidas durante toda su vida útil, para que el desarrollo alcanzado por la zona al contar con una buena vía no sea frenado por su deterioro o se deban hacer grandes inversiones periódicamente para mantenerlas transitables; sin embargo, se debe tener en cuenta que si no están establecidos claramente los requisitos de diseño geométrico, provoca que existan grandes diferencias en la aplicación de normas de diseño geométrico de un camino respecto a otro, lo que indica que no existe una unificación de criterios para el diseño de Caminos Rurales Sostenibles. Por lo que se hace necesario analizar los requisitos técnicos de diseño geométrico utilizados por el Ministerio de Obras Públicas, proponiendo recomendaciones apegadas a las condiciones de los caminos rurales.

⁵ Plan de Nación.

1.8 LEY DE CARRETERAS Y CAMINOS DE EL SALVADOR

La legislación y administración de los caminos rurales y en general del sistema de carreteras del país están regulados por la ley de carreteras y caminos vecinales contenida en las disposiciones del decreto legislativo N° 463, esta consta de seis capítulos y sesenta y seis artículos¹ (anexo I).

1.8.1. objeto de la ley y definiciones

La ley de carreteras y caminos vecinales clasifica las vías terrestres en carreteras, caminos vecinales o municipales, y calles. El objetivo es regular lo relativo a la planificación, construcción y mantenimiento, así como su uso y el de la superficie inmediata a las vías mencionadas. De acuerdo con la ley, se consideran carreteras las vías cuyo rodamiento las hace transitables permanentemente, siendo éste uno de los criterios básicos para los caminos rurales sostenibles. Las carreteras, dependiendo de su importancia y características geométricas, según el artículo 3, se subdividen como sigue:

Especiales, las que reúnen condiciones geométricas superiores a las primarias.

Primarias, las capacitadas para intensidades de tránsito superior a 2,000 vehículos promedio por día, con 12.0 metros de plataforma, 7.3 metros de rodaje y un mínimo de 7.9 metros de rodaje en los puentes.

Secundarias, las capacitadas para intensidades de tránsito comprendidas entre 500 y 2000 vehículos promedio por día, con 9.5 metros de plataforma 6.5 metros de rodaje y un mínimo de 7.4 metros de rodaje en los puentes.

¹ Decreto emitido el 9 de Septiembre de 1969 y publicado en el diario oficial N° 189 tomo 225, del 13 de Octubre del mismo año.

Terciarias, aquellas cuya intensidad de tránsito está comprendida entre 100 y 500 vehículos promedio por día con 6.0 metros de plataforma, revestimiento de materiales locales selectos y un mínimo de 6.5 metros de rodaje en los puentes. No incluye a las terciarias modificadas.

Rurales, las capacitadas para intensidades de tránsito de cien vehículos promedio por día con 5.0 metros de plataforma y un mínimo de tres metros de rodaje en los puentes, no hace diferencia entre caminos rurales A y B.

Los caminos rurales sostenibles no se ubican en ninguna de las categorías de la clasificación anterior debido a las diferencias en la configuración geométrica de los diversos proyectos y no se ha definido una intensidad de tránsito específica.

Las carreteras podrán ascender de categoría, pero no podrán restringirse las características geométricas, salvo en casos especiales y cuando las necesidades lo demanden, el Ministerio de Obras Públicas decidirá lo que convenga², tal conveniencia da apertura para construir carreteras o tramos de ellas que no cumplan con los requerimientos geométricos que exige su importancia o categoría.

² Capítulo I, Artículos 7 y 8 de la ley de carreteras y caminos vecinales.

1.8.2 Planificación vial

Al respecto, la ley³ deja a cargo del Ministerio de Obras Públicas la planificación diseño, construcción mejoramiento, conservación y señalamiento adecuado de las carreteras.

1.8.3 Uso de las vías públicas

Se atribuye al ministerio de obras públicas reglamentar la forma en que deben transitar los vehículos por las carreteras y caminos públicos del país, atendiendo a su peso y distribución de este por ejes y llantas⁴. Habiendo derogado la ley de pesas y medidas,⁵ estas quedaban sin un marco regulatorio específico para transporte de carga por vía terrestre; así, la dirección general de transporte, Viceministerio de transporte, emitieron la resolución N.º 0057/2001 regulando la longitud total máxima y el peso máximo permisible por tipo de vehículo (anexo II), y se estipula una anchura total máxima de 2.60 m y altura total máxima^{5a} de 4.15 m para todos los vehículos en general.

En cuanto a las velocidades mínimas y máximas a que podrán transitar los vehículos en carreteras o caminos, se establece⁶ que deberán ser fijadas por la oficina respectiva del Ministerio de Obras Públicas, atendiendo a las condiciones geométricas de éstos. Para las categorías mencionadas en el

³ - Capítulo II, artículo 10 de la ley de carreteras y caminos vecinales.

⁴ - Capítulo III, artículo 17 de la ley de carreteras y caminos vecinales.

⁵ La ley de pesas y medidas fue derogada por el decreto legislativo 477 emitido el 19 de Octubre de 1995 y publicado en el diario oficial No 212 del 16 de Noviembre del mismo año, y se refiere a transporte terrestre, tránsito y seguridad vial.

^{5a} En gálibo de puentes en su diseño, deberá ser considerada con holgura máxima de funcionamiento 4.15 m + h.

⁶ - Capítulo III, artículo 18, inciso 1 de la ley de carreteras y caminos vecinales.

numeral 1.2.1 el Ministerio de Obras Públicas ha establecido normas de diseño geométrico, en las cuales se determinan las respectivas velocidades de proyecto, pero los requisitos de diseño geométrico para los caminos rurales sostenibles no consideran la velocidad de diseño, por lo que se hace necesario establecerla con especificidad, esto es, diseño, funcionamiento u operación así como las que caracterizan al tránsito como parada de rebase, etc.

1.8.4 Disposiciones finales

El artículo 64 de la ley de carreteras y caminos vecinales, establece que "el poder ejecutivo en el ramo de obras públicas emitirá el reglamento de la presente ley"; sin embargo, tal reglamento no se ha emitido completo hasta la fecha, pues solamente se ha reglamentado los pesos y medidas para el transporte de carga (anexo III).

1.9 RED VIAL ACTUAL DE EL SALVADOR

1.9.1. Descripción de la red vial

La red vial de El Salvador está compuesta por carreteras especiales, primarias, secundarias, terciarias, rural A y rural B. Las carreteras especiales, primarias y secundarias, se caracterizan por tener una superficie de rodamiento a base de concreto hidráulico o asfáltico. Las carreteras terciarias, rural A y rural B, por tener una superficie de rodamiento a base de material granular selecto.⁷

1.9.1.1. Estado actual de la red vial

⁷ Apartado 1, Clasificación Técnica, Dirección General de Caminos.

El estado en que se encuentren las vías, dependerá principalmente de las condiciones de tránsito a que sean sometidas así como intemperismo y mantenimiento; de acuerdo a ello, se clasifican en vías en buen estado, regular y mal estado, descritas como sigue:

a) Buen estado

Vías cuyo flujo vehicular es efectivo con un alto nivel de servicio, donde la superficie de rodadura ha tenido un constante mantenimiento preventivo y correctivo en drenaje y limpieza de cobertura vegetal, lo que permite la preservación de la superficie.

b) Estado regular

Estas vías actualmente en servicio se han caracterizado por tener un mantenimiento incompleto o deficiente, como los siguientes:

i) Chapeo y limpieza de materia vegetal no permanente

ii) Calidad de rellenos con suelo sin humedad controlada, falta de compactación

c) Mal estado⁸.

Las carreteras que presentan superficie de rodaje deteriorada permiten que no halla un flujo vehicular efectivo, generando bajo nivel de servicio, debido a que no han tenido ningún mantenimiento correctivo ni preventivo, que se agrava con la estación lluviosa, por la ausencia de drenajes. De acuerdo con el MOP , el

⁸ En esta clasificación, se considera que el camino aún funciona, pero la severidad del mal estado llega a tal grado en muchos lugares del país, que se vuelve intransitable el camino debido a que el deterioro ha llegado a la destrucción de la subrasante o rasante y la sección transversal, desapareciendo el camino y/o aislando la zona, volviéndola más dificultosa para la población en su comunicación.

estado de la red vial se tiene cuantificada para el mantenimiento permanente con los siguientes datos, ver tabla 1

Tabla I - 1 CONDICION EN SE ENCUENTRA LA RED VIAL.

CLASE	LONGITUD (Kms.)	PORCENTAJE GLOBAL (%)	ESTADO					
			BUENO		REGULAR		MALO	
			Long. Km.	%	Long. Km.	%	Long. Km.	%
ESPECIAL	104.24	1.09	78.18	75	26.06	25	--	---
PRIMARIA	1,634.90	17.11	310.63	19	1307.92	80	16.35	1
SECUNDARIA								
TERCIARIA	1,736.53	18.17	434.13	25	1215.57	70	86.77	5
RURAL A y B	6,080.60	63.63	912.09	15	4560.45	75	608.06	10
TOTALES	9,556.27	100.00	1735.03		7110.01		711.13	

Fuente: Departamento de Mantenimiento, Ministerio de Obras Públicas

1.9.1.2. Descripción de la clasificación de la red vial, según el tránsito y geometría

Según la clasificación técnica actual⁹ las carreteras están divididas en orden de importancia así: Especiales, Primarias, Secundarias, Terciarias modificadas,

⁹ Capítulo I, Artículos 7 y 8 de la ley de carreteras y caminos vecinales.

Terciarias, Rurales A y Rurales B; atendiendo a las características del tránsito y la geometría se establecen como sigue:

Carreteras especiales. Son las que están capacitadas para un Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) superior a 3000 vehículos, equivalente a un Tránsito Horario Máximo Anual de 360 vehículos o más; con 30.60 metros de ancho de la vía, con 7.30 metros de ancho de rodaje y 8.50 metros de ancho de rodamiento en puentes.

Carreteras primarias. Son aquellas que están capacitadas para un TPDA de 2000 a 3000 vehículos equivalentes a un THMA de 180 a 360 vehículos; con 12 metros de ancho de vía, 7.30 metros de ancho de rodaje y un mínimo de 7.90 metros de rodaje en los puentes.

Carreteras secundarias. Son las que están capacitadas para un TPDA de 500 a 2000 vehículos equivalentes a un THMA de 60 a 180 vehículos; con 9.5 metros de ancho de vía, 6.5 metros de ancho de rodaje y un mínimo de 7.40 metros de rodaje en los puentes.

Carreteras terciarias. Son las que están capacitadas para un TPDA de 200 a 500 vehículos equivalentes a un THMA de 24 a 60 vehículos; con 8.0 metros de ancho de vía, 6.0 metros de ancho de rodaje y un mínimo de 7.40 metros de rodaje en los puentes.

Carreteras terciarias modificadas. Son las que están capacitadas para un TPDA de 50 a 200 vehículos equivalentes a un THMA de 6 a 24 vehículos; con 6.0 metros de ancho de la vía y 6.5 metros de ancho de rodaje en los puentes.

Caminos rurales A. Son las que están capacitadas para un TPDA de 10 a 50 vehículos equivalentes a un THMA de 1 a 6 vehículos; con 5.0 metros de ancho de vía y 3.0 metros de ancho de rodaje en los puentes.

1.9:1.3 Localización y cuantificación de la red vial de El Salvador.

El Salvador tiene: 104.24 Km. de Carretera especial, o sea 1.09 % de la red vial total, localizada únicamente en cuatro departamentos, Santa Ana, La Libertad, San Salvador y la Paz. La libertad tiene la mayor cantidad con 35 Km. La Paz la menor con 20 Km.

Carretera primaria, equivale al 6.04% (577.70 Km) de la red vial, donde La Unión tiene la mayor longitud de 101.10 Km. y Morazán la menor con 14 Km; San Salvador, Cuscatlán y Cabañas no poseen red primaria.

Carretera secundaria, representa el 11.06% (1057.20 Km) de la red vial total, San Miguel posee la mayor longitud con 135.97 Km. y La Libertad la menor con 38 km.

Carreteras terciarias modificadas no existen en ningún departamento

Red terciaria, es igual al 18.70% (1736.53 Km) de la red vial total, La Libertad es la de mayor longitud con 183.70 Km. y Santa Ana la menor con 52.14 Km.

Caminos rurales A. Equivalente al 17.85% (1705.8 Km) del total de la red vial, San Miguel tiene la mayor longitud con 321.79 Km. y Morazán, la menor con 22.90 Km.

Caminos rurales B, igual al 45.76% (4372.92 Km) de la red vial total. La Paz es la de mayor longitud con 494.60 Km. y la Libertad la menor con 172.75 Km.

Caminos vecinales (2692.90 Km), en donde Santa Ana tiene la mayor cantidad con 367.50 Km. Y San Miguel la menor con 44.64 Km.

De los aproximadamente 12000 Km. de la red vial, se atienden para el mantenimiento 9556.20 Km., quedando el resto sin programar "por su menor importancia". El total de carreteras pavimentadas consta de 1742.14 Km., que representa el 18.22% de la red vial total y de 10508.03 Km. de la red vial de tierra que es equivalente al 81.78%.

1.10. CONCEPCIÓN DE CAMINOS RURALES SOSTENIBLES.

¿Cuál es el concepto de proyectos de Caminos Rurales Sostenibles? ¿ De qué depende el método utilizado para su diseño y ejecución?, habiendo establecido, que hay criterios y parámetros de diseño para propósitos de los caminos rurales sostenibles que no están contenidos en la ley de carreteras y caminos, afectando, la clasificación general en cuanto a requisitos geométricos, funcionamiento y calidad de la superficie de rodaje. A continuación se exponen los aspectos que permitan aclarar la concepción de caminos rurales sostenibles para su diseño y construcción.

1.10.1 Concepto Actual de Caminos Rurales Sostenibles.

El concepto es relativamente nuevo, nó lo incluye la clasificación actual de la Ley de Carreteras y Caminos. De acuerdo con distintas técnicos especialistas

que se han involucrado en la formulación, diseño y construcción de este tipo de proyectos , se buscaba mejorar las condiciones de vida de los habitantes de las zonas rurales del país, desarrollar el área social, facilitando el acceso a los servicios de educación, salud, seguridad y la conectividad de municipio a municipio, así como la conexión del municipio hacia una carretera principal, el área económica; ayudando al desarrollo del sector agrícola, turístico y comercial de la zona en cuestión.

Los criterios, para elegir si un camino se convertirá en un camino rural sostenible, dependerán del grado de vulnerabilidad de los habitantes de la zona que se busque desarrollar, de la producción agrícola que estos reporten, del potencial de desarrollo de proyectos de orden turístico, de los volúmenes de tránsito, y del número de personas que serán beneficiadas.

Para Díaz, O. (2001), el concepto actual de caminos rurales sostenibles, tiene dos componentes¹⁰, los cuales se dividen de la siguiente forma:

- a) Construcción o reconstrucción de los caminos utilizando técnicas que garantizarán una mayor vida útil del camino, reduciendo así, los costos de operación que se tienen en el camino.
- b) Implementar un programa adecuado de mantenimiento de estos caminos, mediante la participación directa de la comunidad.

¹⁰ Ing. Oscar Díaz, Jefe de la Unidad de Planificación Vial del Ministerio de Obras Públicas. Entrevista personal.

1.10.2 Criterios básicos para el diseño geométrico de caminos rurales sostenibles, establecidos por el Ministerio de Obras Públicas.

De acuerdo con las actuales especificaciones del Ministerio de Obras Públicas (MOP), se priorizan los siguientes criterios para la configuración de cualquier tramo de camino de este tipo:

- a) Mantener en lo posible la configuración geométrica del camino a mejorar.¹¹
- b) Mejorar la superficie de rodadura del camino.¹²

Según el MOP el término que se ha acuñado como caminos rurales sostenibles, lleva implícito dentro de su concepción criterios técnicos, tales como reducción de costos de operación, mejoramiento de la superficie de rodadura, aumento de la vida útil. La metodología para diseñar y ejecutar los caminos rurales sostenibles dependerá de factores económicos, sociales y culturales que afectan las zonas rurales del país; así, los caminos rurales sostenibles, buscan beneficiar a la población y su entorno, para proporcionar condiciones por ejemplo: económicas, de relación social y comunicación, de vida hacia el desarrollo. De tal forma, que todo camino rural que deba convertirse en camino rural sostenible cumplirá no sólo con los criterios anteriormente descritos, sino también, con la de seguridad, es decir, la geometría y el tránsito y sus respectivos componentes; así mismo, la respectiva reglamentación que esto implica, ya que con este tipo de proyectos se busca generar beneficios, y deben

¹¹ Viceministerio de Obras Públicas (1999). Especificaciones y Requisitos Técnicos de Diseño para los Caminos Rurales Sostenibles, pág 80.

¹² Ing. Hans Tovar, Ministerio de Obras Públicas. Comunicación personal.

estar reglamentados, para propiciar el desarrollo de las zonas rurales. Así, con la ejecución de estos proyectos, los caminos rurales sostenibles se conciben como aquellos que cumplen con los requisitos mínimos de seguridad, siendo la seguridad el problema fundamental de estos tipos de proyectos, ya que esta no se prioriza, anteponiendo en este caso el factor económico, por tanto la concepción de caminos rurales sostenibles, queda incompleta al no incluir de forma preponderante el criterio de seguridad para el usuario.

1.10.3 Realización de Caminos Rurales Sostenibles.

Según datos proporcionados por la Unidad de Planificación del Ministerio de Obras Públicas, el programa de Caminos Rurales Sostenibles se planea ejecutarlo por fases, las cuales contendrán distintos caminos ubicados en distintas zonas del país, hasta el momento se encuentra en ejecución la fase I.

1.10.3.1 Proyectos ejecutados

En la fase I, hasta la fecha, se han ejecutado los caminos que se presentan en la tabla N° 1.2.

1.10.3.2 Proyectos en ejecución.

La fase I del Programa de Caminos Rurales Sostenibles, no ha finalizado, la demora se ha debido al efecto que los terremotos del 13 de enero y el 13 de febrero de 2001, los cuales retrazaron el avance de los proyectos. Tal es el caso del camino Santa Tecla – Comasagua (La Libertad), CA:2- Tierra Blanca-Cuche de Monte- Salinas del Potrero (Usulután), CA:2 Usulután – Puerto Parada (Usulután).

Tabla. 1.2.

Proyectos de Caminos Rurales Sostenibles ejecutados hasta la fecha.

PROYECTO	DEPARTAMENTO
Santa Isabel Ishuatan – San Julián	SONSONATE
Ramal(Ateos – Jayaque)- Los Alpes – Tepecoyo	LA LIBERTAD
Carretera a Ilobasco – Rosario	CUSCATLAN
Sn. Pedro Masahuat-Sn. Ant. Masahuat- Sn. Miguel Tepezontes	LA PAZ
Ramal (SS-Comalapa)- Km. 40 Coop. Astorias-El achiotal-Las Hojas	LA PAZ
CA:1, San José Guayabal	SN. SALVADOR-CUSCATLAN
Santiago Texacuangos-San Miguel Tepezontes-San Ramón(Cojutepeque)	SN. SALVADOR-CUSCATLAN-LA PAZ
Sensuntepeque- Villa Victoria	CABAÑAS
CA:2 Guaymango- Jujutla- CA:8	SONSONATE-AHUACHAPAN
CA:2 Playa El Espino	USULUTAN
CA:2 Km. 57.5- El Nilo- Zacatecoluca	LA PAZ
CA:2- San José La Montaña	USULUTAN
CA:2- San Marcos Lempa- El Zamorano	USULUTAN
CA:2- Usulután- San Dionisio- Puerto Grande	USULUTAN
CA:2 San Pedro- Hacienda La Chilanguera	SAN MIGUEL
Ramal (CA:2- El Espino)- Dvto. Samuria-Jucuarán	USULUTAN

Referencia: Información obtenida de la Unidad de Planificación del MOP

1.10.3.3 Proyectos por ejecutar.

Se realizarán nuevos proyectos orientados a las zonas que fueron más afectadas por los terremotos, del 13 de enero y 13 de febrero de 2001, aunque cabe aclarar, que el MOP no dispone actualmente de una política de priorización en cuanto a la ejecución del Programa de Caminos Rurales

Sostenibles, dado que no existe una política de priorización interinstitucional al interior del gobierno de la República.

1.11. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESARROLLO DE LOS CAMINOS RURALES SOSTENIBLES

1.11.1. Factores económicos

El mejoramiento de una vía desde el punto de vista económico se evalúa por el grado o tamaño de beneficios directos o indirectos que esta pueda aportar. Los beneficios directos son las ventajas cuantificadas resultantes de la construcción o mejoramiento de un camino, que se reflejan especialmente en los costos de transporte bajo la forma de reducción del costo operacional, del número de accidentes y del tiempo de viaje, estos beneficios atañen particularmente a los usuarios de los caminos. Los beneficios indirectos son las ventajas estimables, derivadas de la construcción o mejoramiento de un camino, las cuales se reflejan en la colectividad o en algunos de sus miembros en términos de desarrollo económico de la región bajo influencia del camino.

El mejoramiento de caminos, tiene impactos beneficiosos para la competitividad de la agricultura, así como bienestar en términos de integrar a los pequeños agricultores y a los trabajadores sin tierras, a mayores y más diversos mercados de trabajo y de producto. Tener caminos que puedan usarse durante todo el año trae importantes beneficios, abaratando los costos de transporte, mejorando el acceso a los mercados y servicios sociales básicos, permitiendo la producción en tierras actualmente en abandono, abriendo zonas con potencial

turístico e incrementando las oportunidades para atraer inversiones. El empleo rural no agrícola parece ofrecer un camino para salir de la pobreza para un gran número de pequeños agricultores que no tienen la potencialidad para diversificarse hacia productos más dinámicos; así como para los trabajadores sin tierra, la mejor opción en el mediano a largo plazo será el empleo no agrícola, en algunos casos incluyendo la migración hacia otras regiones y áreas urbanas. Los ingresos provenientes de empleos no agrícolas pueden expandirse únicamente si las economías regionales se diversifican en actividades que duran todo el año, incluyendo servicios de procesamiento agrícola y manufactura. Una limitante importante sobre tal diversificación es la falta de infraestructura adecuada, particularmente caminos y telecomunicaciones.

1.11.2. Factores poblacionales

El Salvador con un territorio aproximado de 20,000 km², tiene una población de 6 millones de habitantes (1998). Esto lo convierte en el segundo país más densamente poblado de América Latina. Aunque hay un fenómeno de urbanización creciente, en 1998 el 42% de la población vivía en el área rural¹³. Los caminos rurales sostenibles se construyen en áreas rurales para conectar núcleos de población urbana, donde el área de influencia no abarca solamente poblaciones rurales. La falta de oportunidades económicas para gran parte de la población rural, es una dificultad para integrarse a actividades no agrícolas ocasionada por problemas de transporte, provocando el flujo migratorio hacia

¹³ FUSADES, boletín económico y social No 177, Agosto del 2000, página 10.

las grandes ciudades y otros países principalmente Estados Unidos. La migración interna ha afectado las tasas de crecimiento poblacional urbano y rural por departamento. Para 1997, la tasa de crecimiento de la población del área urbana se estimó en 2.7% y la rural en 1.2% anual.

1.11.3 Factores fisiográficos

Las cadenas montañosas que corren paralelamente al mar, constituyen el carácter de la orografía de El Salvador, la más importante es la llamada cadena costera que se inicia en las proximidades del río Paz en dos ramas que se unen en las cercanías de Tacuba (Ahuachapán) para manifestarse con su mayor altura en el volcán de Santa Ana. A partir de ahí la cadena se encoge, pero vuelve a levantarse más adelante y así sucesivamente hasta llegar al volcán de San Vicente donde se deprime tanto que permite el paso del caudaloso río Lempa; vuelve a erigirse después de ello y cuando la montaña toma mayor altura, un ramal se desprende desde el volcán Cacahuatique, que se orienta hacia el noroeste y finaliza en el volcán de San Miguel. A partir de ahí, la cadena desaparece para manifestarse en pequeñas colinas u ondulaciones que cesan en la península de Conchagua, frente al mar. Esta cordillera permite configurar al territorio de El Salvador como una verdadera meseta, que cede únicamente para dejar paso a los ríos Lempa, Sumpul y Guarajambala. De ella parten ramales en todas direcciones, formando cordilleras secundarias, una bordeando al lago de Guija, donde se abren sierras como la de Montepeque y otras como las de la Ardilla, López o Ribitá, al norte de la república. En las

sierra de Apaneca se pueden señalar como más culminantes al volcán de Santa Ana o Lamatepec, de 2835 metros sobre el nivel del mar; el lagunita, Laguna verde, Las Ranas, Y el Águila, al sur. De la misma sierra se eleva el cerro Apaneca, de unos 1800 metros de altitud, El Naranjo o Tomagaste, El San Marcelino y el volcán de Izalco, situado a 16 km al norte de la ciudad de Sonsonate. Los volcanes, Quezaltepec y Chinchontepec, se destacan en la sierra de San Salvador y Sanvicente, respectivamente; después de ellas, el domo de San Jacinto sobresale en San Salvador. En la sierra de Chinameca se destacan, el volcán del mismo nombre, Chaparrastique (en San Miguel), Jucuapa y Tecapa. Esta cordillera termina en el golfo de Fonseca. Junto a la sierra de Chinameca se elevan los volcanes del Taburete y Usulután. Aislados de las cadenas citadas, se alzan en el territorio, volcanes apagados como el Cojutepeque, Guazapa, Cacahuatique, Cayaguanca Y Sociedad. A excepción de las planicies costeras, que sólo constituyen el 12% de la superficie de El Salvador, el resto del país está formado por montañas, volcanes y planicies de tierra alta (88%).

Topográficamente, en El Salvador se distinguen las regiones siguientes:

1-Planicie costera. Esta región se encuentra entre la cadena costera y el océano Pacífico, con una inclinación de sólo un grado sexagesimal. Está formada por dos zonas: una central y otra situada en la parte occidental del país; por su origen y topografía no es uniforme, la región consiste en su mayor

parte en una planicie aluvial formada por la acción de ríos que la atraviesan, abarcando un 15% del territorio.

2-Cordillera de la costa. También conocida como cadena costera, tiene casi la misma extensión que la planicie costera o litoral, comienza directamente después de la planicie costera y se eleva hacia el norte con una inclinación aproximada de 5 grados sexagesimales y con un promedio de 1200 metros de altura. Esta región afecta el curso de las aguas del país, ya que los ríos que nacen en el norte deben fluir a través de los pasos formados por ella, los cuales determinan las características del sistema hidrogeográfico y contribuyen a aumentar la importancia del río Lempa.

3- Meseta central. Esta región abarca cerca de una quinta parte el país y se extiende a través del mismo, con dirección oeste-suroeste. Su ancho varía entre 10 y 30 Km entre las cadenas costera y central. Con la excepción de picos volcánicos, esta región se encuentra entre 400 y 800 metros de altitud sobre el nivel del mar.

4- Cordillera central. Esta región abarca cerca de una quinta parte del territorio del país. Al oeste separa la llanura central y la meseta central, formando una barrera angosta e irregular. Al este donde la llanura central aún no existe, la cordillera central se prolonga hasta la cordillera fronteriza. Su altura aproximada es de 700 metros sobre el nivel del mar, con algunos picos de más de 1000 metros de altura. Esta cordillera tiene dos pasos por donde corren sendos ríos hacia el norte.

5- Valle central. Esta región tiene aproximadamente 70 kms de largo y apenas representa el 5% de la extensión territorial del país, morfológicamente es una llanura, pero hacia el este se estrecha bastante, penetran esta llanura dos ríos importantes, el desagüe y el Lempa. El primero fluye por un valle estrecho hacia el lago Guija y el segundo penetra a la planicie por Citalá, en un recorrido trapezoidal.

6- Cordillera fronteriza. Cerca del 25% de la superficie del país corresponde a esta región, la cual está formada por dos cadenas homogéneas: la cadena de Metapán y la cadena de Chalatenango. Su altura varía entre 1500 y 2500 metros de altitud sobre el nivel del mar.

1.12. ELEMENTOS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO

1.12.1. El usuario

La planeación y el proyecto de caminos rurales así como el control y la operación del tránsito, requieren del conocimiento de las características físicas y psicológicas del usuario del camino. El ser humano sea este conductor o peatón, considerado individual o colectivamente, es el elemento crítico en la determinación de las características del tránsito.

Visión del conductor

De los sentidos del hombre, la visión es la más importante, para desplazarse conduciendo ya que a través de este sentido, el individuo obtiene información de lo que acontece a su alrededor; muchos de los problemas operacionales y de proyecto requieren del conocimiento de las características generales de la

visión humana. Se considera de importancia para la tarea de manejar, la agudeza visual, la visión periférica, la recuperación al deslumbramiento, la percepción de colores y la profundidad de percepción, es decir que el conductor debe ser capaz de identificar objetos al mirar hacia adelante, detectar el movimiento a sus lados, y sobretodo ver el camino en las noches con escasez de luz y bajo condiciones de deslumbramiento debido a la ausencia de sistemas de alumbrado en los caminos rurales del país.

Tiempo de reacción del conductor

El breve intervalo de tiempo entre ver, oír o sentir y empezar a actuar en respuesta al estímulo de una situación del tránsito o del camino, se conoce como "tiempo de reacción". Idealmente esta respuesta del conductor requiere de un tiempo para percepción, emoción y voluntad. Así, mientras más compleja viene a ser una situación, el conductor debe disponer del tiempo suficiente para hacer una evaluación apropiada de todos los factores que intervienen, con el fin de reaccionar con seguridad. El tiempo requerido para esta acción, puede variar desde 0.5 segundos para situaciones simples, hasta 3 ó 4 segundos para situaciones más complejas. Los tiempos de reacción del conductor están involucrados en la determinación de distancias de visibilidad de parada y velocidades de seguridad en los accesos a intersecciones.

1.12.2. El vehículo

Un camino tiene por objeto permitir la circulación rápida, económica, segura y cómoda, de vehículos autopropulsados sujetos al control de un conductor. Por

tanto, el camino debe proyectarse de acuerdo a las características del vehículo que lo va a usar y considerando en lo posible las reacciones y limitaciones del conductor. Es atribución del MOP¹⁴, "reglamentar la forma en que deben transitar los vehículos a través de carreteras y caminos públicos del país, atendiendo a su peso y distribución de este por ejes y llantas".

1.12.2.1. Clasificación

En general los vehículos que transitan por un camino pueden dividirse en vehículos ligeros, vehículos pesados y vehículos especiales (Tabla I-3). Los vehículos ligeros son vehículos de carga y/o pasajeros, que tienen dos ejes y cuatro ruedas. Los vehículos pesados son unidades destinadas al transporte de carga o de pasajeros, de dos o más ejes, y seis o más ruedas y los vehículos especiales son aquellos que eventualmente transitan y/o cruzan el camino tales como: camiones y remolques especiales para el transporte de troncos, maquinaria pesada, bicicletas y motocicletas y en general todos los vehículos no clasificados anteriormente, como vehículos deportivos, y vehículos de tracción animal. La circulación de los vehículos especiales es eventual en la generalidad de los caminos, por lo tanto, no serán tomados en cuenta para la definición del vehículo de proyecto para los caminos rurales sostenibles.

1.12.2.2. Características geométricas y de operación

¹⁴ - Ley de carreteras y caminos vecinales capítulo III, art. 17.

En el proyecto geométrico de una carretera, debe tenerse en cuenta las características geométricas y de operación de los vehículos que circulan por ella, estas están definidas por las dimensiones y el radio de giro. Las características de operación están definidas principalmente por la relación peso / potencia, la cual en combinación con otras características del vehículo y del conductor, determinan la capacidad de aceleración y desaceleración, la estabilidad en las curvas y los costos de operación de los vehículos.

1.12.2.2.1. Dimensiones

De la figura I-2 las dimensiones de los vehículos ligeros y pesados que deben tomarse en cuenta para el proyecto geométrico de caminos son las siguientes:

- L : longitud total del vehículo
- DE : distancia entre los ejes más alejados de la unidad
- DET : distancia más alejada entre los ejes del tractor
- DES : distancia entre la articulación y el eje del semirremolque cuando el semirremolque tiene ejes tándem
- Vd : vuelo delantero
- Vt : vuelo trasero
- Tt : distancia entre los ejes del tándem del tractor
- Ts : distancia entre los ejes del tándem del semirremolque
- Dt : distancia entre el delantero del tractor y el primer eje del tándem
- Ds : distancia entre el eje posterior del tándem del tractor y el eje delantero del tándem del semirremolque

Tabla I-3 . Clasificación general de los vehículos¹⁵

TIPO DE VEHICULO	NUM DE EJES	ESQUEMAS		SIMBOLO
		PERFIL	PLANTA	
VEHICULOS LIGEROS	AUTOMOVILES	2		Ap
	CAMIONETAS	2		Ac
VEHICULOS PESADOS	AUTOBUSES	2		B
	CAMIONES	2		C2
		3		C3
		3		T2-S1
		4		T2-S2
		4		T3-S2
		5		T2-S1-R2
		OTRAS COMBINACIONES		
VEHICULOS ESPECIALES	CAMIONES Y/O REMOLQUES ESPECIALES	V A R I A B L E		E _n variable
	MAQUINARIA AGRICOLA			
	BICICLETAS Y MOTOCICLETAS			
	OTROS			

A : ancho total del vehículo

EV : entrevía, distancia entre las caras extremas de las ruedas

Ht : altura total del vehículo

Hc : altura de los ojos del conductor

Hf : altura de los faros delanteros

Hi : altura de las luces posteriores

¹⁵ Adaptada de Manual de proyecto geométrico de carreteras, Secretaría de Obras Públicas, México, página 69.

α : ángulo de desviación del haz luminoso de los faros

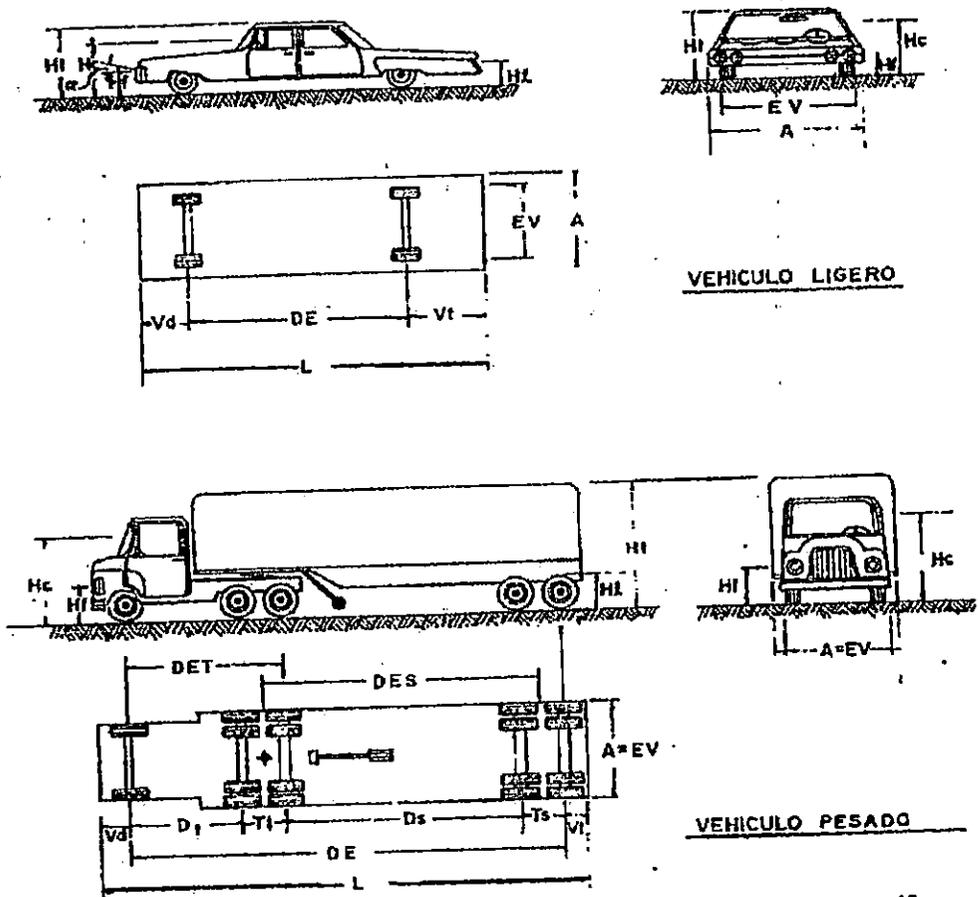


Figura I-1 . Dimensiones de los vehículos ligeros y pesados ^{15a}

Las dimensiones actuales de los vehículos ligeros y pesados varían dentro de rangos muy amplios según modelos y uso, las dimensiones que deben emplearse para el proyecto geométrico de caminos son las que corresponden al vehículo de proyecto.

1.12.2.2.2. Radio de giro y trayectoria de las ruedas :

^{15a} Adaptada de Manual de proyecto geométrico de carreteras, Secretaría de Obras Públicas, México, página 70.

El radio de giro, es el radio de la circunferencia definida por la trayectoria de la rueda delantera externa del vehículo, cuando este efectúa un giro (figura I-2). El radio de giro, las distancias entre ejes y la entrevía del vehículo, definen la trayectoria que siguen las ruedas cuando el vehículo efectúa un giro. Estas trayectorias especialmente la de la rueda delantera externa y la de la rueda trasera interna, sirven para calcular las ampliaciones en las curvas horizontales de un camino y para diseñar la orilla interna de la calzada en los ramales de las intersecciones.

El radio de giro mínimo está limitado por la deflexión máxima de las ruedas. La distancia entre los límites exteriores de las huellas de la llanta delantera externa y trasera interna es mayor cuanto menor es el radio de giro, alcanzado su valor máximo cuando el radio de giro es mínimo, es decir, cuando la deflexión de la llanta es máxima, a esa distancia se le llama distancia entre huellas externas y se le representa con la letra U. A la diferencia entre la distancia entre huellas externas y la entrevía se le denomina desplazamiento de la huella y se le representa con la letra "d". Así:

$$d = U - EV \quad (Ec.I.1)$$

La figura I-2 presenta el máximo desplazamiento de la huella para vehículos sin remolques articulados y con distancia entre ejes relativamente corta.

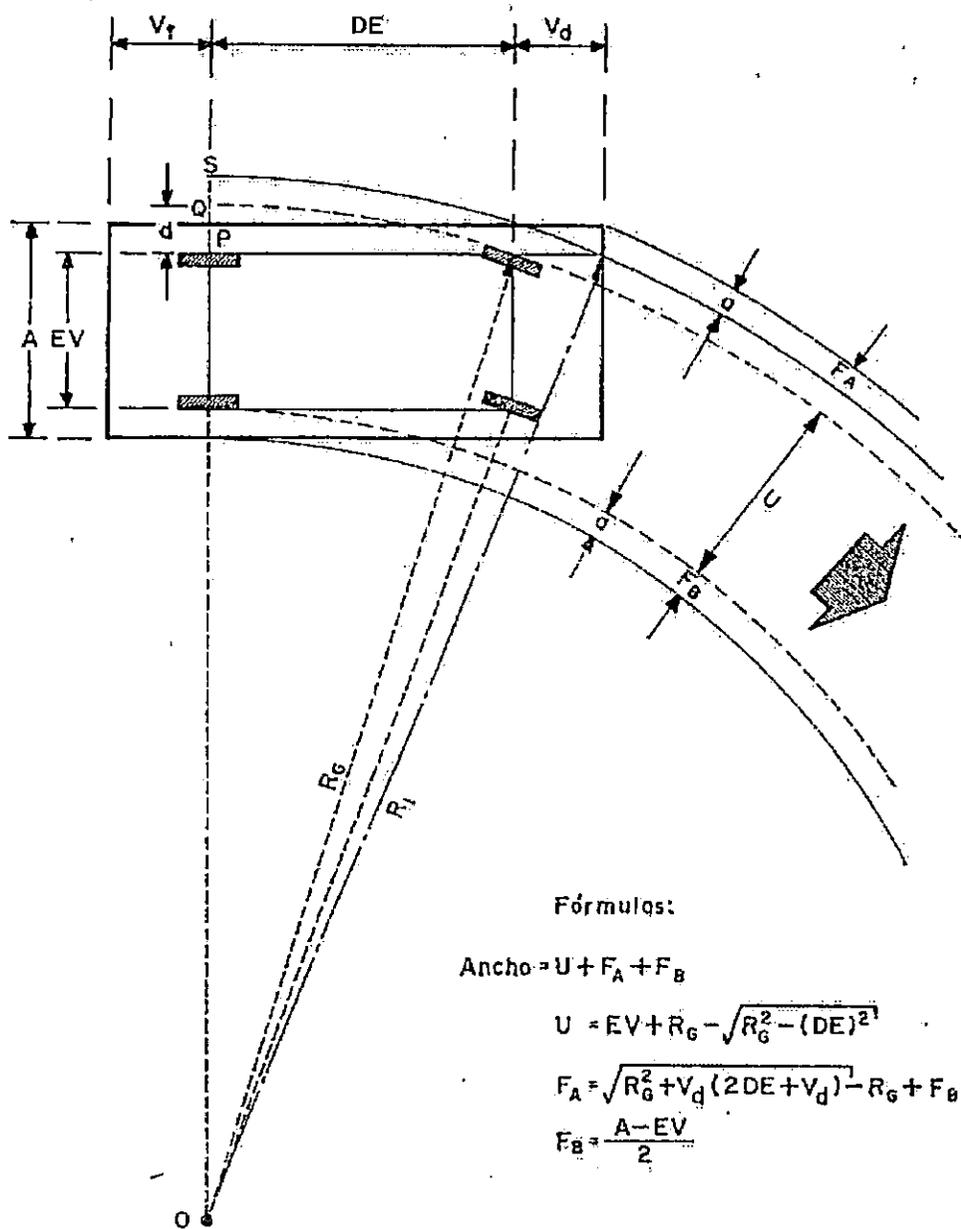


Figura I-2 . Ancho del vehículo en curva^{15b}

^{15b} Adaptada de Manual de proyecto geométrico de carreteras, Secretaría de Obras Públicas, México, página 72.

1.12.2.2.3. Relación peso / potencia

El peso del vehículo cargado y la potencia de su motor son los factores más importantes que determinan las características y costos de operación de un vehículo en el camino. Esto es particularmente importante en los vehículos pesados, ya que se ha encontrado que la relación peso / potencia de los camiones, está relacionada directamente con la velocidad y tiempo de recorrido en el camino. Asimismo, se ha observado que todos los vehículos con la misma relación peso / potencia tienen características de operación similares, lo cual indica que dos vehículos de diferentes pesos y potencias tienen el mismo comportamiento de operación como aceleración, velocidad de régimen etc., sobre el camino, si su relación peso / potencia es la misma. Normalmente la relación peso / potencia se expresa en términos de peso total del vehículo cargado, en kilogramos y la potencia neta del motor expresada en términos de caballos de fuerza (HP).

La relación peso / potencia influye directamente en el proyecto del alineamiento vertical y en el análisis de capacidad del camino. Las gráficas de la figura I-4 son representativas del efecto de las pendientes en los vehículos de proyecto cuya relación peso / potencia se indica en cada caso:

1.12.2.2.4 Aceleración y desaceleración

Un vehículo acelera cuando la fuerza tractiva que genera el motor es mayor que las resistencias que se oponen al movimiento del vehículo, y desacelera cuando las resistencias que se oponen al movimiento son mayores que la fuerza

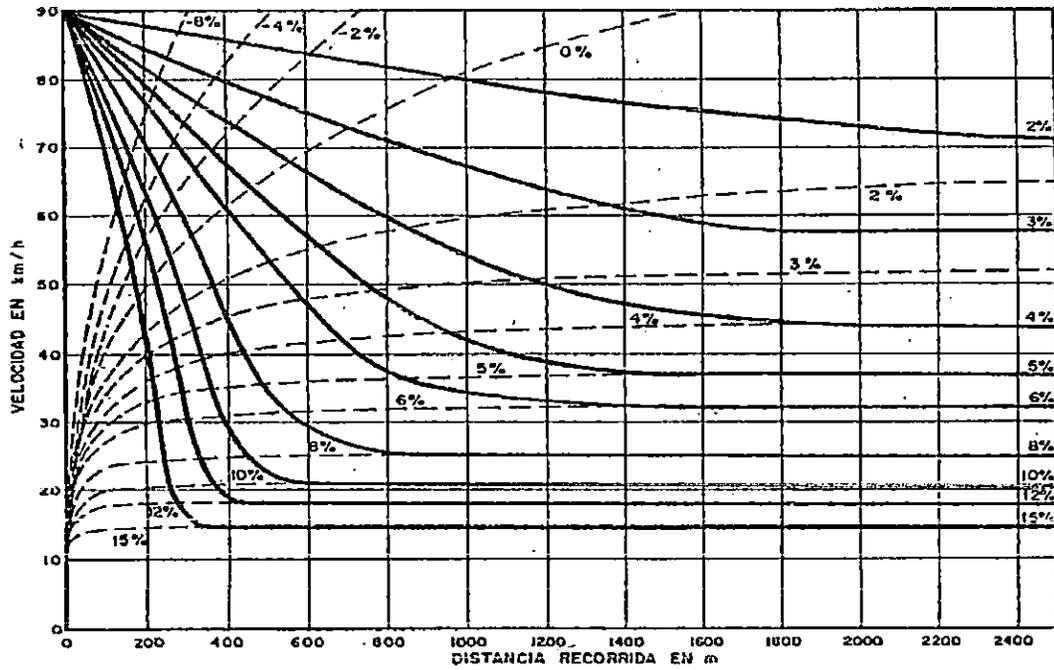


Figura I-3¹³ a) Efecto de las pendientes en los vehículos con relación peso/potencia de 90kg/Hp

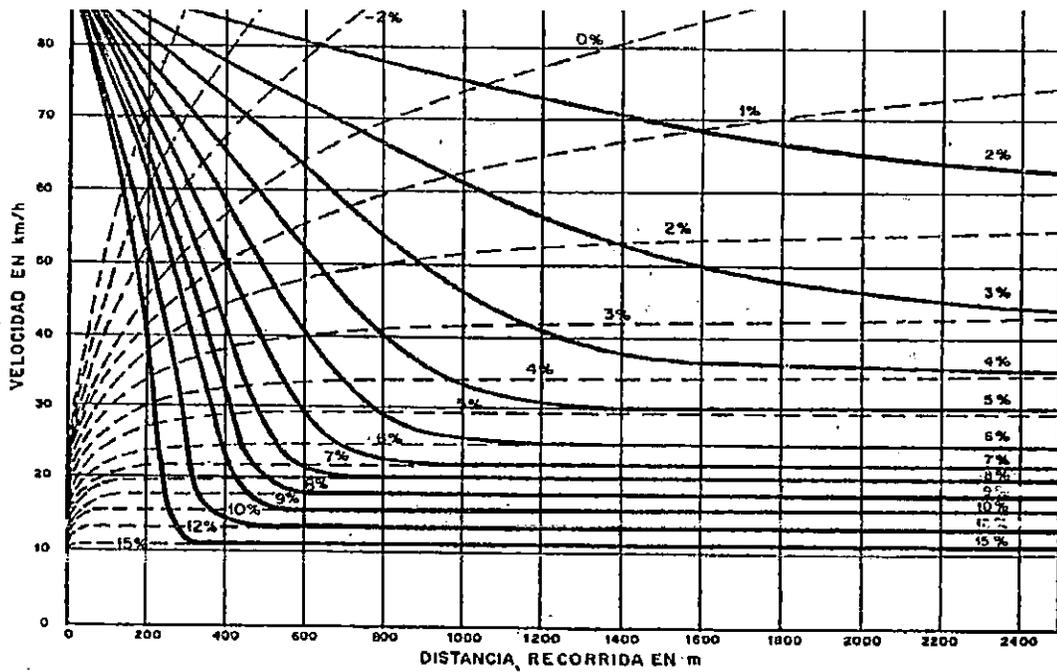


Figura I-3¹³ b) Efecto de las pendientes en los vehículos con relación peso/potencia de 120kg/Hp

¹³ -Adaptada de Manual de proyecto geométrico de carreteras, Secretaría de Obras Públicas, México, págs 80 y 81

tractiva generada. Cuando las resistencias son iguales que la Fuerza tractiva, el vehículo se mueve a velocidad constante y se dice que ha llegado a su velocidad de régimen.

En general, el conductor acelera su vehículo cuando efectúa una maniobra de rebase, cuando va a entrar a una pendiente ascendente, cuando se incorpora a una corriente de tránsito a través de un carril de aceleración, o bien cuando desea aumentar su velocidad para disminuir tiempos de recorrido; el conductor desacelera su vehículo cuando advierte algún peligro, para cruzar una intersección, para disminuir su velocidad en pendientes descendentes y en general cuando quiere disminuir su velocidad. Habrá ocasiones en que el vehículo pueda desacelerar o acelerar en mayor grado que el deseado por el conductor, como por ejemplo en las pendientes ascendentes y descendentes. En estos casos toca al proyectista juzgar e interpretar los deseos del conductor, apoyado en las características de su vehículo y en función del uso del camino. La fuerza de que dispone el vehículo para acelerarse y desacelerarse viene dada por la expresión:

$$F_D = F_T - (F_A + F_R + F_f + F_p) \quad (\text{Ec. I-2})$$

Siendo:

F_D : fuerza disponible para acelerar o desacelerar el vehículo en kg; cuando esta fuerza es positiva, el vehículo acelera; si es negativa, el vehículo desacelera.

F_T : fuerza tractiva neta del vehículo en kg. Es generada por el motor menos las resistencias internas producidas por los mecanismos de transmisión y las perdidas producidas por la altura sobre el nivel del mar y otros factores.

$$F_T = 270HP / V * K \quad (\text{Ec.I-3})$$

V : velocidad en km/hora

HP : potencia en caballos de fuerza

El valor K varía entre 0.70 y 0.95

F_A : resistencia producida por el aire al movimiento del vehículo, en kg.

$$F_A = K_A A V^2 \quad (\text{Ec.I-4})$$

donde:

A : área frontal del vehículo en m^2

V : velocidad del viento, en km / hora. Para fines de cálculo Se considera que la velocidad del viento es, es igual a la velocidad del vehículo .

K_A : factor que varía entre 0.005 y 0.006

F_R :resistencia al rodamiento producida por la deformación de la llanta y la superficie de rodamiento, en kg.

$$F_R = K_R W \quad (\text{Ec.I-5})$$

donde:

W : peso total del vehículo, en kg.

K_R : factor que varía entre 0.008 y 0.010 para asfalto

F_f : resistencia producida por la fricción entre llanta y superficie de rodamiento cuando se aplican los frenos, en kg.

$$F_f = Wf \quad (\text{Ec.I-6})$$

donde:

W : peso total del vehículo, en kg

f : coeficiente de fricción longitudinal entre llanta y pavimento

F_P : resistencia que ofrece la pendiente al movimiento del vehículo, en kg.

Cuando la pendiente es ascendente, ofrece resistencia al avance, pero cuando es descendente favorece este movimiento.

$$F_P = WP/100 \quad (\text{Ec.I-6a})$$

donde:

W : peso total del vehículo, en kg

P : pendiente de la tangente del alineamiento vertical, en por ciento.

Una vez calculada la fuerza disponible F_D , para acelerar o descelerar el vehículo (F_D), puede encontrarse el tiempo y la distancia que necesita un vehículo para adquirir una velocidad dada con las siguientes expresiones:

$$\Delta l = W (V_2^2 - V_1^2) / 254 F_D \quad (\text{Ec.I-7})$$

$$\Delta t = W (V_2 - V_1) / 35.4 F_D \quad (\text{Ec.I-8})$$

Donde:

V_2 : velocidad final en km / h

V_1 : velocidad inicial en Km. / h

1.12.2.3. Vehículo de proyecto

Es un vehículo cuyas características se emplearán para establecer los lineamientos que regirán el proyecto geométrico del camino e intersecciones. Este debe ser seleccionado de manera que represente un porcentaje significativo del tránsito que circulará por el camino, y las tendencias de los fabricantes a modificar las características de los vehículos. En la tabla I-5 se resumen las características de los vehículos de proyecto representativos de los vehículos presentados en la tabla I-4.

1.12.3 Velocidad

La velocidad es un factor muy importante en todo proyecto de caminos y factor definitivo al calificar la calidad del flujo de tránsito. Es un parámetro necesario en el cálculo de la mayoría de los demás elementos geométricos y de tránsito del proyecto. Con la excepción de una condición de flujo forzado, normalmente existe una diferencia significativa entre las velocidades a que viajan los diferentes vehículos en la corriente de tránsito. Ello es consecuencia del sinnúmero de factores que afectan la velocidad, tales como las limitaciones del conductor, las características de operación del vehículo, la presencia de otros vehículos, las condiciones ambientales, y las limitaciones de velocidad establecidas por dispositivos de control. Esta disparidad en la velocidad ha conducido al uso de velocidades representativas como la velocidad media.

Tabla I-4 .Características de los vehículos de proyecto¹⁶

CARACTERÍSTICAS		VEHICULOS DE PROYECTO					
		DE-335	DE-450	DE-610	DE-1220	DE-1525	
DIMENSIONES EN CM.	Longitud total del vehículo	L	580	730	915	1525	1678
	Distancia entre ejes extremos del vehículo	DE	335	450	610	1220	1525
	Distancia entre ejes extremos del tractor	DET	--	--	--	397	915
	Distancia entre ejes del semirremolque	DES	--	--	--	762	610
	Vuelo delantero	Vd	92	100	122	122	92
	Vuelo trasero	Vt	153	180	183	183	61
	Distancia entre ejes tandem tractor	Tt	--	--	--	--	122
	Distancia entre ejes tandem semirremolque	Ts	--	--	--	122	122
	Distancia entre ejes interiores tractor	Di	--	--	--	397	488
	Dist. Entre ejes int. Tractor y semirremol.	Ds	--	--	--	701	793
	Ancho total del vehículo	A	214	244	259	259	259
	Entrevía del vehículo	Ev	183	244	259	259	259
	Altura total del vehículo	Ht	167	214-412	214-412	214-412	214-412
	Altura de los ojos del conductor	Hc	114	114	114	114	114
	Altura de los faros delanteros	Hf	61	61	61	61	61
	Altura de los faros traseros	H	61	61	61	61	61
	Angulo de desviación del haz deluz de los faros	α	1°	1°	1°	1°	1°
Radio de giro mínimo (cm)	RG	732	1040	1281	1220	1372	
W Vehículo vacío	Wv	2500	4000	7000	110000	14000	
kg Vehículo cargado	Wc	5000	10000	17000	25000	30000	
Relación peso / potencia (Kg/HP)	Wv/P	45	90	120	180	180	
VEHICULOS REPRESENTADOS POR EL DE PROYECTO		Apy Ac	C2	B-C3	T2-S1 y T2-S2	T3-S2 y otros	
PORCENTAJE DE VEHICULOS DEL TIPO INDICADO CUYA DISTANCIA ENTRE EJES EXTREMOS (DE) ES MENOR QUE LA DEL VEHICULO DE PROYECTO		Apy Ac	99	100	100	100	
		C2	30	90	99	100	
		C3	10	75	99	100	
		T2-S1	0	0	1	80	
		T2-S2	0	0	1	98	
		T3-S2	0	0	1	18	
PORCENTAJE DE VEHICULOS DEL TIPO INDICADO CUYA RELACION PESO/POTENCIA ES MENOR QUE LA DEL VEHICULO DE PROYECTO		Apy Ac	98	100	100	100	
		C2	62	98	100	100	
		C3	20	82	100	100	
		T2-S1	6	85	100	100	
		T2-S2	6	42	98	98	
		T3-S2	2	35	80	80	

¹⁶ Adaptada de Manual de proyecto geométrico de carreteras, Secretaría de Obras Públicas, México, página 88.

1.12.3.1 Velocidad media con respecto al tiempo.

Está definida como la suma de velocidades dividida entre el número total de velocidades consideradas:

$$V_t = \frac{\sum_{i=1}^N V_i}{N} \quad (\text{Ec.I-9})$$

En donde:

V_t : Velocidad media con respecto al tiempo

N : Número total de vehículos observados

V_i : Velocidad del vehículo i

1.12.3.2 Velocidad media con respecto a la distancia.

Es el resultado de dividir la distancia recorrida entre el promedio de los

tiempos de recorrido: $V_d = \frac{Nd}{\sum_{i=1}^N t_i}$ (Ec.I-10)

En donde:

V_d : velocidad media con respecto a la distancia

d : Distancia recorrida

t_i : Tiempo de recorrido del vehículo i

N : Número total de vehículos observados

1.12.3.3 Velocidad de punto. Es la velocidad de un vehículo a su paso por un punto de un camino. Los valores usuales para estimarla, son el promedio de las velocidades en un punto de todos los vehículos.

Se ha encontrado que la diferencia en la velocidad de punto entre un camino revestido y uno pavimentado, es del orden de los 15 kilómetros por hora; en efecto, esto ocasiona el problema principal en los caminos rurales sostenibles cuando no se mejoran las características geométricas.

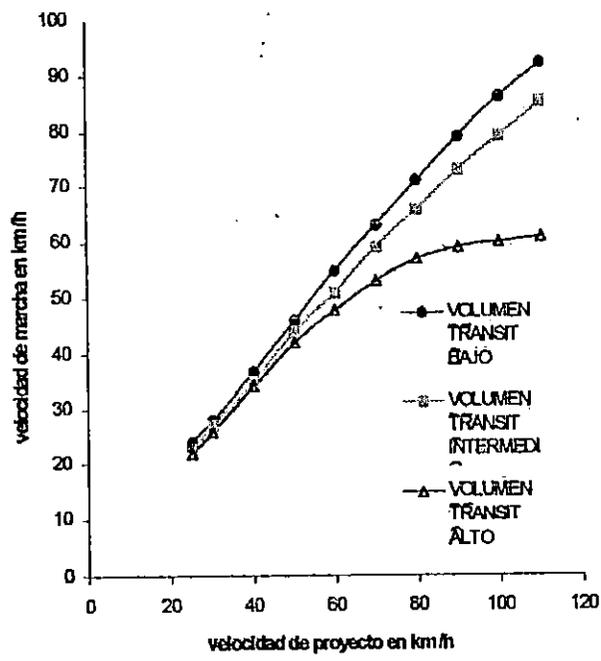


Figura 1-4 .Relaciones entre velocidad de marcha y de proyecto^{16a}

1.12.3.4 Velocidad de marcha

Es la velocidad de un vehículo en un tramo de un camino, obtenida al dividir la distancia de recorrido entre el tiempo en el cual el vehículo estuvo en movimiento; los valores empleados se determinan como el cociente de la suma

^{16a} Adaptada de Manual de proyecto geométrico de carreteras, Secretaría de Obras Públicas, México, página 105.

de las distancias recorridas (km) por todos los vehículos entre la suma de tiempos correspondientes (horas). La velocidad de marcha a la que circulan los vehículos en un camino, es una medida de la calidad del servicio que el camino proporciona a los usuarios; por lo tanto, para fines de proyecto, es necesario conocer las velocidades de los vehículos que se espera que circulen por el camino para diferentes volúmenes de tránsito.

1.12.3.5. Velocidad de operación

Es la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular en un tramo de camino, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito y bajo condiciones atmosféricas favorables, sin rebasar en ningún caso la velocidad de proyecto del tramo.

1.12.3.6. Velocidad de proyecto

Es la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con seguridad sobre un camino, cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son favorables. La selección de la velocidad de proyecto está influida principalmente por la configuración topográfica del terreno, el tipo de camino, los volúmenes de tránsito y el uso de la tierra. Un camino en terreno plano o con lomerío suave justifica una velocidad de proyecto mayor que la correspondiente a la de un camino en terreno montañoso. Sólo el hecho de establecer una velocidad de proyecto como una medida de control en los caminos rurales sostenibles no garantiza la seguridad de los usuarios ya que los conductores no ajustan sus velocidades a la importancia del camino, sino a

las limitaciones físicas y de tránsito que se presenten. En algunos casos, los conductores se muestran renuentes a cambiar la velocidad que ellos creen conveniente desarrollar en marcha, a aquella de seguridad y tratan de viajar con una velocidad alta, la cual no está de acuerdo con ese camino y las condiciones físicas ahí predominantes.

Al proyectar un tramo de un camino, es conveniente, aunque no siempre factible, suponer un valor constante para la velocidad de proyecto. Los cambios en la topografía pueden obligar a hacer cambios en la velocidad de proyecto, en determinados tramos, tales como pendientes fuertes, curvas de geometría obligada en alineamiento horizontal y vertical, así mismo, el rendimiento de los automotores durante la marcha en el trayecto sea este tortuoso o no y lineal. Si ocurre uno de los casos señalados, la introducción de una velocidad de proyecto mayor o menor no se debe efectuar repentinamente, sino sobre una distancia suficiente para permitir a los conductores cambiar su velocidad gradualmente, antes de llegar al tramo del camino con distinta velocidad de proyecto.

1.12.4. Distancia de visibilidad

Una buena visibilidad en una carretera es de fundamental importancia en cuanto a la seguridad en la circulación vehicular. Se denomina distancia de visibilidad a la longitud de carretera que un conductor ve continuamente delante de él, cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son favorables. Un objeto cualquiera sobre la sección del camino debe ser visto a

una distancia tal que el conductor de un vehículo, circulando a la velocidad de diseño o cerca de este valor, pueda detener su marcha con absoluta seguridad evitando su colisión. Por otra parte, en carreteras o caminos de dos carriles con doble sentido de circulación, como en el caso de los caminos rurales sostenibles, debe ser prevista una visibilidad tal que permita que se verifiquen operaciones de sobrepaso entre vehículos. Por tanto, se consideran dos distancias de visibilidad: la distancia de visibilidad de parada y la distancia de visibilidad de rebase.

1.12.4.1. Distancia de visibilidad de parada .

La distancia de visibilidad de parada es la distancia de visibilidad mínima necesaria para que un conductor que transita a, o cerca de la velocidad de proyecto, vea un objeto en su trayectoria y pueda detener su vehículo antes de llegar a él. Es la mínima distancia de visibilidad que debe proporcionarse en cualquier punto del camino. Esta distancia está formada por la suma de dos distancias: la distancia recorrida por el vehículo desde el instante en que el conductor ve el objeto hasta que coloca su pie en el pedal del freno y la distancia recorrida por el vehículo durante la aplicación de los frenos. A la primera se le llama distancia de reacción y a la segunda distancia de frenado. La distancia de visibilidad de parada viene dada por la expresión:

$$D_p = 0.278Vt + V^2 / (254(f \pm p)) \quad (\text{Ec.I-11})$$

Dondé :

D_p : distancia de visibilidad de parada

V : Velocidad del vehículo, en km/h

t : Tiempo de reacción, en segundos

f : coeficiente de fricción longitudinal y

p : pendiente del camino, en centésimas

El coeficiente de fricción y el tiempo de reacción han sido establecidos experimentalmente por la American Association of Standard Highway and Transportation Officials (AASHTO), determinando un tiempo de reacción para proyecto de 2.5 segundos y el coeficiente de fricción longitudinal para proyecto varía entre 0.4 para una velocidad de 30 km /h, hasta 0.29 para 110 km/h, correspondiendo estos datos a pavimentos mojados, que es la condición más desfavorable de la superficie de rodaje.

1.12.4.2. Distancia de visibilidad de rebase

La distancia de visibilidad de rebase es la distancia suficiente para que el conductor de un vehículo pueda adelantar a otro que circula por el mismo carril, sin peligro de interferir con un tercer vehículo que venga en sentido contrario y se haga visible al iniciarse la maniobra. No es posible establecer criterios rígidos para determinar la frecuencia y longitud de los tramos de rebase que debe tener una carretera de dos carriles, ya que depende de variables, tales como el volumen de tránsito, la configuración Topográfica, la velocidad de proyecto, el costo y el nivel de servicio deseado; sin embargo, para los caminos rurales sostenibles, considerando las fuertes pendientes, en muchos de los casos se recomienda proporcionar tantos tramos de rebase como sea

económicamente posible, para evitar que se formen filas de vehículos detrás de los vehículos lentos.

El método de la AASHTO para calcular la distancia de visibilidad de rebase da valores de casi siete veces la velocidad de proyecto en km/h, es demasiado conservador (valores muy altos) para las condiciones de los caminos rurales sostenibles, por lo que se adoptará la fórmula empleada por la secretaría de obras públicas de México, que viene dada por la expresión:

$$D_R = 4.5V \quad (\text{Ec. I-12})$$

En donde D_R es la distancia mínima de visibilidad de rebase en metros y V la velocidad de proyecto en km/h.

1.12.5. Tránsito.

1.12.5.1. Tránsito Promedio Diario

La unidad de medida generalmente usada en los estudios de tránsito de una carretera, es el tránsito promedio diario anual TPDA, definido como el volumen promedio durante veinticuatro horas, calculado tomando el volumen total durante un período de un año, y dividiéndolo por el número de días del período.

El TPDA para una carretera puede obtenerse fácilmente cuando se tienen contadores permanentes en la vía o por medio de contadores manuales estacionarios. El conocimiento del tránsito promedio diario es importante para varios propósitos: justificación de la ampliación de la vía y diseño de los elementos estructurales de la vía tales como puentes, bóvedas, etc.

1.12.5.2 Selección del volumen horario de diseño.

La selección del volumen horario está estrechamente relacionada con la variación del flujo de tránsito durante las diversas horas del día, días de la semana y estaciones del año, por lo que se asume un periodo de una hora por ser un valor representativo y el tiempo más corto que se ajusta a las prácticas de conteo para el diseño. Pero no es acertado, ni económico considerar los volúmenes horarios extremos que pueden ocurrir sólo pocas veces al año que trae como consecuencia el encarecimiento del proyecto vial.

Aplicando un método de análisis de datos de conteo de tránsito para 171 estaciones en 48 Estados de los Estados Unidos ¹⁷, se han elaborado las curvas que muestran el patrón de tránsito anual promedio para esas 171 estaciones e indica la variación de las corrientes máximas que ocurren en diferentes lugares, estas curvas fueron preparadas ordenando los volúmenes horarios de un año, expresados como porcentaje del TPDA, en orden de magnitud descendente y sirven como guía para seleccionar un volumen horario razonable para el diseño.

¹⁷ Proyecto de Carreteras, Jacob Carciente.

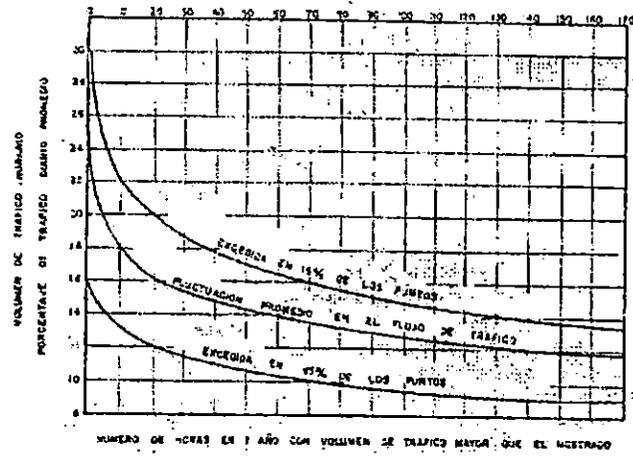


Fig. 1 – 5 Curvas de variación de las corrientes de tránsito: fluctuación promedio y fluctuaciones máximas.

Según estas curvas, el máximo volumen horario alcanzó el 31 % del tránsito diario promedio en un 15 % de los lugares estudiados, mientras que en el otro 85 % de estos lugares, el máximo volumen horario fue menos del 16 % del tránsito diario promedio. En una vía con fluctuación promedio de la corriente del tránsito, el máximo volumen horario representa alrededor de un 25 % del tránsito diario promedio. La relación entre las máximas corrientes horarias y el tránsito diario promedio en vías rurales, puede servir para seleccionar el volumen horario de diseño. Al observar la curva que muestra la fluctuación promedio del tránsito en una vía rural, se notará que si a una vía como ejemplo se anticipa un TPDA de 4,200 vehículos, el volumen horario más alto durante todo el año sería necesaria una capacidad de $0.25 \times 4,200 = 1,050$ vehículos por hora. En cambio una vía capaz de absorber el tránsito durante todas las horas del año, exceptuando los primeros 130 volúmenes horarios, requeriría de

una capacidad de $0.12 \times 4,200 = 504$ vehículos por hora. Si la capacidad práctica asignada a la vía fuera de 500 vehículos por hora solamente, un gran número de conductores sufriría las consecuencias de la congestión durante las 130 horas de volumen máximo del año. Si se proyectara de acuerdo con el volumen de las 120 horas en lugar de 130, el cambio en el diseño sería inapreciable, porque la diferencia entre los dos volúmenes horarios no merece tomarse en cuenta. Siguiendo este procedimiento, se encuentra que, aproximadamente, al trigésimo volumen horario el declive de la curva cambia rápidamente y es en este punto donde la relación entre el beneficio para el conductor y el costo de la obra proyectada alcanza el óptimo. Por conveniencia, la relación entre el trigésimo volumen horario y el TPDA se expresa en forma de porcentaje y se designa con la letra K. Generalmente está comprendida entre 12 % y 18%.

1.12.5.3 Proyección del tránsito

El proyecto de nuevas carreteras o el mejoramiento de las existentes no debe basarse solamente en los volúmenes de tránsito actuales, sino que debe tomar en cuenta también los probables en los años futuros. El volumen horario de proyecto, debe corresponder al trigésimo volumen horario máximo del año escogido para proyectar.

1.12.5.3.1. Método de la AASHTO para estimar el tránsito futuro.

En este método, se establece que, las componentes del tránsito futuro son:

1. Tránsito actual

- a) Tránsito existente
- b) Tránsito atraído
- 2. Aumentos del tránsito
 - a) Crecimiento normal del tránsito
 - b) Tránsito inducido
 - c) Tránsito de desarrollo

El tránsito actual es el volumen de tránsito que usaría una nueva carretera, si ésta estuviera abierta al tránsito en el presente. En el caso de mejora de una vía existente, su tránsito actual se compone del tránsito existente que utiliza esa vía antes de la mejora, más el tránsito que atrae de otras vías próximas por las ventajas que ahora ofrece. En el caso de una vía nueva, el tránsito actual será enteramente tránsito atraído. Aumentos del tránsito, el tránsito actual, que sólo representa los viajes actuales que serán efectuados en la vía al ser abierta al tránsito, es incrementado durante el período de proyecto por el crecimiento normal del tránsito, por el tránsito inducido y por el tránsito de desarrollo. El crecimiento normal del tránsito, es el aumento de volumen de tránsito, originado por el crecimiento de la población y por el mayor uso de vehículos.

El tránsito inducido, consiste en el que se origina exclusivamente por las mejoras o por la construcción de la nueva vía y el cual no se produciría de no haber sido proporcionadas éstas. Este tránsito es atribuido a la atracción de la nueva carretera o de las mejoras y no a la variación en el uso de la tierra. Es el uso de la vía por la novedad y no por necesidad.

El tránsito de desarrollo es debido al desarrollo e integración de los terrenos adyacentes a la nueva vía a diferencia del tránsito inducido, esta componente del tránsito futuro continúa desarrollándose por muchos años después de haberse construido la nueva carretera.

La estimación del desarrollo de la tierra se hace en base a mapas de uso existentes, de las mejoras existentes, de la zonificación existente de los cambios de zonificación propuestos y del uso probable de la tierra.

1.12.5.3.2. Método gravimétrico para estimar el tránsito futuro.

En este se plantea el problema de una forma más teórica, partiendo del supuesto de que el tránsito entre dos localidades es proporcional al producto de su número de habitantes o de cualquier otra medida de posible tránsito, tal como el número de vehículos registrados, e inversamente proporcional a una cierta potencia de la distancia entre ambas localidades, o sea,

$$V_{A-B} = K \frac{(Ma)(Mb)}{D^n} \quad \text{Ec. (I-13)}$$

Donde:

V_{A-B} : Volumen de tránsito entre A – B

Ma y Mb : Número de habitantes de las dos zonas

D : Distancia entre las zonas A y B expresada en medidas de longitud o en el tiempo de duración de el viaje.

K : Constante que depende de las unidades escogidas

n : Exponente propio de la zona.

1.12.6. Capacidad.

Capacidad, es la posibilidad de una carretera o un camino para aceptar un volumen dado de vehículos en un espacio de tiempo determinado. La aplicación de los datos de tránsito al proyecto de una carretera requiere del conocimiento de la capacidad de la vía. En tanto, el principal objetivo que se busca satisfacer en el proyecto y construcción de una carretera o camino es servir de una manera eficiente al volumen de vehículos que circulen; así, el estudio de la capacidad de una vía será la determinación de la efectividad de las diversas disposiciones para servir al tránsito y envuelve los elementos de diseño de la carretera, las características de los vehículos, de los conductores y las medidas de control de tránsito que ejercen influencia directa sobre el movimiento de los vehículos.

La capacidad de la vía está referida a la disposición de la carretera o camino para acomodar el tránsito que por ella circule. Para ser un elemento de análisis en el diseño o rediseño de una vía, deberá ser estimada a partir de la relación de un grupo de condiciones, entre las que se tienen, la composición del tránsito, el alineamiento horizontal y vertical de la vía, número y ancho de los carriles, velocidad de los vehículos, etc., las cuales se definen como condiciones prevalecientes, agrupándose en dos categorías:

- a) Condiciones Prevalcientes a la Vía, las cuales están determinadas por los rasgos físicos de la vía; estas, nunca cambian a menos que la vía sea sujeta de una construcción o reconstrucción.

b) Condiciones Prevalcientes al Tránsito, estas dependen del tránsito que usa la vía, por lo tanto podrán variar de hora en hora durante diversos períodos del día.

Existen tres tipos de capacidad de una vía:

Capacidad básica : "Es el máximo número de vehículos de pasajeros que puede pasar por un punto determinado de una vía o de un carril de la misma, durante una hora y bajo condiciones más favorables de la vía y de tránsito que sea posible obtener".

Capacidad posible : "Es el máximo número de vehículos que pueden pasar por un punto dado de una vía o en un carril, durante una hora, bajo condiciones prevalcientes de la vía y de tránsito".

Capacidad práctica : "Es el máximo número de vehículos que puede pasar por un punto dado de una vía o de un carril de la misma, durante una hora, bajo las condiciones prevalcientes de la vía y del tránsito, sin que ocurran demoras apreciables y sin que haya restricción en la libertad de maniobrar de los conductores".

1.12.6.1. Objetivo de la Capacidad.

El conocimiento de la capacidad o del volumen de servicio de una vía sirve esencialmente para los propósitos siguientes:

a) Para fines de proyecto de una obra nueva. Las características geométricas en una vía estarán en relación directa con la capacidad y el nivel de servicio

que se desee que la vía ostente; por tanto, deberán suministrar un volumen de servicio correspondiente al nivel de servicio establecido, por lo menos igual al volumen horario de proyecto. Es así, que al proyectar un camino no conviene fijar las condiciones de operación a un nivel de servicio igual a la capacidad, ya que esto conlleva únicamente, a la imposición de condiciones de operación desfavorables a la vía, desde el momento que esta se abre al tránsito. Se vuelve conveniente que para fines del proyecto, que se establezca un nivel de servicio aceptable para los conductores. La selección del nivel de servicio que se desee que tenga la vía, depende de una serie de factores, como por ejemplo los volúmenes de tránsito que circularan por la vía, los cuales en algún momento cuando se alcanza el máximo volumen, imponen limitaciones difíciles, sino imposibles de eludir, tales como limitaciones físicas y económicas, de igual forma deberá tomarse muy en cuenta el grado de seguridad que se desee dar a la vía.

b) Para la investigación de las condiciones de operación de un camino existente, la relación cuantitativa, pero más que todo la comparación entre el volumen de tránsito que circula por un camino existente y el volumen de servicio del mismo, de acuerdo a las características geométricas y de tránsito, permite determinar el nivel de servicio a que está operando el camino y establecer de forma aproximada la fecha en que este camino quedará saturado.

los niveles de servicio actuales y futuros de un grupo o de una red de caminos, establecen una jerarquización de necesidades viales que servirá como índice para determinar prioridades, relativas a, qué caminos deberán mejorarse.

1.12.6.2. Factores que afectan la capacidad.

Al proyectar un camino las condiciones bajo las que operara este, no serán las condiciones ideales, en las cuales tanto la capacidad como los volúmenes de servicio en un nivel dado son máximos, por tanto, los valores de capacidad y volúmenes de servicio se alejarán de los valores teóricos máximos para las condiciones ideales; de ahí que los niveles de servicio como los volúmenes de servicio no serán los máximos y se ajustarán a las condiciones geométricas impuestas al camino. En la mayoría de los caminos se tienen que aplicar factores de ajuste a la capacidad o al volumen de servicio, en condiciones ideales. Estos factores pueden dividirse en dos categorías: factores relativos al camino y factores relativos al tránsito, estos representan a la capacidad, e indirectamente a la seguridad del camino, pues casi siempre que un elemento geométrico del camino sufre alguna modificación ya sea reduciendo el volumen de servicio o aumentando la velocidad de operación, es causa potencial de accidentes.

1.12.6.2.1. Factores Relativos al camino.

Atribuibles al diseño geométrico, tienen influencia directa o indirecta en la capacidad. Algunas de las condiciones más importantes que afectan la

capacidad de una vía son: el ancho de carril, los obstáculos laterales, combinación del ancho de carril y la distancia a obstáculos lateral, los acotamientos, los carriles auxiliares, las condiciones de la superficie de rodadura, las características del alineamiento horizontal y vertical. Así, se definen como siguen:

Ancho de carril, el ancho del carril ideal para un camino es de 3.65 m., para el cual se establecen 2,000 vehículos por hora para la capacidad básica y de 900 vehículos por hora para la capacidad práctica¹⁸; así mismo, para caminos con carriles de ancho menor de 3.65 m., estos tienen menor capacidad en condiciones de circulación continua; algunos anchos de carril típicos son 3.35 m., 3.05 m., 2.75 m.¹⁹, para caminos de dos carriles. Cuando los caminos son angostos, los vehículos realizan maniobras de rebase permaneciendo un periodo más largo en el carril izquierdo que cuando se tienen carriles que son anchos, con la consiguiente reducción de la capacidad.

La tabla N° 1.5. contiene valores de capacidad para los anchos de carril acotados.

Obstáculos laterales, es todo objeto u obra de ingeniería civil que se encuentre alojado a una distancia menor de 1.80 m. de la orilla de un carril de tránsito en

¹⁸ Jacob Carciente, Estudio y Proyecto de Carreteras. Universidad Central de Venezuela, ed. Vega, 1° edición pág.116.

¹⁹ Jacob Carciente, Estudio y Proyecto de Carreteras. Universidad Central de Venezuela, ed. Vega, 1° edición pág.116.

un camino, los cuales reducen el ancho efectivo del carril en cuestión, por ejemplo:

Tabla N° 1.5.

Efecto del ancho de carril en la capacidad- tráfico continuo.

Carreteras rurales de dos carriles con tránsito en ambos sentidos				
Ancho de carril (m.)	Para capacidad posible		Para capacidad práctica	
	Vehículos por hora	Porcentaje de la capacidad en carriles de 3.65 m.	Vehículos por hora	Porcentaje de la capacidad en carriles de 3.65 m.
3.65	2,000	100	900	100
3.35	1,760	88	774	86
3.05	1,620	81	693	77
2.75	1,520	76	630	70

puentes, vehículos estacionados adyacentes al borde del carril de tránsito; hay excepciones como un obstáculo que tenga una altura menor o igual a 0.20 m., como las guarniciones, las cuales no tienen un impacto significativo en el ancho del carril; es decir, que no crean en los automovilistas la sensación de reducción de carril. En los casos en los que los obstáculos laterales afectan solamente un pequeño tramo de camino, como por ejemplo de un vehículo estacionado, los parapetos de un puente, algún poste, esto conlleva a un estrangulamiento del flujo del volumen de tránsito; esta condición de reducción del volumen de tránsito afecta significativamente, hasta el punto de formar

Tabla N° 1.5, Jacob Garciente, Estudio y Proyecto de Carreteras, Universidad Central de Venezuela. Ed. Vega. 1° edición. Pág. 119.

grandes embotellamientos cuando los caminos tienen altos volúmenes de tránsito; esto no ocurre en aquellos caminos que presentan bajos volúmenes de tránsito. De igual forma, cuando el obstáculo lateral, persiste en un tramo largo del camino, como por ejemplo un muro de contención, un talud a lo largo de un corte, el conductor llega a acostumbrarse a el, de tal manera que con el transcurrir del tiempo el efecto del obstáculo sobre el ancho del carril tiende a disminuir. Aunque la distancia de 1.80 m., a los obstáculos laterales, es la ideal desde el punto de vista técnico en cuanto a la capacidad, no implica que sea la ideal desde el punto de vista seguridad, dado que desde el punto de vista de operación del conductor siempre tendrá cierto grado de peligrosidad por la presencia de algún tipo de obstáculo.

La tabla N° 1.6. tiene el ancho efectivo que deberían tener los carriles, en base a distintas distancias del obstáculo al borde del pavimento.

Tabla N° 1.6.

Efecto de las obstrucciones laterales en la capacidad práctica de tránsito continuo.

<i>Distancia desde el borde del pavimento hasta el obstáculo (metros)</i>	<i>Ancho efectivo de dos carriles De 3.65 metros</i>
1.80	7.30
1.20	6.70
0.60	6.10
0.00	5.50

Tabla N° 1.6. Jacob Carciente, Estudio y Proyecto de Carreteras, Universidad Central de Venezuela. Ed. Vega. 1° edición. Pág. 120.

Combinación del ancho de carril y la distancia a obstáculos laterales, los obstáculos laterales producen el mismo efecto que el ancho de carril, por eso se debe considerar la combinación de ambos ya que en la realidad estas dos situaciones, el ancho del carril y la distancia a obstáculos laterales, se presentan como una sola, la tabla N° 1.7. contiene la combinación de los efectos que produce el ancho del carril y la distancia a obstáculos laterales en uno o en ambos lados del camino para caminos de dos carriles. Si los obstáculos existen a ambos lados del camino pero a diferentes distancias los valores deberán promediarse.

Tabla N° 1.7:

Efecto combinado del ancho del carril o canal y de la restricción del espacio a los lados.

DISTANCIA DESDE LA ORILLA DEL CARRIL AL OBSTÁCULO (m)	FACTORES DE AJUSTE W_L Y W_C POR ANCHO DE CARRIL Y DISTANCIA A OBSTACULOS LATERALES															
	OBSTÁCULO EN UN SOLO LADO ^b								OBSTÁCULO EN AMBOS LADOS ^b							
	CARRILES EN METROS															
	3.65		3.35		3.05		2.75		3.65		3.35		3.05		2.75	
	NIVEL		NIVEL		NIVEL		NIVEL		NIVEL		NIVEL		NIVEL		NIVEL	
B	E ^c	B	E ^c	B	E ^c	B	E ^c	B	E ^c	B	E ^c	B	E ^c	B	E ^c	
1.80	1.00	1.00	0.86	0.88	0.77	0.81	0.70	0.76	1.00	1.00	0.86	0.88	0.77	0.81	0.70	0.76
1.20	0.96	0.97	0.83	0.85	0.74	0.79	0.68	0.74	0.92	0.94	0.79	0.83	0.71	0.76	0.65	0.71
0.60	0.91	0.93	0.78	0.81	0.70	0.75	0.64	0.70	0.81	0.85	0.70	0.75	0.63	0.69	0.57	0.65
0.00	0.85	0.88	0.73	0.77	0.66	0.71	0.60	0.66	0.70	0.76	0.60	0.67	0.54	0.62	0.49	0.58

a.- Factores de ajuste, W_c para el nivel "E" (Capacidad) y W_L para el nivel "B" ; interpolar para otros niveles.

b.- Incluye el efecto del tránsito en sentido contrario.

c.- Capacidad

Acotamientos. Son más útiles en caminos de dos carriles, ya que si estos no tienen 3.65 m. de ancho los vehículos que resulten con averías en el camino producirán una baja sensible en nivel de servicio, haciendo que este se acerque cada vez más a la capacidad del camino, produciendo congestión del tránsito. Los acotamientos además de mantener los niveles de servicio en valores aceptables, alejados del valor de capacidad del camino, al proporcionar refugio para los vehículos descompuestos, pueden incrementar el ancho efectivo de los carriles. En la tabla N° 1.8, se presentan valores típicos de anchos de acotamiento respecto al volumen de proyecto.

Tabla N° 1.8¹.

Anchos mínimos de acotamientos recomendados para carreteras rurales
(AASHO).

<i>Volumen de proyecto</i>		<i>Dimensión del acotamiento metros</i>
<i>Tráfico diario promedio(vehículos por día)</i>	<i>Volumen horario de proyecto</i>	
50-250		1.20
250-400		1.20
400-750	1000-2000	1.80
	2000-4000	2.40
	más de 4000	3.05

Carril Auxiliar, se define como la parte adicional al camino en una longitud limitada, tal como en tramos con pendientes ascendentes y pronunciadas,

Tabla N° 1.8. Jacob Carciente, Estudio y Proyecto de Carreteras, Universidad Central de Venezuela. Ed. Vega. 1° edición. Pág. 123.

puntos específicos como miradores, paradas de autobuses, diseñado con el fin de permitir la utilización efectiva del carril y mejorar el nivel de servicio de los carriles principales de tránsito, evitando de esta manera los congestionamientos que pueden darse en un camino específico; estos se utilizan principalmente para: estacionamiento momentáneo, cambios de velocidad, entrecruzamientos, vueltas, separación de vehículos lentos en pendientes ascendentes, otros fines que auxilien a la circulación del tránsito.

Estado de la superficie de rodadura, es uno de los factores que mayor importancia toma desde el punto de vista de operación y funcionamiento del camino, dado que, dependiendo del buen estado o deterioro en que ésta se encuentre, así será el nivel de servicio que el camino tenga, sobre todo en lo referente a la velocidad, comodidad, economía y principalmente seguridad. De modo que se llega a una relación directamente proporcional, ya que a medida la superficie de rodadura se encuentre deteriorada, la velocidad, comodidad, economía y la seguridad se verán afectadas adversamente; por el contrario, a medida que la superficie de rodadura se encuentre en buenas condiciones, la velocidad, comodidad, economía se verán afectadas favorablemente, esto no se aplica en su totalidad a la seguridad, ya que a mejores condiciones de la superficie de rodadura el conductor tiende a aumentar la velocidad de los automotores, un poco más que, la velocidad de proyecto, de ahí que la seguridad disminuya.

Alineamiento, tanto el alineamiento horizontal como el vertical de un camino afectan grandemente la capacidad y el nivel de servicio del mismo, dado que estos son diseñados en base a la velocidad de proyecto; sin embargo, esta puede variar en múltiples ocasiones dada la configuración del terreno, por lo que se utiliza un promedio ponderado de la velocidad. Su efecto se hace sentir principalmente en los volúmenes de servicio aunque también a la capacidad pero con una intensidad menor.

Pendientes, es de los factores de mayor importancia, ya que puede afectar los volúmenes de servicio: reduciendo la distancia de visibilidad en caminos de dos carriles; provocando, reducción o aumento de las distancias de frenado en pendientes ascendentes o descendentes, respectivamente, lo que implica espaciamientos más cortos entre vehículos que están subiendo una pendiente, o bien, aumento del espaciamiento entre vehículos que descienden, debido a la distancia de seguridad que debe mantenerse. También, reducción de la velocidad de los vehículos pesados en pendientes ascendentes ocasionando congestionamientos.

Carriles auxiliares de ascenso. La función de estos es el mejoramiento de la capacidad y el nivel de servicio, debido a que llegan a ser parte de la solución del problema que surge con respecto a la circulación de vehículos pesados en caminos de dos carriles y en pendientes ascendentes.

1.12.6.2.2. Factores Relativos al Tránsito.

Son todos aquellos que afectan la capacidad y los volúmenes de servicio de un camino, dadas las características propias del tránsito. Entre estos están los siguientes: porcentaje de vehículos comerciales: camiones y autobuses, y las interrupciones en el volumen de tránsito.

Porcentaje de vehículos comerciales o pesados, los vehículos comerciales o pesados, sean estos camiones o autobuses, reducen la capacidad de un camino en términos del total de vehículos que circulan por hora, lo cual indica que estos (los vehículos comerciales) desplazan una cantidad significativa de vehículos ligeros o de pasajeros, debido a que ocupan un mayor espacio, además de tener una relación peso/potencia distinta a la que poseen los vehículos de pasajeros, lo cual provoca que los vehículos comerciales²⁰ tiendan a tener velocidades menores que los vehículos de pasajeros, especialmente en pendientes ascendentes, dependiendo de lo pronunciado y de la longitud de la pendiente. Este problema ocurre más, en caminos de dos carriles como el caso de este estudio. Para el caso de camiones y autobuses su tránsito se toma en cuenta de la siguiente manera:

1.-Camiones, el valor de vehículos ligeros equivalentes²¹ para caminos de dos carriles es de 2 ó 3. La forma de determinar este valor es por medio de las

²⁰ Vehículo Comercial, es el vehículo de más de dos ejes, destinado al transporte de personas u objetos o cosas, cuya relación peso/potencia es diferente a la de los vehículos ligeros.

²¹ Vehículos ligeros equivalentes, es el número de vehículos ligeros o de pasajeros que un vehículo comercial desplaza de la vía, mientras este se conduce por la misma.

velocidades y espaciamiento de los vehículos a diversos volúmenes de tránsito en carreteras con diferentes alineamientos. La equivalencia de vehículos ligeros se mantiene en una proporción inversamente proporcional a la velocidad de los camiones, en condiciones de pendientes ascendentes. De igual forma la equivalencia aumenta a medida los niveles de servicio del camino decaen, debido a que el rebase se dificulta cada vez más hasta que finalmente se hace imposible. Sin embargo, se ha observado, que el equivalente de vehículos ligeros aparentemente cambia muy poco o nada, con un cambio en el porcentaje de camiones, cuando las características geométricas del camino se mantienen constantes. La figura N° 1.6. muestra la forma en que varía la equivalencia de vehículos ligeros, con la variación de la velocidad media de los camiones, en cualquier pendiente en caminos de dos carriles. En esta se representa de forma gráfica cómo a medida las velocidades de los camiones disminuye, aumenta la relación de vehículos ligeros equivalentes, mientras que a medida la velocidad aumenta la relación de vehículos ligeros equivalentes disminuye, describiendo una tendencia exponencial según lo observado en la gráfica de la figura N° 1.6.

2.-Autobuses, el efecto que estos producen a la capacidad es el mismo que el que producen los camiones sólo que en menor grado. El número de vehículos ligeros equivalentes para caminos de dos carriles es de dos, cuatro y seis en terreno plano, en lomerío y montañoso respectivamente. Rara vez se toma en cuenta el efecto que los autobuses tienen sobre la capacidad de los caminos y

por lo general se consideran como camiones; sin embargo, bajo las condiciones de tránsito y fisiográficas que imperan en el país, específicamente

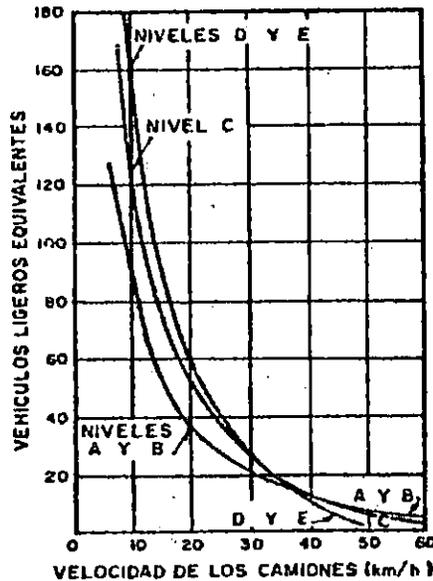


Figura N° 1.6.

Vehículos ligeros equivalentes por camión, para diferentes velocidades medias de los camiones en caminos de dos carriles.

en la zona rural, se hace importante considerarlos, ya que en la mayor parte de caminos rurales se hayan fuertes pendientes, las cuales generan condiciones muy desventajosas, tales como embotellamientos, permanencia en el carril contrario por un período de tiempo muy prolongado, disminución de la distancia de visibilidad de rebase y de parada, lo que se traduce en la reducción de la velocidad de operación y aumento de los volúmenes de tránsito, afectando de esta manera los Niveles de Servicio de los caminos en cuestión. En la tabla

Figura-N° 1.6. Secretaría de Obras Públicas, Manual de Diseño Geométrico, México. Pág. 170.

N° 1.9, se dan valores de vehículos ligeros equivalentes, para distintas configuraciones de terreno y distintos Niveles de Servicio.

Tabla N° 1.9.

Vehículos ligeros equivalentes por camión y por autobús en tramos largos de carreteras de dos carriles.

EQUIVALENTE	NIVEL DE SERVICIO ^b	EQUIVALENTE, PARA:		
		TERRENO PLANO	TERRENO EN LOMERIO	TERRENO MONTAÑOSO
<i>E_T</i> , PARA CAMIONES	A	3	4	7
	B Y C	2.5	5	10
	D Y E	2	5	12
<i>E_B</i> , PARA AUTOBUSES ^a	Todos los Niveles de servicio	2	4	6

a- Hacer consideraciones por separado no es requisito en la mayoría de los problemas; aplíquese únicamente cuando el volumen de autobuses sea significativo.
 b- Ver descripción en 1.6.7.1. Niveles de servicio.

En la tabla N° 1.10, se presentan valores de vehículos ligeros equivalentes por camión para distintos valores de pendientes en caminos de dos carriles.

Tabla N° 1.10.

Vehículos ligeros equivalentes por camión, para subtramos o pendientes especificadas de carreteras de dos carriles.

PENDIENTE (%)	LONGITUD DE LA PENDIENTE (M)	VEHICULOS LIGEROS EQUIVALENTES (Para todas las Percepciones de Camiones)								
		PESO POTENCIA = 50 kg/HP			PESO POTENCIA = 100 kg/HP			PESO POTENCIA = 150 kg/HP		
		NIVEL DE SERVICIO A1P	NIVEL DE SERVICIO C	NIVEL DE SERVICIO D1E	NIVEL DE SERVICIO A1P	NIVEL DE SERVICIO C	NIVEL DE SERVICIO D1E	NIVEL DE SERVICIO A1P	NIVEL DE SERVICIO C	NIVEL DE SERVICIO D1E
0 - 1	TODOS	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1 - 2	TODOS	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	0 400							6	4	2
	0 800							6	5	2
	1 200							8	7	2
	1 600							8	8	4
	2 400							8	9	6
	3 200							10	10	7
	4 800							11	11	8
3	0 400	4	2	2	5	4	2	7	7	2
	0 800	4	2	2	6	5	2	11	11	8
	1 200	4	2	2	7	6	2	14	14	13
	1 600	5	3	2	8	7	3	15	16	15
	2 400	5	3	2	9	8	4	17	21	21
	3 200	5	3	2	10	9	5	18	22	22
	4 800	5	3	2	10	9	5	19	24	24
4	0 400	6	4	2	7	6	2	11	11	8
	0 800	7	6	2	10	10	7	16	22	22
	1 200	7	7	2	12	12	10	22	28	29
	1 600	7	7	2	13	13	12	24	31	34
	2 400	8	8	3	14	14	14	25	34	37
	3 200	8	8	4	15	15	15	26	35	39
	4 800	8	8	5	16	16	16	27	36	40
5	0 400	7	7	2	10	10	7	16	19	19
	0 800	10	10	7	15	17	17	26	35	39
	1 200	11	11	9	17	20	20	30	41	46
	1 600	12	12	10	18	23	23	32	45	50
	2 400	13	13	11	19	25	25	34	47	54
	3 200	13	13	12	20	26	26	34	47	58
	4 800	14	14	12	20	26	27	35	48	55
6	0 400	14	14	12	20	26	28	35	48	55
	0 800	14	14	13	21	27	29	34	47	54
	1 200	15	15	13	21	27	32	39	54	64
	1 600	16	17	17	24	32	34	41	59	72
	2 400	17	18	18	25	34	36	44	62	78
	3 200	17	19	19	26	35	37	45	64	83
	4 800	18	20	21	28	38	40	48	68	87
7	0 400	18	21	22	26	33	38	46	62	74
	0 800	14	14	14	20	27	27	31	43	49
	1 200	18	22	23	27	34	42	44	61	74
	1 600	19	23	26	29	40	45	47	65	79
	2 400	20	26	27	30	42	47	49	67	83
	3 200	21	27	28	31	43	48	51	70	86
	4 800	22	28	29	32	44	49	51	71	87
8	0 400	22	28	30	32	45	50	52	72	89
	0 800	10	10	10	15	20	20	22	28	34
	1 200	15	18	19	22	29	31	33	43	51
	1 600	16	20	21	24	32	34	36	47	57
	2 400	17	21	22	25	34	36	38	50	61
	3 200	18	22	23	26	35	37	39	51	63
	4 800	19	23	24	27	36	38	40	52	65

Tabla N° 1.10. Secretaría de Obras Públicas, Manual de Diseño Geométrico, México. Pág. 200.

En la tabla N° I.11, se presentan valores de vehículos ligeros equivalentes por autobuses para distintos valores de pendientes en caminos de dos carriles.

Tabla N° I.11.

Vehículos ligeros equivalentes por autobús en subtramos o pendientes especificadas de carreteras de dos carriles.

PENDIENTE ^a (%)	EQUIVALENCIA EN VEHÍCULOS LIGEROS ^b , E _B		
	Niveles de Servicio A y B	Nivel de Servicio C	Niveles de Servicio D y E (Capacidad)
0-4	2	2	2
5 ^c	4	3	2
6 ^c	7	6	4
7 ^c	12	12	10

a.- Todas las longitudes.

b.- Para todos los porcentajes de autobuses.

c.- Solo cuando la longitud de las pendientes, sea mayor de 800 m.

Interrupciones en el tránsito, al igual que para los caminos de carriles múltiples, las interrupciones tienen un efecto negativo en la operación de caminos de dos carriles. Dado que hay interrupciones del tránsito debidas a paradas momentáneas, descomposturas y otras interrupciones semejantes; estas tienen un efecto mayor en la operación que el que pueden producir incidentes de igual magnitud e intensidad en caminos de carriles múltiples, debido a que es mayor la probabilidad de un bloqueo completo de una de las direcciones de ida o regreso, de la corriente de tránsito, este tipo de efectos deberá ser

tomado muy en serio en el diseño geométrico del camino, al momento de asignarle un valor de capacidad y determinar el tipo de nivel de servicio que el camino tendrá, ya que habrá que involucrar una serie de variables que afectarán grandemente el proyecto, tales como, la conducta de los usuarios del camino, las innovaciones tecnológicas hechas a los vehículos; lo cual puede derivarse en el aumento de la relación peso/potencia; además, deberá considerarse el tránsito inducido por la apertura de un camino o el mejoramiento de las condiciones geométricas de un camino en particular.

1.12.6.3. Capacidad para Condiciones de Circulación Continua.

Los volúmenes máximos observados, junto con los resultados del análisis de las características del tránsito, han servido de guía para establecer valores numéricos de la capacidad para diferentes tipos de caminos bajo condiciones ideales. La capacidad de un camino variará en la medida en que sus características geométricas y de operación difieran de las condiciones ideales. Se entenderán como condiciones ideales las siguientes²²: Circulación Continua, esto implica que el camino estará libre de interferencias sean estas vehículos o peatones; únicamente vehículos ligeros en la corriente de tránsito, es decir que dentro del flujo de tránsito no circularán vehículos comerciales; Carriles de 3.65 m de ancho, con acotamientos adecuados y sin obstáculos laterales de 1.80 m a partir de la orilla de la calzada; para caminos rurales,

²² Secretaría de Obras Públicas, Manual de Diseño Geométrico, México. Pág. 156.

alineamiento horizontal y vertical adecuado para velocidades de proyecto de 110 km/h o mayores y sin restricciones en la distancia de visibilidad de rebase, en caminos de dos carriles. Es importante aclarar, que las condiciones ideales no implican por si mismas, una buena operación; aunque, produzcan mayores volúmenes de tránsito, la operación puede no ser satisfactoria.

1.12.6.3.1. Capacidad bajo condiciones ideales en carreteras de dos carriles con dos sentidos.

Los conductores de estos caminos realizan los rebases invadiendo el carril contrario, los vehículos que se mueven lentamente, origina espacios libres que pueden ser cubiertos por los vehículos que rebasan; si los espacios libres son de suficiente longitud, permiten además que los vehículos que circulan en sentido opuesto efectúen maniobras de rebase. La operación durante condiciones de altos volúmenes fluctúa, entre una circulación en que los vehículos forman hileras con espacios libres entre ellos y una circulación en que algunos vehículos efectúan maniobras de rebase cubriendo parcialmente los espacios libres. La capacidad de una carretera de dos carriles y dos sentidos de circulación bajo condiciones ideales es de 2,000 vehículos ligeros por hora en ambos sentidos, sin importar la distribución del tránsito²³.

1.12.7. Nivel de Servicio.

El nivel de servicio describe las condiciones de operación que un conductor experimentará durante su viaje por un calle, un camino o una carretera, cuando

²³ Secretaría de Obras Públicas, Manual de Diseño Geométrico, México. Pág 158.

los volúmenes de tránsito son menores a la capacidad de un camino determinado. Ya que las condiciones físicas del camino se mantienen invariables, el nivel de servicio de cualquier vía de transporte varía principalmente por los cambios que se experimentan en los volúmenes de tránsito en estas vías.

Cuando el volumen de tránsito iguala la capacidad de una vía, las condiciones de operación de esta son deficientes aun cuando se tengan condiciones de operación ideales, ya que las velocidades son bajas, con frecuentes paros y demoras. Para que una vía suministre un buen nivel de servicio, el volumen de servicio debe ser menor que la capacidad de la vía. El volumen máximo admisible para cualquier nivel de servicio seleccionado, es llamado volumen de servicio para ese nivel. Así, en la evaluación del nivel de servicio se incluyen los siguientes parámetros:

- A. Velocidad y tiempo durante el recorrido. La velocidad de operación y el tiempo que se emplea en el recorrido de un tramo de una vía en particular.
- B. Interrupciones de tránsito o restricciones. Se refiere al número de paradas por kilómetro, las demoras que estas implican, la magnitud y la frecuencia de los cambios de velocidad necesarios para mantener la corriente de tránsito.
- C. Libertad para maniobrar. Se considera el grado de libertad para conducir manteniendo la velocidad de operación deseada por el usuario.
- D. Seguridad. Hace referencia a evitar accidentes y riesgos potenciales en el camino o en un tramo de este.

E. Comodidad en el manejo. Hace referencia a los efectos de las condiciones del camino y del tránsito, así como el grado en que el servicio proporcionado por el camino satisface las necesidades normales del conductor.

F. Economía. Considera el costo de operación del vehículo en el camino.

Teóricamente, todos estos factores deberían ser incorporados en la evaluación del nivel de servicio. Pero esto no es así, ya que hasta el momento no existen suficientes datos para determinar el valor relativo de algunos de los seis elementos descritos. Según la SOP²⁴ los factores principales para evaluar el nivel de servicio es en primer lugar la velocidad durante el recorrido, y como segundo lugar más relevante la relación volumen de demanda a capacidad; o bien, la relación volumen de servicio a capacidad. En la práctica este factor se refiere a la relación volumen capacidad (v/c).

La velocidad durante el recorrido, usada como medida del nivel de servicio, dependerá del tipo de camino, para el caso de este estudio, según la SOP y la AASHO²⁵, recomiendan que para caminos en zonas rurales que tienen generalmente circulación continua, se utilice las velocidades de operación de los distintos caminos, si estos están situados en planicie, lomerío o en zonas montañosas, mientras que para arterias urbanas y calles dentro de la ciudad, en las cuales existe circulación discontinua, recomiendan la velocidad global.

²⁴ SOP: Secretaría de Obras Públicas de México.

²⁵ AASHO: American Association of State Highway and Transportation Official.



Cada nivel de servicio debe ser considerado como un grupo de condiciones de operaciones, limitado por los valores de velocidad durante el recorrido y por las relaciones volumen-capacidad. A pesar que los valores de velocidad y de volúmenes de servicio tienen por objeto determinar los límites de un nivel de servicio, se considera que estos representan la velocidad más baja admisible y el volumen más alto del rango de ese nivel de servicio. A medida que la densidad de tránsito se incrementa, la capacidad del camino para prestar un buen servicio baja; en raras ocasiones se alcanza el límite inferior del rango de la velocidad de operación y el límite superior del rango de volúmenes de servicio en forma simultánea, más bien, lo que sucede es que una de estas condiciones se impone sobre la otra. Una vez se rebasa uno de los límites de los rangos de velocidades y volúmenes, el servicio que presta el camino caerá al nivel inferior.

A continuación se presenta el criterio utilizado para determinar las relaciones de capacidad y nivel de servicio en base a lo expuesto.

1. El volumen y la capacidad se expresan en números de vehículos ligeros por hora, para los tramos o subtramos a lo largo de un camino. El volumen de demanda y la capacidad pueden variar considerablemente a lo largo de un tramo de camino y por lo regular el valor promedio para un tramo de camino suele no representar las condiciones reales en todos los puntos del tramo, ya que para un tramo en particular con una longitud definida, se tendrán distintas

demandas de capacidad y volúmenes, dada la configuración geométrica del camino, los accesos o salidas que se pueden tener a lo largo del camino.

2. El nivel de servicio estrictamente definido es aplicable a un tramo de camino de gran longitud. Este tramo puede acusar variaciones en las condiciones de operación en diferentes puntos o subtramos de su longitud, debido a cambios en el volumen de demanda o capacidad. Tales variaciones se dan principalmente, por los cambios en las condiciones geométricas a lo largo del camino, tales como cambio de pendientes, cambios en el ancho, enlaces, zonas de entrecruzamientos, restricciones en la distancia a obstáculos laterales e intersecciones. De igual forma las variaciones en el volumen de demanda se deben por las variaciones de volúmenes de tránsito que entran y salen en puntos irregulares espaciados en el camino. En tanto, para el establecimiento del nivel de servicio de un tramo deberá tomarse en cuenta el efecto de estos puntos y las limitaciones que los subtramos tienen sobre el tramo de estudio.

3. El análisis del volumen y de la velocidad de operación o velocidad global, según sea el caso, se hace para cada punto o subtramo del camino, específicamente en aquellos tramos que tengan condiciones críticas como, curvas, pendientes ascendentes. Esto se hace con el fin de identificar el nivel de servicio correspondiente.

4. Para el establecimiento de la capacidad se utiliza: el tipo de camino, las características geométricas, la velocidad del proyecto, la composición del tránsito y las variaciones en el volumen. Para el nivel de servicio, se utilizan

elementos adicionales tales como, la velocidad y las relaciones volumen – capacidad.

5. El criterio elegido para evaluar el nivel de servicio en los diferentes tipos de caminos es el siguiente: ver tabla N° I.12 .

Tabla N° I.12.

Criterios básicos para la evaluación de los Niveles de Servicio.

ELEMENTO	AUTOPISTA	CARRETERAS DE CARRILES MULTIPLES	CARRETERAS DE DOS Y TRES CARRILES	ARTERIAS URBANAS	CALLES DEL CENTRO DE LA CIUDAD
ELEMENTOS BÁSICOS:					
Velocidad de operación para el tramo.	X	X	X		
Velocidad Global.				X	X
Relación Volumen-Capacidad:					
a) Punto más crítico.	X	X	X	X	
b) Cada subtramo.	X	X	X	X	
c) Tramo completo.	X	X	X	X	
ELEMENTOS ASOCIADOS:					
a) Velocidad de Proyecto ponderada.	X	X	X		
b) Número de carriles.	X	X	X		
c) Distancia de visibilidad. ...	X	X			

X . Indica evaluación de los elementos mencionados en la tabla N° I-12 .

1.12.7.1. Tipos de Niveles de servicio.

Los niveles de servicio, para la identificación de las condiciones existentes de tránsito al variar la velocidad y los volúmenes de tránsito en una carretera son de seis tipos designados de la letra A a la F, del mejor al peor, comprende la

Tabla N° I.12. Secretaría de Obras Públicas, Manual de Diseño Geométrico, México. Pág. 161.

clasificación total de las operaciones de tránsito que pueden ocurrir. Se define como sigue:

Nivel de servicio **A**, corresponde a una condición de flujo libre, con volúmenes de tránsito bajos y velocidades altas. La densidad es baja, y la velocidad depende del deseo de los conductores dentro de los límites impuestos y bajo las condiciones físicas del camino. No hay restricciones en las maniobras ocasionadas por la presencia de otros vehículos; los conductores pueden mantener las velocidades deseadas con escasa o ninguna demora.

Nivel de servicio **B**, corresponde a la zona de flujo estable, con velocidades de operación que comienzan a restringirse por las condiciones del tránsito. Los conductores tienen una libertad razonable para elegir sus velocidades y el carril de operación. Las reducciones de velocidad son razonables, con una escasa probabilidad de que el flujo del tránsito se reduzca.

Nivel de servicio **C**, se encuentra en la zona de flujo estable, pero las velocidades y posibilidades de maniobrar están más estrechamente controladas por los altos volúmenes de tránsito. La mayoría de los conductores perciben la restricción de su libertad para elegir su propia velocidad, cambiar de carriles o rebasar, en el caso de este estudio: se obtiene una velocidad de operación satisfactoria.

Nivel de servicio **D**, se aproxima al flujo inestable con velocidades de operación satisfactorias, pero afectadas significativamente por los cambios en las condiciones de operación. Las variaciones en el volumen de tránsito y las

restricciones momentáneas del flujo, pueden causar un descenso importante en las velocidades de operación. Los conductores tienen poca libertad de maniobra con la consecuente pérdida de comodidad.

Nivel de servicio E, no puede describirse solamente por la velocidad, pero representa la operación a velocidades aún más bajas que el nivel D, con volúmenes de tránsito correspondientes a la capacidad. El flujo es inestable y pueden ocurrir paradas de corta duración.

Nivel de servicio F, corresponde a la condición de circulación forzada, las velocidades son bajas y los volúmenes inferiores a la capacidad. En estas condiciones generalmente se producen colas de vehículos a partir del lugar en que se produzca la restricción. Las velocidades se reducen y pueden producirse paradas debidas al congestionamiento. En los casos extremos, tanto la velocidad como el volumen, puede descender a cero.

En la tabla N° 1.13, se indica la escala de características de operación, establecida para los diferentes niveles de servicio en caminos de dos carriles.

Tabla N° I.13.

Niveles de servicio y volúmenes de servicio máximos para caminos de dos carriles bajo condiciones de flujo continuo.

NIVEL DE SERVICIO	CONDICIONES DEL FLUJO DE TRANSITO		DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REBASE > 500mts (%)	VOLUMEN DE SERVICIO - CAPACIDAD					VOLUMEN DE SERVICIO MAXIMO BAJO CONDICIONES IDEALES. INCLUYENDO VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 110km/h (Total de Vehículos ligeros por dirección)	
	DESCRIPCION	VELOCIDAD DE OPERACION (Km/h)		VALOR LIMITE PARA VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 110 km/h	VALOR PARA UNA VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE:					
					95 Km/h	80 Km/h	70 Km/h	65 Km/h		55 Km/h
A	FLUJO LIBRE	VI 95	∞	∞	∞	∞	∞	∞	400	
			100	0.20	—	—	—	—		—
			80	0.18	—	—	—	—		—
			60	0.15	—	—	—	—		—
			40	0.12	—	—	—	—		—
			20	0.08	—	—	—	—		—
B	FLUJO ESTABLE (Velocidad superior del rango)	VI 80	∞	∞	∞	∞	∞	∞	900	
			100	0.45	0.40	—	—	—		—
			80	0.42	0.35	—	—	—		—
			60	0.38	0.30	—	—	—		—
			40	0.34	0.24	—	—	—		—
			20	0.30	0.18	—	—	—		—
C	FLUJO ESTABLE	VI 65	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1400	
			100	0.70	0.66	0.56	0.51	—		—
			80	0.68	0.61	0.53	0.46	—		—
			60	0.65	0.56	0.47	0.41	—		—
			40	0.62	0.51	0.38	0.32	—		—
			20	0.59	0.45	0.28	0.22	—		—
D	FLUJO PROXIMO A L INESTABLE	VI 55	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1700	
			100	0.85	0.83	0.75	0.67	0.58		—
			80	0.84	0.81	0.72	0.62	0.55		—
			60	0.83	0.79	0.69	0.57	0.51		—
			40	0.82	0.76	0.66	0.52	0.45		—
			20	0.81	0.71	0.61	0.44	0.35		—
E ^c	FLUJO INESTABLE	50 ^d	NO ES APLICABLE ^e	≤ 1.00					2000	
F	FLUJO FORZADO	< 50 ^d	NO ES APLICABLE ^e	NO SIGNIFICATIVO ^f					MUY VARIABLE (Desde cero hasta la capacidad)	

G.- La velocidad de operación y la relación v/c son medidas independientes del nivel de servicio; ambos límites deben satisfacerse en cualquier determinación del nivel.

D.- Cuando el espacio esté en blanco, la velocidad de operación requerida para este nivel es inalcanzable aún a volúmenes bajos.

C.- Capacidad.

d.- Aproximadamente

e.- No hay rebasa

f.- La relación volumen de demanda-capacidad puede exceder el valor de 1.00 indicando que hay sobrecarga.

El concepto general de los niveles de servicio mencionados se muestran gráficamente en la figura N°1.7. y se ilustra con las fotografías de la figura N° 1.8.

En la gráfica de la figura N° 1.7. se muestra de forma esquemática como se representan los niveles de servicio por medio de zonas; a medida la relación volumen capacidad aumenta, puede observarse que la velocidad de operación disminuye, disminuyendo por consiguiente el nivel de servicio representado como se indicó anteriormente por zonas dentro del gráfico.

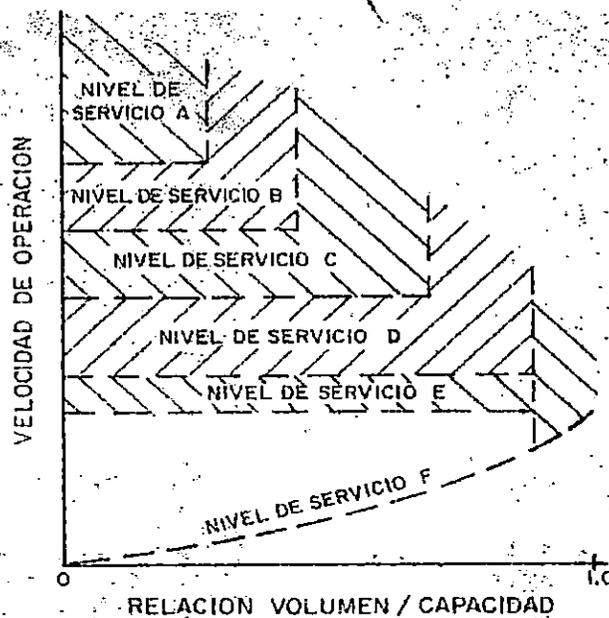
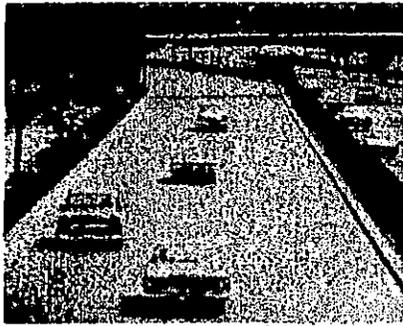
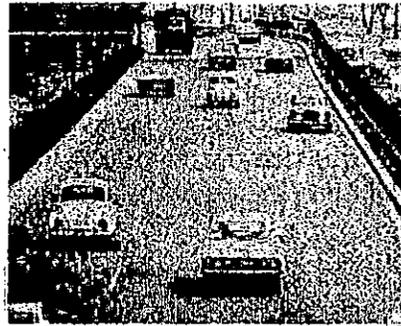


Figura N° 1.7. Concepto general de los niveles de servicio.

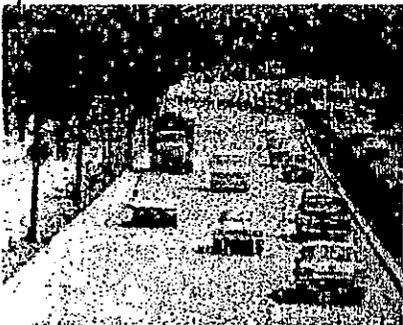
Mientras que en la fotografía de la figura N° 1.8 se muestra la ilustración de cómo se observa en la realidad los cambios esquematizados en la figura anterior.



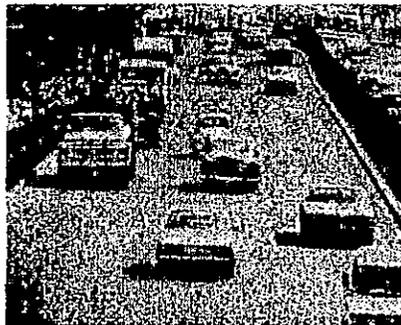
Nivel de Servicio A



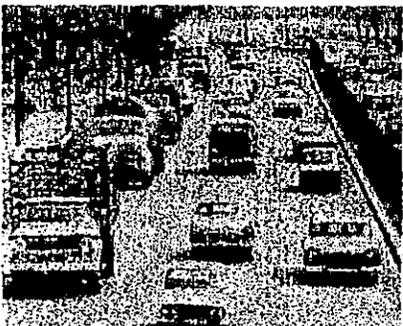
Nivel de Servicio B



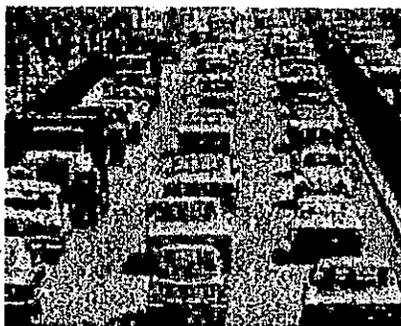
Nivel de Servicio C



Nivel de Servicio D



Nivel de Servicio E



Nivel de Servicio F

Figura N° 1.8. Ilustración de los diferentes niveles de servicio.

CAPÍTULO II

**DIAGNÓSTICO SOBRE LOS PRINCIPIOS
BÁSICOS PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO
DE CAMINOS RURALES SOSTENIBLES**

2.1. INTRODUCCIÓN

El proyecto geométrico de un camino es el dimensionamiento y localización de sus elementos físicos, como alineamiento horizontal, alineamiento vertical y sección transversal, cada uno de estos queda definido o limitado por un conjunto de especificaciones cuyo establecimiento para los caminos rurales sostenibles se hará considerando dos factores: el primero es la adaptación del camino al medio económico para cumplir con ciertos objetivos inmediatos que a largo plazo conduzcan al desarrollo integral del país, el segundo (el más importante) considera los factores del diseño como son la adaptación técnica del camino a las características de la zona, configuración topográfica, condiciones geológicas y climáticas, características del tránsito, etc. De ahí que se evalúen todos los elementos físicos que definen el proyecto geométrico de los caminos rurales sostenibles utilizando parámetros topográficos, geológicos, climáticos, características del tránsito, etc., propios de los caminos rurales sostenibles. Los resultados permitirán proponer especificaciones para los caminos rurales sostenibles adaptándose a las categorías contenidas en la ley de carreteras y caminos de El Salvador.

2.2. ELEMENTOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO.

2.2.1. Clasificación del tipo de terreno.

Un mismo camino puede atravesar diferentes tipos de configuración en su relieve, desde plano hasta montañoso, por eso, este no puede proyectarse con el mismo criterio en toda su longitud, anchura y estructura por motivos

financieros y condicionantes físicas. Los usuarios del camino, en terrenos difíciles, fácilmente se adaptan a reducciones en la velocidad de proyecto, pero esto no lo aceptan cuando a criterio de ellos las velocidades de proyecto les son reducidas en su trayecto sin ver el motivo para ello; a continuación se hace una clasificación del terreno en cuanto a su configuración en tres tipos:

a) Terreno plano. Tiene un perfil con pendientes longitudinales uniformes y de pequeña magnitud, con pendiente transversal escasa o nula, donde los alineamientos horizontal y vertical permiten a los vehículos pesados mantener una velocidad semejante a la de los vehículos ligeros.

b) Terreno ondulado. En su perfil longitudinal presenta en sucesión cimas y depresiones de cierto empinamiento, con pendiente no mayor de 45% (24°), en los cuales se obliga a los vehículos pesados a reducir su velocidad debajo de los vehículos ligeros, en algunos tramos del camino.

c) Terreno montañoso. Tiene pendientes transversales mayores de 45% (24°), caracterizado por accidentes topográficos fuertes y donde el perfil obliga a grandes movimientos de tierra, y la combinación de los alineamientos horizontal y vertical obliga a los vehículos pesados a operar con velocidades bajas en distancias largas y en intervalos frecuentes.

2.2.2. Vehículo de proyecto.

Las dimensiones del vehículo influyen en el diseño geométrico de los caminos, su ancho va determinando la sección transversal de la vía, la longitud repercute en la capacidad del camino, la altura da el claro de paso libre a través de la vía

respecto a las estructuras elevadas como puentes, pasos a desnivel, pasarelas etc., y con el peso se determina el diseño de la estructura de la superficie del pavimento de rodadura de los vehículos. En la tabla II-1 se presenta el T.P.D.A. y la composición del tránsito para caminos que se han convertido o se están construyendo como caminos rurales sostenibles, estos datos corresponden a las condiciones de los caminos antes de ser mejorados (1999). En la gráfica II-1 se observa que el porcentaje de vehículos livianos de carga (pick-ups) en la composición del tránsito es de 60.24%, aunque es el mayor entre los diferentes tipos de vehículos, no será considerado como vehículo de proyecto para los caminos rurales sostenibles, debido a que hay porcentajes representativos de camiones de dos ejes (C2) con 17.05% y Autobuses 11.29% a lo que se debe agregar el tránsito futuro. Por lo tanto, al observar los bajos porcentajes de vehículos con más de dos ejes, y especiales, se elegirá el vehículo de proyecto para los caminos rurales sostenibles de acuerdo a las condiciones más desfavorables que representen un porcentaje significativo del tránsito. De la tabla I-4 se puede introducir el vehículo de proyecto DE-450 para representar a los camiones de dos ejes y al tipo de autobuses que transitan en estos caminos, el cual tiene las dimensiones que se presentan en la tabla II-2

Tabla II-1. Tránsito promedio diario anual (Año 1999)

No	VIALIDAD	DEPTO	T.P.D.A.	% de v. livianos		% vehículos pesados								
				% de v. pasaj	% de v. carga	% de v. De	% de vehículos de carga					Esp.	Total	
							C2	C3	T2-S1	T2-S2	T3-S2			
1	Sensuntepeque -Rojas-Villa Victoria	Cabañas	185	6	55	14	97	3						25
2	Carretera a Iobasco -Rosario	Cuzcatlán	244	8	64	4	100							24
3	Ramal (Ateos-Jayaque)- Los Alpes Tepecoyo	La Libertad	372	13	69	7	100							11
4	Santa Tecla-Comasagua: 1-Sta Tecla D.V Comasagua 2-D.V. Comasagua -Comasagua	La Libertad	336	12	53	17	97					3		18
	158		8	49	18	100							25	
5	Sn Pedro Masahuat-Sn Ant. Masahuat-Sn Miguel Tepezontes: 1-Sn Pedro Masah.-Sn Ant. Masahuat 2- Sn Ant Masah.-Sn Miguel Tepezontes	La Paz	204	25	39	11	89	11						25
	72		7	56	5	100							32	
6	Ramal (SS-Comalapa)-Km 40 coop. Astorias -El Achiotal-Las Hojas	La Paz	73	6	61		100							33
7	CA:2 Km 57.5-El Nilo-Zacatecoluca	La Paz	132	8	80		97					3		12
8	Santa Isabel ishuatan-San Julián	Sonsonate	203	8	74	1	96				4			17
9	CA:2-Guaymango -Jujutla-CA:8 : 1- CA:2-El Zunza Guaymango 2 -Guaymango-Jujutla-CA:8	Sonsonate	295	10	56	5	96				4			29
		Ahuachapán	177	17	51	5	98					2		27
10	CA:1, San José Guayabal: 1-CA:1-D.V. Tonacatepeque 2-D.V. Tonacat.-L.D. S.Salvador 3-L.D. S. SalvadorSn José Guayabal	San Salvador	758	16	51	17	96	3			1			16
		San Salvador	357	13	37	11	98	2						39
		Cuzcatlán	264	7	62	20	94					6		11
11	Santiago Texacuangos-Sn Miguel Tepezontes-Sn Ramón-(Cojutepeque): 1-Sant. Texacuan. L.D. La Paz 2- L.D. La Paz- S. M. Tepez.-L.D. Cuzc. 3-L.D. Cuzccalán-Sn Ramón 4-Sn Ramón Cojutepeque	San Salvador	351	13	54	25	100							8
		La Paz	131	11	56	20	100							13
		Cuzcatlán	209	9	61	15	100							15
		Cuzcatlán	680	8	62	10	100							20
12	CA:2-Playa El Espino	Usulután	371	7	50	14	83	1			16		29	

Fuente: Departamento de estudios de tránsito, Ministerio de Obras Públicas

Tabla II-1. Tránsito promedio diario anual (Año 1999)

No	VIALIDAD	DEPTO	T.P.D.A.	% de v. livianos		% vehículos pesados							
				% de v. pasaj	% de v. carga	% de v. De	% de vehículos de carga					Total	
							C2	C3	T2-S1	T2-S2	T3-S2		Esp.
13	CA:2-San José La montaña:												
	1-Tramo San Vicente	San Vicente	224	6	75	1	95				3	2	18
	2-Tramo La Paz	La Paz	250	6	75	2	95				3	2	17
14	CA:2-Tierra Blanca-Cuche de Monte-Salinas Del Potrero	Usulután	452	17	56	2	99	1					25
15	CA:2-Usulután -Puerto Parada	Usulután	685	9	57	8	99				1		26
16	CA:2-Usulután -Sn Dionisio-Puerto Grande	Usulután	202	13	53	23	75				25		11

Fuente: Departamento de estudios de tránsito, Ministerio de Obras Públicas

Gráfico II-1 .Composición del tránsito en los Caminos Rurales Sostenibles
(Año 1999)

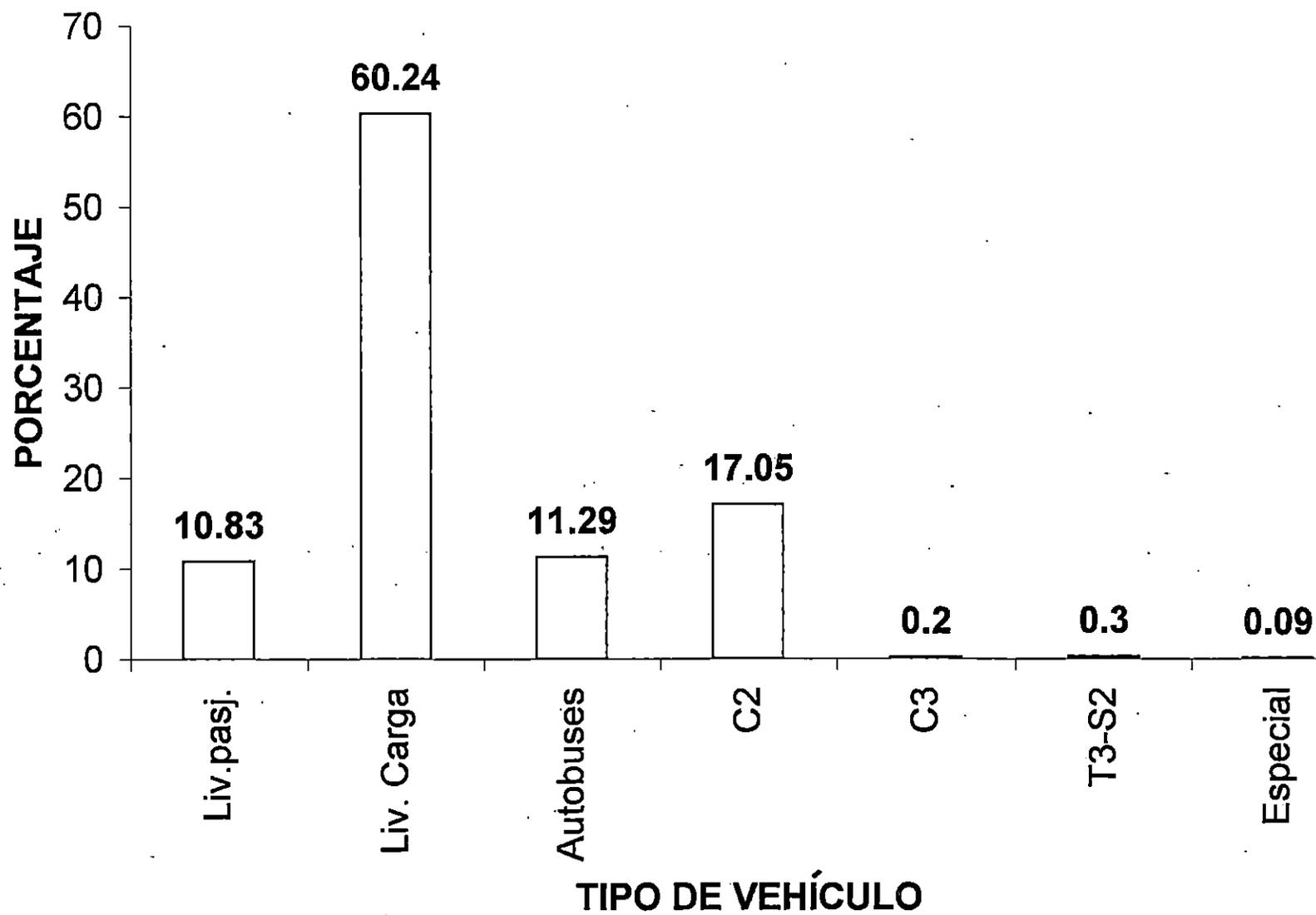


Tabla II-2. Datos dimensionales y parámetros de un vehículo tipo, de diseño que puede funcionar en los Caminos Rurales Sostenibles.

Longitud total del vehículo (L)	7.30m
Distancia entre ejes extremos del vehículo (DE)	4.50m
Vuelo delantero (Vd)	1.00m
Vuelo trasero (Vt)	1.80m
Ancho total del vehículo (A)	2.44m
Entrevía del vehículo (Ev)	2.44m ²⁶
Altura total del vehículo (Ht)	2.14-4.12m
Altura de los ojos del conductor (Hc)	1.14m
Altura de los faros delanteros (Hf)	0.61m
Altura de los faros traseros (Hl)	0.61m
Angulo de desviación del haz de luz de los faros (α)	1°
Radio de giro mínimo (RG)	10.40m
Peso de vehículo vacío (Wv)	4000kg
Peso del vehículo cargado (Wc)	10000kg
Relación peso/potencia (Wc/P)	90kg/HP

²⁶ Para este vehículo tipo se considera la entrevía (Ev) igual al ancho total del vehículo (A) debido a que sus diferencias no son notables.

El 100% de los vehículos livianos Ac, Ap y pick-ups tienen dimensiones menores que este vehículo hipotético, el 90% de camiones de dos ejes (C2) y el 75% de camiones de tres ejes (C3) tienen distancia entre ejes extremos (DE) menor que este vehículo de proyecto.

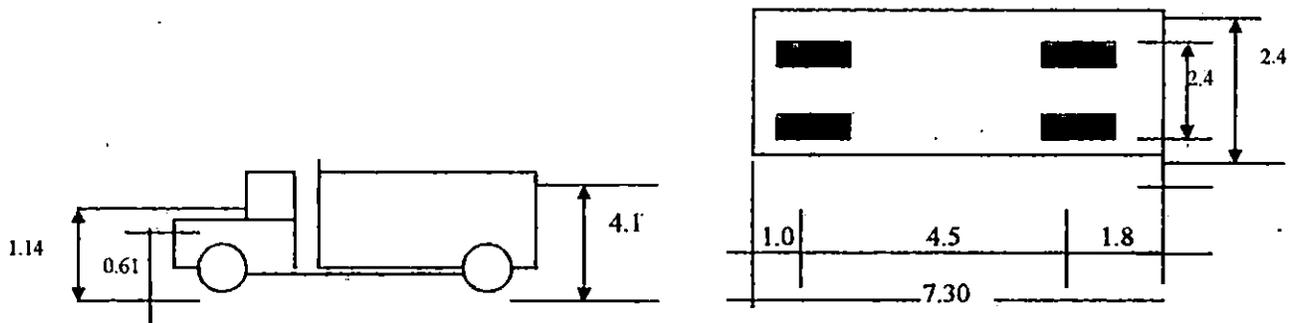


Figura II-1 dimensiones del vehículo de proyecto en metros

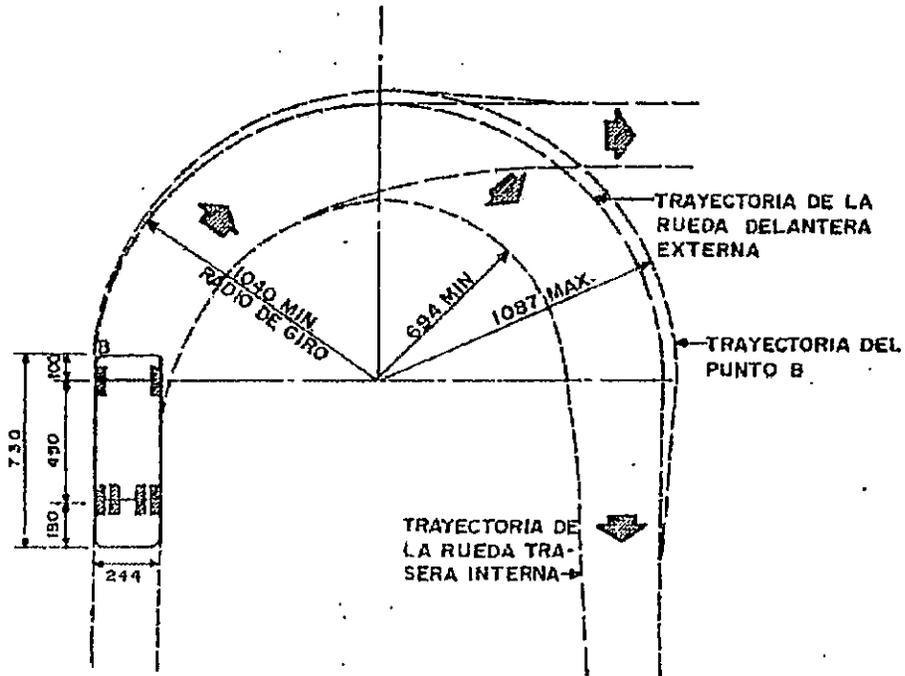


Figura II-2. Características del vehículo de proyecto (dimensiones en cm.)

2.2.3. Velocidad del proyecto.

La velocidad es la respuesta al deseo del ser humano de comunicarse de manera más rápida y eficiente, siendo esta uno de los principales indicadores para medir la calidad para la operación en el sistema de transporte en los Caminos Rurales Sostenibles. Se ha determinado que el factor más simple a considerar en la selección de una ruta para ir de un origen hacia un destino, es la minimización de las demoras, lo cual sólo puede lograrse con una velocidad adecuada para el conductor y que ofrezca, ante todo, un buen grado de seguridad.²⁷

2.2.3.1. Definición

Cuellar, E. (1960)²⁸, establece que la velocidad de Proyecto puede considerarse como " la velocidad máxima uniforme aproximada que deberá ser adoptada por el grupo de motoristas más rápido, pero no necesariamente por el porcentaje menor de temerarios."

Carciente, J. (1965)²⁹, define la velocidad de proyecto como: " la velocidad escogida para proyectar y relacionar las características físicas de la carretera, tales como radios de curvatura, el peralte, la visibilidad, la pendiente del camino, etc, de las cuales depende la operación segura de los vehículos, en

²⁷ Cuellar, Enrique. 1960. Ingeniería de Carreteras. 1° Edición, Editorial Universitaria, San Salvador, pág 58.

²⁸ Idem.

²⁹ Carciente, Jacob. 1965. Estudio y Proyecto de Carreteras, 1° Edición, Editorial Vega, Caracas, Venezuela, pág 105.

tanto es un módulo, una escala de referencia a través de la cual pueden estudiarse muchos aspectos del movimiento de vehículos.”

La Secretaría de Obras Públicas (1971) de México³⁰ establece que la velocidad de proyecto es “ la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con seguridad sobre un camino, cuando las condiciones de atmosféricas y de tránsito son favorables.”

En tanto la velocidad de proyecto para los Caminos Rurales Sotenibles es aquella que permite controlar la velocidad a la que operaran los usuarios del camino, por medio de las características geométricas impuestas al camino, a partir de la velocidad de proyecto, con el fin de que el camino ofrezca la mayor seguridad posible a los conductores.

2.2.3.2. Establecimiento de la velocidad de proyecto.

Los notables avances en la ingeniería automotriz, la expansión de la red de caminos y su mejoramiento a través de tecnologías, así como de funcionamiento, se ha observado un aumento gradual de en las velocidades a las que los conductores operan; por eso, la velocidad se debe controlar y regular basados en la configuración de las características geométricas del camino y al mismo tiempo en la seguridad que este deberá garantizar a los usuarios.

³⁰ Secretaria de Obras Públicas. 1971. Manual de Diseño Geométrico, 3° Edición, Talleres Gráficos de la Nación, México D.F., México, pág.106.

Al proyectar un Camino Rural Sostenible no es recomendable suponer un valor de velocidad constante en todos los tramos que conformen el camino, por lo que este deberá cambiar al cambiar las condiciones fisiográficas del terreno sobre el que se desarrolle el camino. Tomando en cuenta que la configuración del terreno variará de tramo en tramo del camino, implica que habrá cambios en la velocidad de diseño por tramos de caminos o subtramos del mismo, por lo tanto, los cambios de la velocidad de diseño deberán hacerse de forma gradual a medida se pasa de un tramo con una velocidad de diseño V_1 hacia otro tramo con una velocidad de diseño V_2 , para que de esta forma se controlen los efectos nocivos del camino para la seguridad del vehículo y conductor debido a los cambios intencionados de aumento en la velocidad operación.

El establecimiento de la velocidad de diseño se verá influenciado por los siguientes factores: la configuración del terreno, como principal factor, el tipo de camino, los volúmenes de tránsito que circularan por el camino, el uso de la tierra y el tipo de vehículo de proyecto. En base a estos factores y tomando en cuenta las condiciones imperantes del país, tales como, el tipo de fisiografía, las condiciones económicas actuales y las respectivas proyecciones en este aspecto, la conducta de los usuarios para utilizar los caminos, las limitaciones de terreno del país, la velocidad de proyecto adoptada para los Caminos Rurales Sostenibles, pueden ser las siguientes velocidades.

Tabla N° II - 3.

Velocidades de Proyecto en base al tipo de terreno.

VELOCIDAD ³¹	TERRENO
40 Km/h	Montañoso
50 Km/h	Ondulado
60 Km/h	Plano

A medida el terreno se vuelve más abrupto, las velocidades de proyecto deberán disminuirse con el fin de permitir el tránsito fluido de vehículos, manteniendo una velocidad que garantice la seguridad al usuario. En relación a los cambios de velocidades de proyecto en base al tipo de terreno, se optó que estos se fueran haciendo de 10 Km/h de velocidad según el tipo de terreno, tabla N°2, debido a que hay cambios de velocidades menores a los ahí establecidos, sin que se observen cambios apreciables en la geometría del camino; mientras que con cambios de velocidad mayores a los establecidos, los cambios en las características geométricas del camino son excesivos, sin que esto se traduzca en un beneficio adicional que genere mejores condiciones de tránsito para los usuarios.

2.2.4. Pendientes máximas.

Uno de los factores determinantes que influyen en el diseño de los caminos es la pendiente, siendo el efecto de esta muy importante en la operación de los vehículos, especialmente de los camiones; recíprocamente, las pendientes deben estar adaptadas de modo que permitan la óptima operación del vehículo con seguridad, así como lograr los menores costos de operación. La máxima

³¹ Ajustado a los criterios de la AASHO, SOP, MOP.

pendiente que se permitié en el proyecto es la que un vehículo puede ascender, dependiendo de factores tales como: Relación peso potencia, resistencia al rodamiento, resistencia por fricción, resistencia por pendiente y fricciones internas (que son las pérdidas por fricción que se dan el motor, en general varían entre el 9% y el 15% adoptando un valor promedio de 12% equivalente a una eficiencia de 88%, $e: 0.88$). Se puede calcular la máxima pendiente (P) considerando la fuerza total (F) que se opone al movimiento y la potencia ($Pot.$) disponible del vehículo, mediante la siguiente ecuación:

$$Pot = \frac{T}{te} \quad \text{Ec. (II - 1)}$$

Si sabemos que el trabajo (T) es igual a fuerza (F) por desplazamiento (d), resulta la siguiente ecuación:

$$Pot = \frac{T}{te} = \frac{Fd}{te} \quad \text{Ec.(II - 2)}$$

Donde la relación entre el desplazamiento (d) y el tiempo (t) es igual a velocidad (V), por lo que la ecuación Ec. (II-2) se reduce a la siguiente ecuación:

$$Pot = \frac{FV}{e} \quad \text{Ec.(II - 3)}$$

Donde:

Pot: Potencia disponible del vehículo

F: Fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo

V: Velocidad del vehículo

e: Eficiencia del vehículo

$$F = F_R + F_A + F_P \quad \text{Ec. (II - 4)}$$

Donde:

F_R : Resistencia por rodamiento ($K_R W$)

F_A : Resistencia al aire ($K_A A_V V^2$)

F_P : Resistencia por pendiente.

La resistencia por pendiente (F_P) es la fuerza que se opone debido al peso propio (W) del vehículo cuando asciende por una pendiente de ángulo α descomponiéndose en dos fuerzas una paralela a la superficie de rodadura (W_p) y una perpendicular a la superficie (W_n) representadas en la figura No. II - 3

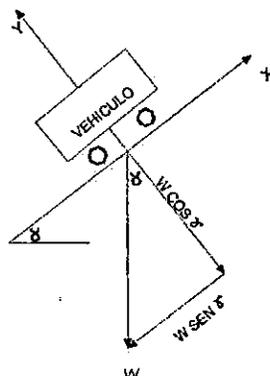


FIG No II - 3
RESISTENCIA POR PENDIENTE

Haciendo equilibrio en el diagrama de cuerpo libre (Fig. N° II-3) se obtiene la siguiente ecuación:

$$F_p = W \operatorname{sen} \gamma \quad \text{Ec. (II - 5)}$$

Sustituyendo en la ecuación II - 3 el efecto de todas las fuerzas que se oponen al desplazamiento se tiene la siguiente relación:

$$\text{Pot} = (K_R W + K_A A_V V^2 + F_p) V / e$$

$$F_p = \frac{\text{Pot} * e}{V} - K_R W - K_A A_V V^2$$

Donde.

F_p : Resistencia por pendiente

Pot: Potencia del vehículo

e: eficiencia del motor

K_R : Coeficiente de resistencia al movimiento definido en la sección

1.12.2.2.4, pág. 38

W: Peso del vehículo

K_A : Coeficiente de resistencia del aire definido en la sección 1.12.2.2.4.

Pág. 38

A_V : Area definida por el 80% del área comprendida entre la entrevía y la altura del vehículo.

El vehículo tipo de proyecto establecido en 2.2.2., considera al DE – 450 con una relación peso potencia de 90 Kg. / HP y un peso de vehículo cargado de 10, 000 Kg. Con una potencia igual a 111 HP; evaluando para las distintas velocidades de proyecto 40, 50 y 60 Km. / h para terreno montañoso, ondulado y plano respectivamente, se tienen los siguientes resultados:

2.2.4.1. Terreno montañoso. (40 Km. / h)

$$F_P = \frac{\text{Pot} * e}{V} - K_R W - K_A A_V V^2$$

$$\frac{\text{Pot} * e}{V} = \frac{111\text{HP} * 0.88}{40\text{km/h}} \times \frac{75.81\text{kg/m/s}(1.0\text{km})(3600\text{s})}{1\text{HP}}$$

$$\frac{\text{Pot} * e}{V} = \frac{111\text{HP} * 0.88}{40\text{km/h}} \times 273$$

$$\frac{\text{Pot} * e}{V} = 666.67 \text{ kg.}$$

$$K_R W = 0.01 \times 10,000 \text{ kg.} = 100 \text{ kg.}$$

$$K_A A_V V^2 = 0.006 \times 0.8 \times 2.44 \text{ m} \times 4.12 \text{ m} \times (40 \text{ km / h})^2 = 77.20 \text{ kg.}$$

$$F_P = (666.67 - 100 - 77.20) \text{ kg.}$$

$$F_P = 489.47 \text{ kg.}$$

Sustituyendo este valor en la Ec, (II-5)

$$F_P = W \text{ sen } \gamma$$

$$\text{sen } \gamma = \frac{489.7\text{kg}}{10000\text{kg}} = 0.048947$$

$$\gamma = 2.80^\circ$$

$$\text{Pendiente} = \tan \gamma = 0.049 = 4.90 \%$$

Evaluando a una velocidad de 40 Km. / h para terreno montañoso, se obtiene que la máxima pendiente que puede ascender es de 4.90%; sin embargo, se admite hasta una reducción de 25 Km / h; hasta alcanzar una velocidad de régimen de 15 Km / h; teóricamente, esta velocidad se puede mantener durante un periodo hasta alcanzar la longitud crítica, que es la máxima longitud en tangente que el vehículo de proyecto puede ascender sin reducir la velocidad más allá de la de régimen. Evaluando para la velocidad de régimen 15 Km/h se obtiene el siguiente resultado:

$$F_P = \frac{\text{Pot} * e}{V} - K_R W - K_A A_V V^2$$

$$\frac{\text{Pot} * e}{V} = \frac{111\text{HP} * 0.88}{15\text{km/h}} \times \frac{75.81\text{kg/m/s}(1.0\text{km})(3600\text{s})}{1\text{HP}}$$

$$\frac{\text{Pot} * e}{V} = 1,777.78 \text{ kg.}$$

$$K_R W = 0.01 \times 10,000 \text{ kg.} = 100 \text{ kg.}$$

$$K_A A_V V^2 = 0.006 \times 0.8 \times 2.44 \text{ m} \times 4.12 \text{ m} \times (15 \text{ km / h})^2 = 10.857 \text{ kg.}$$

$$F_P = (1,777.78 - 100 - 10.857) \text{ kg.}$$

$$F_p = 1,666.952 \text{ kg.}$$

Sustituyendo este valor en la Ec, (II – 5)

$$F_p = W \text{ sen } \gamma$$

$$\text{sen } \gamma = \frac{1666.952 \text{ kg}}{10000 \text{ kg}} = 0.16669 = \frac{1,666.952 \text{ kg.}}{10000 \text{ kg}} = 0.16669$$

$$\gamma = 9.59^\circ$$

$$\text{Pendiente} = \tan \gamma = 0.16906 = 16.90 \%$$

Al calcular la máxima pendiente, que un vehículo puede ascender, no es recomendable hacerlo con la velocidad de régimen, por ser este un valor límite, ya que obliga al vehículo a emplear toda su potencia disponible provocando que la vía baje de nivel de servicio; prefiriendo entonces, adoptar una reducción de 15 Km / h en lugar de 25 Km / h en la velocidad de proyecto. Por tanto, la máxima pendiente admisible será aquella en la que el vehículo de proyecto reduzca su velocidad como máximo a 25 Km / h; evaluando, se obtiene el siguiente resultado:

$$F_p = \frac{\text{Pot} * e}{V} - K_R W - K_A A_V V^2$$

$$\frac{\text{Pot} * e}{V} = \frac{11 \text{ IHP} * 0.88}{25 \text{ km/h}} \times \frac{75.8 \text{ kg/m/s} (1.0 \text{ km}) (3600 \text{ s})}{\text{IHP}}$$

$$\frac{\text{Pot}^*e}{V} = 1,066.66 \text{ kg.}$$

$$K_R W = 0.01 \times 10,000 \text{ kg.} = 100 \text{ kg.}$$

$$K_A A_V V^2 = 0.006 \times 0.8 \times 2.44 \text{ m} \times 4.12 \text{ m} \times (25 \text{ km / h})^2 = 33.1742 \text{ kg.}$$

$$F_P = (1,066.66 - 100 - 33.1742) \text{ kg.}$$

$$F_P = 933.48 \text{ kg.}$$

Sustituyendo este valor en la Ec, (II - 5)

$$F_P = W \text{ sen } \gamma$$

$$\text{sen } \gamma = \frac{933.48 \text{ kg}}{10000 \text{ kg}} = 0.0933$$

$$\gamma = 5.3563^\circ$$

$$\text{Pendiente} = \tan \gamma = 0.09376 = 9.4 \%$$

Adoptando un valor práctico de **10.0 %**

2.2.4.2. Terreno ondulado (50 km / h)

Para la condición de terreno ondulado, se propone una velocidad de 50 km / h establecida en 2.2.3. la máxima pendiente para esta condición se obtiene de la siguiente manera:

$$F_p = \frac{\text{Pot} * e}{V} - K_R W - K_A A_V V^2$$

$$\frac{\text{Pot} * e}{V} = \frac{111 \text{HP} \times 0.88}{50 \text{km/h}} \times 273$$

$$\frac{\text{Pot} * e}{V} = 533.33 \text{ kg.}$$

$$K_R W = 0.01 \times 10,000 \text{ kg.} = 100 \text{ kg.}$$

$$K_A A_V V^2 = 0.006 \times 0.8 \times 2.44 \text{ m} \times 4.12 \text{ m} \times (50 \text{ km/h})^2 = 120.63 \text{ kg.}$$

$$F_p = (533.33 - 100 - 120.63) \text{ kg.}$$

$$F_p = 312.70 \text{ kg.}$$

Sustituyendo este valor en la Ec, (II -5)

$$F_p = W \text{ sen } \gamma$$

$$\text{sen } \gamma = \frac{312.7 \text{kg}}{10000 \text{kg}} = 0.0313$$

$$\gamma = 1.7919^\circ$$

$$\text{Pendiente} = \tan \gamma = 0.0313 = 3.13 \%$$

Considerando una reducción de 15 Km / h de la velocidad de proyecto, se establece una velocidad de régimen igual a 35 km / h, a esa velocidad le corresponde el siguiente valor de pendiente:

$$F_p = \frac{\text{Pot}^*e}{V} - K_R W - K_A A_V V^2$$

$$\frac{\text{Pot}^*e}{V} = \frac{111\text{HP} \times 0.88}{35\text{km/h}} \times 273$$

$$\frac{\text{Pot}^*e}{V} = 761.904 \text{ kg.}$$

$$K_R W = 0.01 \times 10,000 \text{ kg.} = 100 \text{ kg.}$$

$$K_A A_V V^2 = 0.006 \times 0.8 \times 2.44 \text{ m} \times 4.12 \text{ m} \times (35 \text{ km / h})^2 = 59.11 \text{ kg.}$$

$$F_p = (761.904 - 100 - 59.11) \text{ kg.}$$

$$F_p = 602.794 \text{ kg.}$$

Sustituyendo este valor en la Ec, (II - 5)

$$F_p = W \text{ sen } \gamma$$

$$\text{sen } \gamma = \frac{602.794\text{kg}}{10000\text{kg}} = 0.06028$$

$$\gamma = 3.45585^\circ$$

$$\text{Pendiente} = \tan \gamma = 0.06039 = \mathbf{6.04 \%}$$

2.2.4.3. Terreno plano (60 km / h)

Condición de terreno plano, se propone una velocidad de 60 km / h establecida en 2.2.3. evaluando se obtiene:

$$F_P = \frac{\text{Pot} * e}{V} - K_R W - K_A A_V V^2$$

$$\frac{\text{Pot} * e}{V} = \frac{111\text{HP} \times 0.88}{60\text{km/h}} \times 273$$

$$\frac{\text{Pot} * e}{V} = 444.444 \text{ kg.}$$

$$K_R W = 0.01 \times 10,000 \text{ kg.} = 100 \text{ kg.}$$

$$K_A A_V V^2 = 0.006 \times 0.8 \times 2.44 \text{ m} \times 4.12 \text{ m} \times (60 \text{ km / h})^2 = 173.71 \text{ kg.}$$

$$F_P = (444.444 - 100 - 173.71) \text{ kg.}$$

$$F_P = 170.734 \text{ kg.}$$

Sustituyendo este valor en la Ec, (II - 5)

$$F_P = W \text{ sen } \gamma$$

$$\text{sen } \gamma = \frac{170.734\text{kg}}{10000\text{kg}} = 0.01707$$

$$\gamma = 0.97828^\circ$$

$$\text{Pendiente} = \tan \gamma = 0.01707 = 1.71 \%$$

La mínima pendiente para la condición de terreno plano queda definida como aquella capaz de garantizar el correcto funcionamiento de los drenajes dando como mínimo un valor de 0.5 %.

La tabla II – 4 presenta el consolidado de resultados de la evaluación para cada condición de terreno.

TABLA No. II – 4

Relación entre pendientes y velocidad de proyecto.

TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD PROYECTO	PENDIENTE MÁXIMA	PENDIENTE MINIMA
MONTAÑOSO	40 km / h	10 %	----
ONDULADO	50 km / h	6.04 %	-----
PLANO	60 km / h	1.71 %	0.5 %

Aplicando la curva de la fig. No. 1 – 3^a, que es el efecto de la pendiente en los vehículos para una relación peso potencia de 90 kg / HP, se obtiene las longitudes de las tangentes críticas a partir de la pendiente y la velocidad de proyecto; así, entrando en el eje de las ordenadas con la velocidad de proyecto y trazando desde ahí una línea paralela al eje de las abcisas (longitudes críticas) hasta cortar la curva de pendiente que le corresponde a esa velocidad, uniendo ese punto con una línea perpendicular al eje de las abcisas, la distancia crítica quedará definida como la distancia entre este punto y el otro

donde alcanza la velocidad de régimen. Estos valores se resumen en la tabla II - 5

TABLA II - 5

Longitud crítica para distintas velocidades de proyecto y pendientes máximas

VELOCIDAD DE PROYECTO	PENDIENTE %	LONGITUD CRÍTICA (m)
40 Km / h	10	210
50 Km / h	6.58	800
60 Km / h	3.38	INDEFINIDA

2.2.5. Sección Transversal.

Según la Secretaría de Obras Públicas³² de México, la sección transversal de un camino "es un corte vertical normal al alineamiento horizontal en distintos puntos de un camino en particular", la función de la sección transversal es la de permitir definir la ubicación y dimensiones de los elementos que forman el camino en el punto correspondiente a cada sección y la relación que este guarda con el terreno natural.

Las características geométricas de la sección transversal estarán dominadas principalmente por la calidad e intensidad del tráfico, es así como el ancho de la sección transversal juega un papel determinante en el establecimiento de la capacidad del camino, al mismo tiempo que influye en el costo de construcción

³² Secretaría de Obras Públicas. 1971. Manual de Diseño Geométrico, 3° Edición, Talleres Gráficos de la Nación, México D.F., México, pág. 367.

de este, ya que al emplear anchos de sección cada vez más grandes, el costo de la obra se incrementará. Otro factor que define el ancho de la sección transversal es la velocidad del tránsito, ya que "a medida que la velocidad del tránsito se incrementa, deberá ampliarse el ancho de la sección transversal"³³, debido a que la separación entre el vehículo y el extremo del pavimento, es función directa de la rapidez del desplazamiento de este, por lo que el ancho de esta sección deberá elegirse con sumo cuidado con el fin de que no se afecte de manera negativa la velocidad del tránsito, y así no afectar la capacidad del camino³⁴. La sección transversal de un camino la conforman: la corona, la subcorona, las cunetas y contracunetas, taludes y partes complementarias, tales como guarniciones y bordillos, aceras y fajas separadoras. Para los Caminos Rurales Sostenibles sólo se tomara en consideración el ancho de rodadura que será el mismo ancho de calzada del camino, tomando en cuenta el bombeo y la sobreelevación.

2.2.5.1. Ancho de rodadura.

Se entiende como ancho de rodadura a la parte de la sección transversal destinada al tránsito de vehículos y constituida por uno o más carriles; en los Caminos Rurales Sostenibles se consideran dos carriles; así mismo en este caso carril, es la faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de

³³ Cuellar, Enrique. 1960. Ingeniería de Carreteras. 1° Edición, Editorial Universitaria, San Salvador, pág. 75 y 76.

³⁴ Cuellar, Enrique. 1960. Ingeniería de Carreteras. 1° Edición, Editorial Universitaria, San Salvador, pág. 75 y 76.

vehículos. Su ancho de rodadura con que se ofrece mayor seguridad al usuario se elegirá basados en la velocidad de diseño, el tipo de vehículo, que se elija como vehículo de proyecto, y la demanda de volumen de tránsito futura.

2.2.5.1.1. Ancho de Rodadura En tangente.

La elección del ancho de rodadura en tangente para Caminos Rurales Sostenibles, se ha hecho tomando en consideración el volumen de tránsito demandado, el vehículo de proyecto y la inversión económica que se destina para la ejecución de este tipo de proyectos, así como otro tipo de limitaciones como por ejemplo la fisiografía del país y específicamente de las zonas que serán objeto de la aplicación de este tipo de proyectos, aunado a la poca extensión territorial que posee el país. Así, que el ancho de rodadura del carril sea de 3.05 m., con obstáculos laterales ubicados a ambos lados del camino, a una distancia de 0.60 m. del borde del ancho de rodadura correspondiente (izquierda, Derecha), sin acotamientos; dado que en la mayor parte de zonas del país no se tiene la facilidad para ensanchar el camino, ya sea por limitaciones físicas impuestas por la configuración del terreno o por limitaciones de orden económico, o los propietarios de las propiedades; aunque lo anterior no implica que no pueda realizarse el diseño o la construcción de acotamientos para caminos que tengan la factibilidad u obligatoriedad de hacerlos, estos deberán tener como dimensión mínima 1.20 m. Si se imponen las dimensiones geométricas de la sección transversal del camino, así como una pendiente

ponderada para el camino del 9% y un nivel de servicio C para todo el camino, la capacidad se calcula de la siguiente manera:

$$C = 2000 N v/c W_c T_c \quad (\text{Ec. II-6})$$

Siendo:

N: Número de carriles (para este caso $N=1$, debido a que la capacidad bajo condiciones ideales es de 2000 vph en ambos sentidos)

v/c : Relación volumen-capacidad (para este caso $v/c = 1$, partiendo de la que el volumen demandado en el camino será igual a la capacidad del camino).

W_c : Factor de ajuste a la capacidad, por ancho de carril y distancia a obstáculos laterales, de la tabla I.7. del capítulo I de este estudio.

T_c : Factor de ajuste a la capacidad por vehículos pesados; para la obtención de este factor se analizan dos casos, los cuales se detallan, de la siguiente forma:

Para tramos largos utilizar la tabla I.9 en combinación con la tabla 6H de Manual de Diseño Geométrico de la Secretaría de Obras Públicas de México, página 108.

En el caso de los Caminos Rurales Sostenibles se ha considerado un tramo largo, utilizando la tabla I.9 y la tabla 6H del Manual de Diseño Geométrico. Así:

$$C = 2000 (1) (1) (0.65) (0.316)$$

$$C = 410.80 \text{ vph}$$

Esta capacidad se calcula tomando el caso más desfavorable, cuando se tenga un terreno montañoso, aunque sin proyecta el volumen de demanda: aun así, en base a observaciones realizadas por el Departamento de Estudios de Tránsito del Ministerio de Obras Públicas, la capacidad calculada está por encima al volumen horario demandado, según puede apreciarse en la tabla II-1 del presente capítulo.

Para subtramos específicos, utilizar la tabla I.10 en combinación con la tabla 6H del Manual de Diseño Geométrico de la Secretaria de Obras Públicas de México, página 108.

2.2.5.1.2. Sobreancho en Curvas Horizontales.

Cuando un vehículo circula por una curva del alineamiento horizontal, este ocupa un ancho mayor al desplazarse a lo largo de ella, que cuando circula sobre una tangente, y el conductor experimenta ciertas dificultades para mantener su vehículo en el centro del carril, por lo que se hace necesario dar un ancho adicional al ancho de rodaje en curvas horizontales (alineamiento horizontales) respecto al ancho de rodaje en tangente. Para el cálculo se utilizan las siguientes expresiones:

$$A_T = a_c - a \quad \text{Ec. (II-7)}$$

$$a_c = 2U + 2C + F_a + Z \quad \text{Ec. (II-8)}$$

$$U = \dot{E}V + R_G - \sqrt{(R_G^2 + DE^2)} \quad \text{Ec. (II-9)}$$

$$F_a = (\sqrt{R_G^2 + V_d(2DE + V_d)}) - R_G \quad \text{Ec. (II-10)}$$

$$z = 0.1 \frac{V}{\sqrt{R_G}}$$

Ec. (II-11)

Siendo:

A_T : Ancho de rodaje en tangente

a_c : Ancho de rodaje en curva

A : Sobreancho

V_t : Vuelo trasero

V_d : Vuelo delantero

DE: Distancia entre ejes

EV : Entrevía

c : Distancia libre entre vehículos

U : Distancia entre huellas externas

F_a : Proyección del vuelo delantero

Z : Sobreancho por dificultad de maniobrar

Para caminos con $A_T \geq 5.50$ m. en donde se espera bajo volumen de tránsito puede considerarse que $Z = 0$; se asume este valor de Z y las dimensiones de un vehículo, así como el ancho de rodaje de los Caminos Rurales Sostenibles. Se aplican las ecuaciones II.7, II.8, II.9, II.10, II.11 y se obtienen los siguientes resultados:

De las ecuaciones con $Z = 0$, el sobreancho no depende de la velocidad, ni de la pendiente, por tanto, se tendrá un valor constante del sobreancho en las curvas, al evaluar con los siguientes datos:

$$V_t = 1.80 \text{ m.}$$

$$V_d = 1.00 \text{ m.}$$

$$DE = 4.50 \text{ m.}$$

$$EV = 2.44 \text{ m.}$$

$$c = 0.45 \text{ m. para ancho de rodaje de 6.10 m.}$$

$$\text{De Ec. (II-9)} \quad U = 2.44 + 10.44 - \sqrt{(10.44^2 - 4.50^2)}$$

$$U = 3.46 \text{ m.}$$

$$\text{Ec. (II-10)} \quad F_a = (-\sqrt{(10.44^2 + 1.0(2(4.50) + 1.0)}) - 10.44)$$

$$F_a = 0.47 \text{ m.}$$

$$\text{Ec. (II-8)} \quad a_c = (2 * 3.46) + (2 * 0.45) + 0.47 + 0$$

$$a_c = 8.31 \text{ m.}$$

$$\text{Ec. (II-7)} \quad A = 8.31 - 6.10$$

$$A = 2.21 \text{ m.}$$

En la práctica, se recomienda dar sobreancho solamente a curvas con radios de curvaturas menores a los 300 m.. A partir de la adopción de anchos de rodadura de 6.70 m. y 7.30 m., el sobreancho es menos empleado; además, para evitar el cambio brusco de un ancho de sección a otro se recomienda dar una distancia antes del PC de la curva y después del PT de la curva, ósea en la entrada y en la salida de la curva respectivamente; en la cual el ancho de la

sección se hace variar hasta llegar a los valores de ancho de sección constantes, tanto en tangente como en curva, esta distancia de transición puede variar entre los 5 y los 30 m.³⁵, para efectos de este estudio se adoptará que esta distancia sea de 15 m., basándose en limitaciones relativas al terreno, ya que podría darse el caso que la tangente de dos curvas sucesivas sea bastante pequeña, por lo que la transición podría abarcar toda la longitud de la tangente.

2.2.5.2. Bombeo.

Este es otro de los elementos que consta la sección transversal los Caminos Rurales Sostenibles, el cual reviste suma importancia en lo concerniente a la conservación del pavimento de la superficie de rodadura respecto al drenaje de agua en la superficie.

El bombeo, es la pendiente que se da al ancho de rodadura en las tangentes del alineamiento horizontal; o puede ser definido como la pendiente transversal del camino, desde el eje a ambos lados de este hacia los extremos, ósea que va del eje de la sección transversal hacia las cunetas, lo cual se establece como un requisito fundamental en la conservación del camino.

Antiguamente, alrededor del año 1900 los caminos se construían con materiales de baja calidad, con técnicas poco apropiadas, debido principalmente al poco desarrollo tecnológico; se empleaban bombeos del 8% al 15% de pendiente. A

³⁵ Carciente, Jacob. 1965. Estudio y Proyecto de Carreteras, 1° Edición, Editorial Vega, Caracas, Venezuela, pág.581.

medida que se han mejorado los materiales y los métodos constructivos, estos permiten una mejor impermeabilización y uniformidad del pavimento de la superficie de rodadura; el bombeo se ha disminuido haciéndolo menos pronunciado, respecto al que antiguamente se empleaba; en la actualidad se recomiendan bombeos del 1% al 2% para pavimentos de alta calidad y bombeos del 2% al 3% para pavimentos de baja calidad, mejorándose con esto la comodidad y la estética que el camino ofrece a los usuarios.

2.2.5.3. Sobreelevación

Cuando un vehículo circula sobre una tangente y pasa a un tramo en curva, este siente el efecto de la fuerza centrífuga (F_c) que tiende a sacarlo. Para contrarrestar el efecto de esta fuerza, se provee a la curva de una sobre elevación o peralte (S) donde la orilla externa es más alta que la interna. Por razones prácticas, el máximo valor que puede alcanzar el peralte de una curva, debe limitarse, ya que un peralte alto provoca que el vehículo deslice hacia el centro de la curva, especialmente vehículos pesados que circulan a bajas velocidades; pudiendo ocurrir, que el vehículo se voltee y un peralte reducido limita la velocidad dentro de la curva. La figura No. II – 4 muestra el efecto de las fuerzas que actúan sobre el vehículo en una curva.

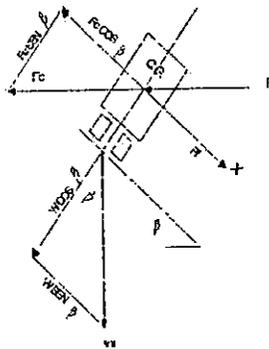


Fig. No. II – 4 Efecto de la fuerza centrífuga sobre el vehículo.

Haciendo equilibrio y tomando como ejes positivos los ejes referenciados, se obtiene la demostración de la obtención de la ecuación que define la sobre elevación (S), como sigue:

$$\sum F_x = 0$$

$$-F_c \cos \beta + W \sin \beta + F_f = 0$$

Aplicando la siguiente función trigonométrica $\tan \beta = \frac{\text{sen} \beta}{\text{cos} \beta}$

La ecuación anterior se reduce a lo siguiente:

$$-F_c \cos \beta + W \tan \beta \cos \beta + \mu W \cos \beta = 0$$

$$F_c = W \tan \beta + \mu N$$

Donde:

F_c : Fuerza centrífuga

W : Peso del vehículo

μ : Coeficiente de fricción

$$\text{Como } F_c = \frac{W V^2}{g R_c} \quad \text{Ec. (II - 12)}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior se obtiene:

$$\frac{W V^2}{g R_c} = W \tan \beta + \mu w$$

$$\frac{V^2}{g R_c} = \tan \beta + \mu$$

$$\frac{V^2}{g R_c} = S + \mu$$

sustituyendo la velocidad en (Km / h), el radio en (m) y el valor de la gravedad como 9.81 m / s^2

$$\frac{V^2(1 \times 10^6 / \text{km})(1 \text{h} / 3600 \text{s})^2}{9.81 \text{m} / \text{s}^2 * R_c} = S + \mu$$

$$s = 0.00785 \frac{V^2}{R_c} - \mu \quad \text{Ec. (II - 13)}$$

El peralte máximo depende de varios factores: condiciones climáticas, configuración topográfica, uso de la tierra, etc. La Secretaría de Obras Públicas

de México recomienda el empleo de los siguientes valores para la determinación del peralte máximo.

TABLA No. II – 6.

Valores máximos de sobre elevación para distintas condiciones.

CONDICION	SOBRE ELEVACION
Cuando no se forma hielo en la vía	12%
Valor más aconsejable en cualquier caso	10%
Regiones de frecuente nevada	8%
Altos volúmenes de tránsito y área urbanas	6%

La máxima sobre elevación adoptada para los Caminos Rurales Sostenibles es de 10% por ser el valor más aconsejable para cualquier tipo de camino, y por ser un valor utilizado en lugares donde no hay heladas y donde se prevé un tránsito de vehículos significativo del 17.05 % (Gráfico II – 1).

2.2.6. Alineamiento horizontal

El alineamiento horizontal se define como la proyección sobre un plano horizontal del eje del camino y está formado por líneas rectas (tangentes) y curvas.

2.2.6.1. Tangentes horizontales

son segmentos de líneas rectas que en el alineamiento horizontal de cualquier camino están definidas por su rumbo y longitud. La longitud mínima de una

tangente es la necesaria para dar la transición del bombeo a la sobreelevación en las dos curvas que la limitan . Cuando la curva circular no tiene espirales de transición, la transición de la sobreelevación puede efectuarse sobre las tangentes contiguas a la curva, pero esta solución tiene el defecto que al dar la sobreelevación en las tangentes , se obliga al conductor a mover el volante de su vehículo en sentido contrario al de la curva para no salirse del camino, esta maniobra puede ser peligrosa, por lo cual se recomienda dar parte de la transición en las tangentes y parte sobre la curva circular. Se ha determinado empíricamente³⁶ que las transiciones pueden introducirse dentro de la curva circular hasta en un cincuenta por ciento, siempre que por lo menos el tercio central de la longitud de la curva quede con sobre elevación completa. Por lo tanto la longitud mínima de tangente entre dos curvas circulares consecutivas de sentido contrario se calcula de la misma manera que una espiral de transición. El método de la AASHTO³⁷ para calcular la longitud mínima de la espiral consiste en igualar la longitud de la espiral, a la longitud necesaria para dar la sobreelevación correspondiente a la curva circular, con lo cual se dedujo la siguiente ecuación:

$$L_t = (1.5625V + 75) * A_T * S \quad (\text{Ec. II-14})$$

Donde:

L_t : longitud mínima de tangente entre curvas circulares horizontales en metros.

³⁶ Manual de proyecto geométrico de carreteras, Secretaría de Obras Públicas, México, página 374.

³⁷

A_T : ancho de un carril = 3.05 metros

V : velocidad de proyecto, en km/h

S : sobreelevación máxima = 10%

Para terreno plano ($V = 60$ km/h), la longitud mínima de tangente entre curvas circulares horizontales es:

$$L_t = (1.5625 * 60 + 75) * 3.05 * \frac{10}{100}$$

$$L_t = 51.51 \text{ m}$$

Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla II-7 .Longitudes mínimas de tangentes entre curvas circulares horizontales para los tres tipos de terreno

Tipo de terreno	Velocidad de proyecto (km/h)	L_t (m)
Plano	60	51.51
Ondulado	50	46.74
montañoso	40	41.97

2.2.6.2. Curvas horizontales.

Son los arcos de círculo que unen dos tangentes consecutivas, se definen por su grado o radio de curvatura.

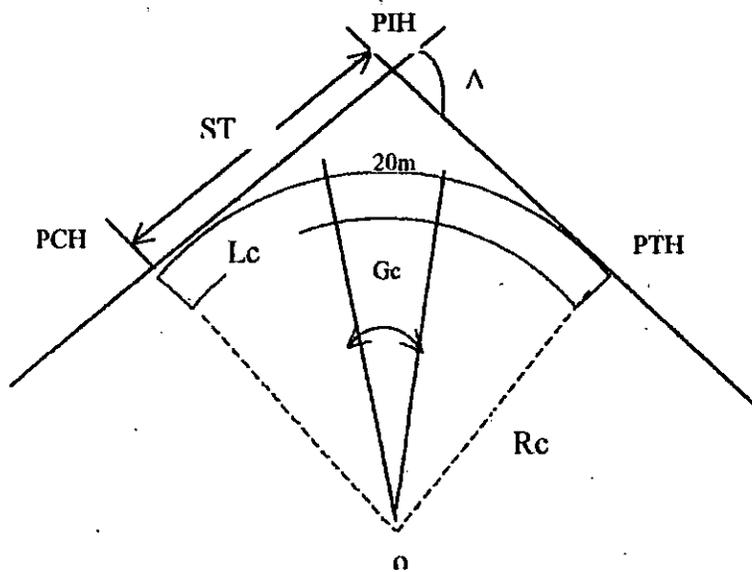


Fig. II-5. Elementos de una curva circular

Donde:

PI : punto de intersección de tangentes

PC : principio de curva

PT : principio de tangente

Rc : Radio de curva

Gc : Grado de curvatura

Δ : ángulo central o deflexión

ST : subtangente = $Rc \cdot \tan \Delta / 2$

Lc : longitiud de curva = 20

Grado de curvatura. Es el ángulo subtendido por un arco de 20 metros, por lo tanto su relación con el radio de curva es la siguiente:

$$\frac{G_c}{20} = \frac{360^\circ}{2\pi R_c}$$

Despejando R_c :

$$R_c = 1145.9156/G_c \quad \text{Ec. (II-15)}$$

Donde:

R_c : radio de la curva, en metros

G_c : grado de curvatura, en grados sexagesimales

Radio mínimo de curva. Es aquel que con la sobreelevación máxima, permite a un vehículo recorrer con seguridad la curva. En la sección 2.5.3 se dedujo la ecuación II-13

$$s + \mu = \frac{0.00785V^2}{R_c}$$

Y se estableció una sobreelevación máxima de 10%. Utilizando las velocidades de proyecto para los diferentes tipos de terreno con sus respectivos coeficientes de fricción transversal para pavimento asfáltico, se obtuvieron los siguientes resultados:

Ejemplo: Para terreno ondulado $V= 40\text{km/h}$, $\mu=0.16$, $s= 10\%=0.1$

Despejando R_c de la Ec. II-14 se tiene:

$$R_c = \frac{0.00785V^2}{s + \mu} = \frac{0.00785 * 50^2}{0.10 + 0.16}$$
$$R_c = 75.48 \text{ m}$$

Tabla II-8. Radios mínimos de curva, y grados máximos de curvatura para curvas horizontales

Terreno	V (km/h)	μ	Rc (m)	Grado máx. de curv.(°)
Plano	60	0.17	104.67	10.95
Ondulado	50	0.16	75.48	15.17
Montañoso	40	0.15	50.24	22.81

2.2.6.3. Principios generales para el alineamiento horizontal

Existen ciertos criterios generales adoptados a través de la práctica y que son importantes para asegurar una circulación cómoda y segura considerando la economía en la construcción de las vías. A continuación se citan algunas de ellas:

1-Para las velocidades de proyecto dadas, debe evitarse dentro de lo razonable, el uso de la curvatura máxima permisible; el proyectista debe tender en lo general, a usar curvas suaves, dejando la curvatura máxima para las condiciones más críticas.

2-Una línea que se adapta al terreno natural es preferible por economía, a otra con tangentes largas pero con repetidos cortes y terraplenes, siempre que se cumpla con los radios mínimos de curvatura establecidos.

3-Debe procurarse un alineamiento uniforme que no tenga quiebres bruscos en su desarrollo, por lo que deben evitarse curvas forzadas después de tangentes largas o pasar repentinamente de tramos de curvas suaves a otros de curvas forzadas.

4-Es conveniente limitar el empleo de tangentes muy largas, pues la atención de los conductores se concentra durante largo tiempo en puntos fijos, que motivan somnolencia, especialmente durante la noche, por lo cual, es preferible proyectar un alineamiento de sinuosidad adaptado con curvas amplias, siempre que a esas curvas se les proporcione la sobreelevación necesaria.

2.2.7. Distancia de visibilidad

los caminos rurales sostenibles son vías de dos carriles con doble circulación, en ellos se evalúan dos distancias de visibilidad siguientes:

2.7.1.1. Distancia mínima de visibilidad de parada.

Es la mínima distancia de visibilidad que se debe dar en cualquier punto del camino. En la sección 1.6.4.1. (página 40) se estableció la expresión:

$$D_p = \frac{0.278Vt + V^2}{254(f \pm p)} \quad \text{Ec.(I-11)}$$

Donde:

D_p : distancia de visibilidad de parada

V : velocidad del vehículo en km/h, en este caso se tomará la velocidad de proyecto

t : tiempo de reacción del conductor en segundos definida como 2.5 segundos en la sección 1.6.4.1. (página 41).

p : pendiente del camino en centésimas, considerando su signo negativo (descendente) por ser condición más desfavorable.

f : coeficiente de fricción longitudinal que varía con la velocidad como se muestra en la tabla II-9. (Nota: para fines de proyecto deben emplearse los coeficientes de pavimento mojado.)

Tabla II-9. Coeficientes de fricción longitudinal de pavimentos asfálticos para distintas velocidades.³⁸

Velocidad(km/h)	Pavimento seco	Pavimento mojado
30	0.650	0.400
40	0.630	0.380
50	0.620	0.360
60	0.600	0.340
70	0.590	0.325
80	0.580	0.310

Al evaluar la Ec. I-11 para la velocidad de proyecto y las pendientes máximas respectivas, en descenso, se obtienen las distancias mínimas de visibilidad.

³⁸ Adaptada de manual de proyecto geométrico de carreteras, Secretaría de Obras Públicas de México, página 77.

Ejemplo: Para terreno montañoso, $V=40\text{km/h}$, $f = 0.63$, $P_{\text{máx}}=0.10$, por lo tanto:

$$D_p = 0.278 \cdot 40.4 \cdot 2.5 + \frac{40^2}{254(0.63 + 0.10)}$$

$$D_p = 39.7 \text{ m}$$

Tabla II-10. Distancias mínimas de visibilidad de parada que corresponden a las distancias mínimas de visibilidad en cualquier punto del camino.

Terreno	V (km/h)	F	P _{máx.}	D _p (m)
Plano	60	0.60	0.0171	66.0
Ondulado	50	0.62	0.604	45.4
montañoso	40	0.63	0.10	39.7

2.2.7.2. Distancia mínima de visibilidad de rebase

En la sección 1.12.4.2 se definió la distancia de visibilidad de rebase con la Ec.I-12, esta es $D_R=4.5V^{39}$, siendo V la velocidad de proyecto. Se proyectan tantos tramos como sean necesarios con la distancia mínima de visibilidad de rebase para evitar largas filas detrás de los vehículos más lentos; la cantidad de éstos estará en función de la configuración topográfica propia de cada proyecto.

³⁹ Ecuación válida para ambos alineamientos: Horizontal y vertical,

Tabla II-11. Distancia mínima de visibilidad de rebase

Tipo de terreno	Velocidad de proyecto (km/h)	D _R (m)
Plano	60	270
Ondulado	50	225
montañoso	40	180

2.2.8. Alineamiento vertical

Es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje del camino, las pendientes máximas (tabla II-4) y las longitudes de tangentes críticas (tabla II-5) para cada tipo de terreno se definieron en la sección 2.2.4.

2.2.8.1. Curvas Verticales

Las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes del alineamiento vertical para que, en su longitud, se efectúe el paso gradual de la pendiente de entrada a la de salida. La base geométrica de las curvas verticales es la parábola, de ahí que son conocidas por curvas parabólicas, siendo su fórmula general :

$$Y=KX^2$$

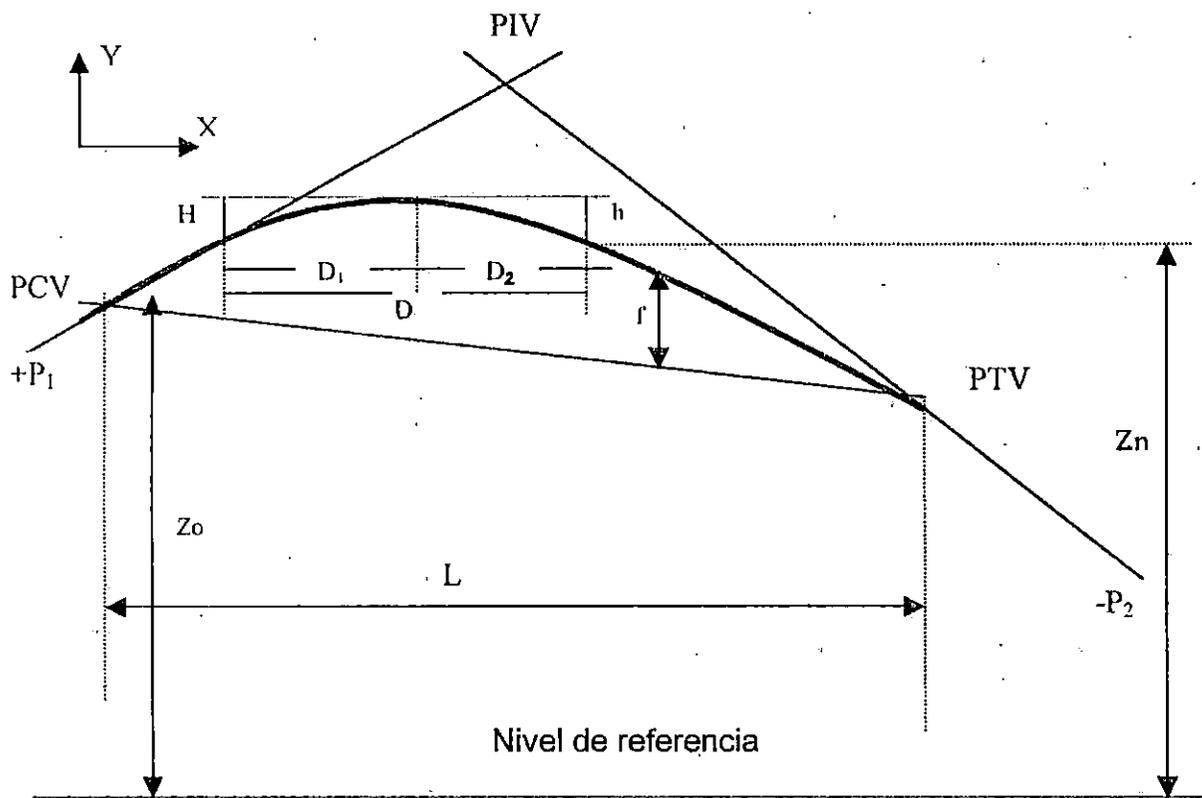


Figura II-6. Elementos de una curva vertical

Donde:

PIV: Punto de intersección de las tangentes

PCV : Punto, donde comienza la curva vertical

PTV : Punto, donde termina la curva vertical

P_1 : Pendiente de la tangente de entrada, en por ciento

P_2 : Pendiente de la tangente de salida, en por ciento

A' : Diferencia algebraica entre las pendientes de la tangente de entrada y la de salida

L : Longitud de la curva, en metros

f : flecha, en metros

Z₀ : Elevación del PCV, en metros

Z_n : Elevación de un punto cualquiera, en metros

H : altura del ojo o altura de los faros, en metros

h : altura del objeto, en metros

Se puede demostrar que:

$$Y = \frac{P_1 - P_2}{2L} X^2 = \frac{A}{2L} X^2 \text{ }^{40}$$

Por lo tanto:

$$K = A' / 2L \quad \text{Ec. (II-16)}$$

Para determinar la longitud mínima de las curvas verticales se emplea el criterio de seguridad, el cual consiste en proyectar las curvas verticales de manera que en toda su longitud se cumpla con la distancia de visibilidad para parar. De la figura II-6 y utilizando la fórmula general de la parábola, se llega a lo siguiente:

$$K = \frac{Y}{X^2} = \frac{H}{D_1^2} = \frac{h}{D_2^2}$$

entonces

$$D_1 = \sqrt{\frac{H}{K}} \quad \text{y} \quad D_2 = \sqrt{\frac{h}{K}}$$

pero

$$D = D_1 + D_2 = \sqrt{\frac{H}{K}} + \sqrt{\frac{h}{K}}$$

Sustituyendo do $K = \frac{A}{2L}$ y despejando L

$$L = \frac{AD^2}{2(\sqrt{H} + \sqrt{h})^2}$$

⁴⁰ Manual de proyecto geométrico de carreteras, Secretaría de Obras Públicas de México, páginas 123 y 124.

Para distancia de visibilidad de parada:

$$D=D_p$$

H : altura de los ojos del conductor=1.14m

h : altura del objeto=0.15m para curvas en cresta

con A en %, sustituyendo queda:

$$L = \frac{\frac{A'}{100} D_p^2}{2(\sqrt{1.14} + \sqrt{0.15})^2} = \frac{A' D_p^2}{423.4086} \quad \text{Ec. (II-17)}$$

Similarmente para curvas en columpio :

$$L = A' D_p^2 / (120 + 3.5 D_p) \quad \text{Ec. (II-18)}$$

La longitud de curva vertical calculada para un valor específico de A(%) en ningún caso podrá ser menor que 0.6 veces la velocidad de proyecto⁴¹, es decir:

$$L \geq 0.6V \quad \text{Ec. (II-19)}$$

Al establecer las longitudes mínimas de las curvas verticales, estas quedan definidas por la relación L/A. Así por ejemplo para terreno plano, V=60km/h, D_p= 68.44m. Al evaluar las ecuaciones se obtiene la tabla II-12:

$$\frac{L}{A'} = \frac{D_p^2}{423.4086} = \frac{66.0^2}{423.4086} = 10.28$$

$$\frac{L}{A'} = \frac{D_p^2}{120 + 3.5 D_p} = \frac{66.0^2}{120 + 3.5 * 66.0} = 12.4$$

$$L \geq 0.6V = 0.6 * 60 = 36 \text{ m}$$

⁴¹ Relación empírica establecida por la AASHTO en base a experimentos.

Tabla II-12. Longitud mínima de curvas verticales

Terreno	V (km/h)	D _P (m)	L/A'(cresta)	L/A'(columpio)	L=0.6V
Plano	60	66.0	10.28	12.4	36
Ondulado	50	45.4	4.86	7.46	30
montañoso	40	39.7	3.72	6.09	24

2.2.8.2. Normas generales para el alineamiento vertical.

El alineamiento vertical de un camino o carretera, está definido por la línea de subrasante constituida por las cotas del proyecto a lo largo de esta hilera referenciada, definiendo el perfil longitudinal del camino. La posición de la subrasante depende principalmente de los pavimento, de la topografía de la zona atravesada, pero existen otros factores que deben considerarse tales como, las siguientes:

La condición topográfica del terreno, influye en diversas formas en definir la subrasante. Por ejemplo, en terrenos planos, la altura de la subrasante sobre el terreno es regulada, generalmente, por el drenaje, mientras en terrenos montañosos, la subrasante es regida por las restricciones y condiciones de la topografía; así, en terrenos en lomerío se adoptan subrasantes onduladas; una subrasante suave con cambios graduales es consistente con el tipo de camino. Se evitan vados por curvas verticales muy cortas, pues el perfil resultante se presta a que las condiciones de seguridad y estética sean muy pobres. Se

evitan dos curvas verticales sucesivas y en la misma dirección separadas por una tangente corta, particularmente cuando se refiere a curvas en columpio, donde la vista de ambas curvas resulta desagradable; se prefiere un perfil escalonado que tener una sola pendiente sostenida; Adoptar un camino adicional de ascenso cuando se tengan largas pendientes uniformes motivadas por la magnitud del desnivel a vencer; considerar carriles auxiliares de ascenso cuando la longitud crítica de la pendiente es excedida, y donde el volumen horario de proyecto excede al 20% de la capacidad de diseño para tal pendiente. En el caso de caminos de dos carriles, cuando se tenga un perfil escalonado será preferible que las pendientes más fuertes se encuentren al inicio del ascenso.

2.2.9. Combinación de los alineamientos horizontal y vertical.

Los alineamientos horizontal y vertical no son ni deben ser considerados independientes en el proyecto, puesto que se complementan el uno con el otro. Si uno de los dos presenta partes pobremente proyectadas incongruentes entre si, estas influyen negativamente tanto en el resto de ese alineamiento como en el otro; por lo tanto, debe estudiarse en forma exhaustiva ambos alineamientos, considerando que el camino se volverá más seguro.

2.2.10. Alineamiento de los Caminos Rurales Sostenibles.

A continuación se presentan algunas normas generales que pueden seguirse para proyectar un Camino Rural Sostenible: el radio la curvatura y la pendiente deben estar balanceadas, deberán evitarse las tangentes o curvas horizontales

suaves en combinación con pendientes fuertes o largas, o bien una curvatura horizontal excesiva con pendientes suaves: La curvatura vertical sobrepuesta a la curvatura horizontal o viceversa, generalmente da como resultado una vía más agradable a la vista, pero debe ser analizada tomando en cuenta el tránsito, sin embargo, este tipo de combinaciones deben analizarse exhaustivamente, ya que algunas de estas combinaciones producen situaciones peligrosas para los conductores: no deben proyectarse curvas horizontales forzadas en o cerca de una cima, o de una curva vertical en cresta pronunciada, esto es debido a que el conductor no puede percibir el cambio en el alineamiento horizontal, especialmente de noche, ya que las luces alumbran adelante hacia el espacio y en línea recta, este peligro puede ser disminuido si el alineamiento horizontal se impone al vertical, ya sea, construyendo una curva horizontal más larga que la vertical o utilizando valores de proyecto mayores a los mínimos: evitar proyectar curvas horizontales forzadas en el punto más bajo de una curva vertical en columpio, porque el camino da la impresión que está cortado: En caminos de dos carriles, la necesidad de tramos para rebasar con seguridad a intervalos frecuentes y en un porcentaje apreciable de la longitud del camino, influye en la combinación de ambos alineamientos. En estos casos, es necesario proporcionar suficientes tangentes largas, para asegurar la distancia de visibilidad de rebase.

CAPÍTULO III
CASO DE APLICACIÓN.

3.1. INTRODUCCION

Con el objeto de evaluar y verificar la aplicación de la propuesta de los requisitos para el diseño geométrico de los caminos rurales sostenibles, se desarrolla el anteproyecto del camino El Carmen a finca Desiree, el cual posee características topográficas de relieve fuertes, por lo que este representa un caso donde se resaltan las restricciones en la aplicabilidad de los requisitos de diseño geométrico propuestos. Debido a la dificultad para estudiar nuevas alternativas del trazo del camino con un levantamiento topográfico que solamente contiene la franja del ancho de rodadura actual, se hace uso de la restitución topográfica facilitada por el Centro Nacional de Registros (CNR).

Al principio se presenta una descripción del proyecto considerando los aspectos que influyen en su realización como: clima, fisiografía y uso del suelo de la zona en que se ubica el camino. Para tener amplitud en el análisis de la aplicación de los requisitos para el diseño geométrico de caminos rurales sostenibles, se elaboraron tres propuestas de diseño del proyecto de aplicación, la primera propuesta sería en la ruta que ya se tiene, y las otras dos propuestas saliéndose de esa ruta para mejorar la geometría y cumplir con los requisitos propuestos.

3.2. GENERALIDADES DEL ANTEPROYECTO: CAMINO DESDE EL CANTON EL CARMEN – FINCA DESIREE.

El camino actual en estudio, posee pendientes con promedios del orden de 14% y curvas horizontales con radios hasta de 40 metros. Para cumplir con los

requisitos de diseño geométrico propuestos, es necesario salirse del alineamiento del camino existente para suavizar las pendientes y disminuir los grados de curvatura en las curvas horizontales. Es por eso que se presentan tres propuestas de alineamiento, con el fin de hacer un análisis comparativo, destacando las dificultades técnicas para aplicar la propuesta de los requisitos de diseño geométrico y los costos derivados en cada alternativa, ya que la de menor costo es aquella que más se apegue al alineamiento existente; y la más segura, es aquella en la que los requisitos de diseño propuestos no sean restringidos, siendo la propuesta óptima la que logre conciliar un costo bajo con una geometría segura, tomando en cuenta que en los puntos donde no sea posible cumplir con los requerimientos geométricos por los altos costos en que se incurriría, los riesgos se pueden minimizar con medidas sustitutivas como la señalización.

3.2.1. Descripción del proyecto.

Ubicación del proyecto. El proyecto El Carmen a finca Desiree se encuentra ubicado en el límite entre el departamento de la Libertad y San Salvador en la zona del Boquerón, iniciando en el cantón y caserío El Carmen y finalizando en la intersección con la carretera Santa Tecla-San Juan Los Planes-Quezaltepeque, con 1913 m de longitud, catalogado en los tramos extremos del principio y final como carretera sin pavimentar, angosta, transitable en tiempo seco y en el tramo intermedio como camino de herradura o huella.

Clima. El proyecto se localiza en alturas sobre el nivel del mar que varían entre los 1000 y 1300 metros y se incluye en la clasificación de sabanas tropicales calientes o tierras calientes y de sabanas tropicales calurosas o tierra templadas encontrándose zonas climáticas propias de una zona caliente con temperaturas anuales entre 28°C-32°C y zonas de tierra templada con temperatura de 19°C a 21°C. La precipitación pluvial anual oscila entre 1600 a 2000 mm y está distribuida de los meses de Mayo a Octubre⁴².

Fisiografía. La formaciones fisiográficas identificables en el proyecto, se clasifican ⁴³ como: Formaciones volcánicas no diferenciadas (FOA), Ilopango, sobre suelos pardos, accidentado en montaña (IIK), y formación Apopa – Ilopango, alomado en terrenos elevados (APW). Las descripciones de las formaciones antes citadas son las siguientes:

Formaciones volcánicas no diferenciadas (FOA). Depresiones de origen volcánico formadas por cráteres con paredes inclinadas de 60 % a más del cien por ciento de pendiente y son fondos ligeramente planos a inclinados. Las capas de suelos inferiores están formadas por estratos de materiales areno-gravosos piroclásticos. El drenaje externo e interno varía de rápido a moderado.

Formación Ilopango, sobre suelos pardos accidentado en montaña (IIK). Faldas de volcán, muy erosionadas y moderadamente diseccionadas por quebradas no muy profundas con lecho rocoso. El relieve local es moderado, las pendientes predominantes varían de 40 % a 60 %, cerca de las quebradas alcanzan hasta

⁴² Geografía de El Salvador, S.S, gobierno de El Salvador, 1986, primer tomo.

⁴³ Mapa de Levantamiento General de Suelos, República de El Salvador.

un 70%. Las capas inferiores están compuestas por polvos volcánicos de color café, mezclados con escoria máfica y por corrientes de lava. El drenaje externo es rápido.

Formación Apopa – Ilopango, alomado en terrenos elevados (APW). Remanentes y áreas moderadamente diseccionadas de faldas de montañas. El relieve local varía de bajo a moderado (5-25 m), las pendientes predominantes son menores que 25 %. Las capas de suelos inferiores están constituidas por cenizas y arenas pomicíticas blancas, poco intemperizadas. No hay problemas de drenaje pero si de erosión debido a la topografía irregular del terreno.

Considerando las características fisiográficas anteriores del camino en estudio, según los parámetros (pendientes) descritos éste puede clasificar como camino de montaña en toda su longitud.

Uso de suelos. El uso del suelo es heterogéneo, principalmente con cultivos de café, frutales, vegetación natural, parcelas con maíz, maicillo, frijoles y otros.

3.3. PROPUESTA DE REQUISITOS PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CAMINOS RURALES SOSTENIBLES.

Para cumplir con la nueva política del ministerio de obras públicas (MOP) en la reconstrucción de caminos, el camino El Carmen a finca Desiree se anteproyectará su diseño como un camino rural sostenible, basándose en los criterios de economía y seguridad; con carpeta de rodadura de concreto asfáltico, dos carriles con doble circulación, se deberá cumplir con los

requisitos de diseño geométrico que se establecen en la tabla III-1 para un terreno montañoso.

TABLA III-1. Propuesta de requisitos para diseño geométrico de caminos rurales sostenibles.⁴⁴

	TERRENO			
	PLANO	ONDULADO	MONTAÑOSO	
Vehículo de diseño	DE-450	DE-450	DE-450	
Velocidad de Proyecto (Km/h)	60	50	40	
Pendiente Máxima (%)	1.71	6.04	10	
Pendiente Mínima (%)	0.5			
Longitud Crítica (m)	Indefinido	800	210	
Ancho de rodadura en tangente (m)	6.1	6.1	6.1	
Obtáculos laterales (m)				
Acotamiento (m)	1.2	1.2	1.2	
Nivel de servicio	C	C	C	
Sobreelevación en curvas circulares (m)	2.21	2.21	2.21	
Longitud mínima de transición de bombeo a sobreelevación (m)	15	15	15	
Bombeo (%)	1 a 2	1 a 2	1 a 2	
Sobreelevación máxima (%)	10	10	10	
Longitud mínima de tangentes entre curvas circulares (m)	51.51	46.74	41.97	
Distancia mínima de visibilidad de parada (m)	66	45.4	39.7	
Distancia mínima de visibilidad de rebase (m)	270	225	180	
Radio mínimo de curvatura (m)	104.67	75.48	50.24	
Grado máximo de curvatura (°)	10.95	15.17	22.82	
Longitud mínima de curvas verticales	K= L/A' (cresta)	10.28	4.86	3.72
	K= L/A' (columpio)	12.4	7.46	6.09
	L ≥ 0.6V (m)	36.3 ⁴⁵	30 ⁴⁵	24 ⁴⁵

⁴⁴ Resumen de los resultados obtenidos en el capítulo II .

⁴⁵ Los valores señalados representan las longitudes mínimas de curvas verticales que deberán cumplirse, para el diseño geométrico en lo que respecta al alineamiento horizontal.

3.3.1. Reseña de la metodología seguida para el diseño geométrico de Caminos Rurales Sostenibles.

Considerando, que para los Caminos Rurales Sostenibles uno de los principios básicos consiste en respetar en lo posible la geometría del camino existente, entonces se vuelve necesario realizar previamente el levantamiento topográfico de la faja existente desde el eje del camino hacia ambos lados, desde donde comienza hasta donde finaliza este, para el diseño y posterior replanteo. También el uso y la vocación de la tierra que determina el tipo de tránsito que se desarrollará en el camino. Partiendo de esto, se traza la línea a pelo con radios de curvatura de 250 metros y cortando a la curva de cota redonda inmediata, a fin de obtener una relación de 25/250 m/m que equivale a una pendiente máxima de 10%, que es la establecida para terreno montañoso, obteniendo de este trazo las propuestas que determinarán el nuevo eje del camino. En este caso particular, en el " Proyecto El Carmen" no es posible respetar la geometría existente y cumplir los requisitos mínimos de geometría que garanticen la seguridad de los usuarios, esto debido a los valores de pendiente que oscilan entre el 11% al 16%, lo que obliga a reducir los radios de curvatura para minimizar el valor de las pendientes, sacrificando el alineamiento horizontal y alargando el camino. Por ser este un camino netamente de montaña y no contar con otras combinaciones de tipo de terreno, se vuelve difícil el cumplimiento, en su totalidad, de los requisitos mínimos.

Para ilustrar la aplicabilidad de la propuesta de los requisitos para el diseño de Caminos Rurales Sostenibles se plantean tres alternativas para el proyecto, en las cuales se hace un análisis comparativo de las dificultades técnicas para aplicar esa propuesta. Debido a la inminencia de salirse del eje del camino existente, se hace necesario usar la restitución topográfica con la cual se asegura el margen de maniobra necesario para diseñar el camino sin restricciones en la geometría.

3.3.2. Propuesta no. 1 alineamiento del camino existente

La propuesta de más bajo costo para el mejoramiento del camino El Carmen a Finca Desiree es aquella en la que se respeta en lo posible la geometría existente; tomando en cuenta que también es uno de los principios básicos de los proyectos de Caminos Rurales Sostenibles, se elabora la presente propuesta de diseño geométrico siguiendo la geometría existente para ilustrar las condiciones de seguridad y operación de los vehículos prevalecientes, cuando, en este caso específico, no se mejora sustancialmente la geometría sin considerar salirse del eje existente. Al trazar los alineamientos horizontal y vertical de manera que lo anterior (ver plano hoja 1/3) pueda cumplirse y compararlo con la propuesta de requisitos para el diseño geométrico de Caminos Rurales Sostenibles (tabla III-1), se puede observar que el alineamiento horizontal cumple con los requisitos establecidos en la tabla III - 1, para un terreno montañoso en cuanto a radios de curva horizontales, ya que a excepción de una curva con radio de 40 m todas tienen el mínimo radio de

curvatura 50.00 m. para terreno montañoso. Sin embargo, el alineamiento vertical está muy forzado con pendientes promedio del 14% ya que la pendiente máxima especificada es de 10% y la longitud crítica de ascenso de 210 m. Lo anterior implica, que los vehículos no tendrán las características de operación establecidas para los caminos rurales sostenibles, con una implicación directa en la reducción sustancial de la capacidad del camino y por ende un desmejoramiento en su nivel de servicio. Por la necesidad de disminuir las pendientes, la solución obligada es salirse del alineamiento existente, el procedimiento está ilustrado en las siguientes propuestas, N° 2 y N° 3.

3.3.3. Propuesta n° 2. alineamiento del camino mejorado.

En esta propuesta, se ha tratado de mejorar lo más que se puede el alineamiento horizontal y vertical, a pesar que esto implica un sustancial aumento del 25.73 % en la longitud del camino, lo cual equivale a un aumento de 492.21 m, esto implica, que la inversión a realizar para la ejecución de esta propuesta debe ser mayor que en la propuesta N°1, la cual sigue el alineamiento del camino existente. Por lo tanto, esta propuesta resulta ser menos atractiva de ejecutar que la propuesta N° 1, siguiendo los criterios hasta hoy empleados por el Ministerio de Obras Públicas para la ejecución del proyecto de Caminos Rurales Sostenibles, los cuales indican 1) Mantener en lo posible la configuración geométrica del camino a mejorar . 2) La superficie de rodadura estará conformada por material bituminoso o por concreto hidráulico . Por lo que el alineamiento horizontal y vertical deberá mantenerse lo más que

se pueda, esto, con el ánimo de no incurrir, en costos relacionados con la adquisición de terrenos adyacentes al camino y la realización de cortes y rellenos, a pesar que se mejora la superficie de rodadura.

En cuanto al alineamiento horizontal, este cumple casi todos los requisitos establecidos en la tabla III-1, en lo relacionado con los radios de curvatura, grados de curvatura y distancias de visibilidad, a excepción de dos curvas las cuales tienen un radio de curvatura de 25.00 m, mientras que cinco curvas tienen un radio de curvatura de 50.00 m y una curva tiene un radio de curvatura de 100.00 m. Como se puede deducir, en esta propuesta se ha sacrificado el alineamiento vertical, al dejar pendientes fuertes incurriendo en un riesgo para los usuarios del camino, así como en gastos adicionales para éstos, al tener que darle un mayor mantenimiento al vehículo para que pueda ascender y descender el camino, bajo la premisa de tratar mejorar o cumplir con lo establecido para el alineamiento horizontal, presentando problemas, al haber pendientes mayores que 10%, específicamente en los tramos cercanos a la calle al boquerón, donde se encuentran dos tramos con pendientes del 14.00 % y 13.81 %, también, en lo referente a las longitudes críticas, estas no se pudieron cumplir, ya que al quererlas cumplirlas, tabla III-1, esto hubiera propiciado condiciones sumamente desfavorables para la seguridad de los usuarios, al correr el riesgo que el alineamiento horizontal quedara sobrepuesto al alineamiento vertical o viceversa; además, desde el punto de vista inversión el cumplimiento de esta longitud crítica, hubiese significado un mayor

desembolso, en concepto de realizar grandes cantidades de corte y relleno, lo cual no es admisible según la concepción de Caminos Rurales Sostenibles.

Considerando como principal premisa la seguridad y comodidad del usuario, deberá considerarse alternativamente nuevas rutas que se ajusten al criterio de seguridad, dentro de lo permisible, tratando de disminuir las pendientes que se encuentran arriba del 10% estableciendo este como requisito máximo para el alineamiento vertical; esto implica, que la propuesta que cumpla con el alineamiento vertical deberá sacrificar un tanto más el alineamiento horizontal, al tener que alargar el kilometraje un poco más de lo que se alargó en esta propuesta.

3.3.4. Propuesta no. 3 alineamiento del camino mejorado.

El principal problema con el que se enfrenta al desarrollar el eje del camino desde el cantón El Carmen hasta la finca Desiree es que se tienen fuertes pendientes naturales, con valores que oscilan entre el 11% al 16%, con una longitud total del camino de 1,913.0 m., e identificando la zona comprendida entre las elevaciones 1100 m. a 1225 m., como la más crítica y donde se producen las mayores pendientes. Al trazar la línea a pelo tierra partiendo del punto de inicio del camino (Finca Desiree sobre el camino que conduce de Santa Tecla al Boquerón – Quezaltepeque), tomando como centro este punto y trazando una curva con un radio igual a 250.0 m que cortan a la curva inmediata de 25 metros con el objeto de obtener una relación de 25/250 m/m equivalente a una pendiente de 10%, y convirtiendo este punto en el nuevo

centro donde se vuelve a trazar la curva de 250 metros para ir obteniendo como máximo el valor límite de pendiente establecida para Caminos Rurales Sostenibles en la clase montañoso, generando con ello un nuevo alineamiento que a medida se acerca a la zona crítica las curvas circulares del alineamiento horizontal sufren una reducción de 50.0 metros a 25 metros, equivalente a una disminución del 50% del radio mínimo de 50.0 metros propuesto para Caminos rurales Sostenibles en la categoría de montañoso; sin embargo, esa reducción genera una notable mejoría en el alineamiento vertical bajando el valor de pendiente a un máximo de 9%. Esta propuesta se vuelve impráctica, ya que si bien en ella se logra reducir la pendiente, sacrificando el alineamiento horizontal, se produce un alineamiento con una longitud final de 3565.42 m equivalente a un incremento del 86% de la longitud del camino respecto a la inicial. Valor que rebasa el tercio admisible como máximo de incremento. Aunque esta propuesta logre superar en parte las deficiencias geométricas que el camino presenta, su ejecución se vuelve irrealizable por el alto valor económico que esta representa y muchas veces el beneficio social no justifica la inversión.

3.4. CONCLUSIONES.

✓ No se pueden cumplir con la totalidad de los requisitos técnicos de diseño geométrico dado que el camino del caso de aplicación es puramente montañoso, presentando este el caso más desfavorable para la aplicación de estos criterios.

✓ El cumplimiento parcial de los requisitos técnicos de diseño geométrico, obliga el sacrificio de uno de los alineamientos, siendo el caso más desventajoso, aquel en el que se mejora el alineamiento vertical, reduciendo las pendientes a valores menores que 9%, pero incrementando sustancialmente la longitud del camino en un 86%, para la propuesta N° 3. El otro caso, es el mejoramiento del alineamiento horizontal, manteniendo los radios de curvatura mayores que 50 m., según lo especificado en la tabla III-1, teniendo como desventaja que las pendientes del alineamiento vertical se aumenten o mantengan, en el mejor de los casos, tal como ocurre en la propuesta N° 2, donde se tienen pendientes mayores que 10 %, a pesar que el camino se alarga en un 25 % de la longitud original.

✓ Desde el punto de vista de seguridad, resulta mucho más conveniente, mejorar el alineamiento vertical, sacrificando el alineamiento horizontal, aunque desde el punto de vista económico lo anterior resulte contraproducente al objetivo perseguido con este criterio, el cual es realizar poca inversión para la ejecución de estos proyectos.

✓ Se confirma que el mejoramiento de la superficie de rodadura sin que este mejoramiento sea acompañado de un adecuado diseño geométrico propicia condiciones sumamente desfavorables para el usuario, como es el aumento de la velocidad de operación, para mencionar la más importante, a partir del criterio de seguridad, especialmente en caminos que tengan características similares al caso de aplicación de este estudio, lo cual implica que deberá cambiarse la concepción actual de los Caminos Rurales Sostenibles, ya que deberán destinarse más recursos para mejorar sustancialmente las condiciones de seguridad que estos ofrezcan a los usuarios.

✓ Es prácticamente imposible lograr el cumplimiento de todos los requisitos de diseño geométrico, a fin de obtener una propuesta óptima, que con poca inversión alcance el mayor beneficio.

✓ El beneficio social que se pretende alcanzar, al mejorar las condiciones físicas y geométricas del camino no justifica la inversión económica que deberá hacerse para cumplir con los criterios de diseño geométrico para los Caminos Rurales Sostenibles.

3.5. RECOMENDACIONES

- Adicionar al camino, un carril de ascenso para tratar de contrarrestar el bajo nivel de servicio que se produciría al tener valores de pendiente mayores que 11%.
- Incrementar el valor del sobre ancho en las curvas circulares, donde no se pueda cumplir con el mínimo radio de curvatura.
- Revisar la clasificación actual de Caminos y Carreteras y crear una nueva categoría en la que encajen perfectamente este tipo de camino, así como la redacción de especificaciones técnicas de estos.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

Los resultados obtenidos a partir de la investigación realizada y el caso de aplicación del camino El Carmen a Finca Desiree se, considera que uno de los factores más importantes en el diseño geométrico es el relieve, ya que este es un factor que limita o condiciona el cumplimiento de los requisitos de diseño geométrico tales como radios de curvatura, longitud crítica, distancias de visibilidad, etc. Los cuales influyen directamente en una reducción del nivel de servicio de los Caminos Rurales Sostenibles. Partiendo de estos resultados se tiene como finalidad evaluar, adaptar y aplicar los parámetros de la tabla III-1a un caso específico. A continuación se citan los resultados más importantes obtenidos durante este proceso.

- 1- El 88% de la superficie de El Salvador corresponde a terrenos de montaña, volcanes y planicies de tierra alta.
- 2- Dos aspectos a considerar de base para el diseño geométrico de caminos rurales sostenibles son: El usuario y el vehículo de proyecto; el ser humano es el elemento crítico en la determinación de las características del tránsito, entre sus atributos están su visión, tiempo de reacción, pericia para conducir, estado emocional etc.; el camino debe ser proyectado también de acuerdo a las características del vehículo de proyecto, ofreciendo comodidad y seguridad.

Tomando en consideración los factores fundamentales que influyen directamente en el diseño geométrico, se evalúan los siguientes parámetros,

para condiciones propias de caminos sostenibles, estos son: volúmenes de tránsito, tipo de vehículo, superficie de rodadura etc.

El vehículo de proyecto obtenido a partir de conteos de estaciones no permanentes, determinados en la tabla II – 1, establece al vehículo C2 como el segundo más representativo, con 17.05% del TPDA, en caminos rurales antes de ser convertidos a Caminos Rurales Sostenibles, siendo el más representativo, el vehículo liviano de carga con 60.24% del TPDA, pero por ser el vehículo C2 (DE – 450) el de mayor peso y dimensiones que el vehículo liviano de carga se emplea este como vehículo de proyecto para el diseño geométrico; y a partir de su relación peso – potencia de 90 Kg. / HP es que se calcula la máxima pendiente que puede ascender, considerando la fuerza tractiva que dispone el vehículo y las fuerzas que se oponen al movimiento tales como resistencia por pendiente, peso, fuerza del viento, fricción y eficiencia mecánica, (Ecuaciones II – 4 y II – 5) .

La velocidad de proyecto, es otro parámetro obtenido a partir de condiciones cualitativas como el tipo de terreno y cuantitativa como los volúmenes de tránsito; la velocidad de proyecto es un valor que se le impone al camino y de ella dependen otros parámetros como el nivel de servicio, radios mínimos de curvatura de curvatura, distancias de visibilidad de parada y rebase, sobre ancho en curvas circulares, etc., y se espera que la velocidad de proyecto se incremente hasta en un intervalo de 20 Km./h, como velocidad de operación,

debiendo hacer señalizaciones como medida preventiva y complementaria para la seguridad del usuario.

A partir de las máximas pendientes que el vehículo puede ascender, definidas con la relación peso – potencia, y la velocidad de proyecto desarrollada, se establece la longitud crítica, como una relación inversamente proporcional, que a medida que el vehículo disminuye su velocidad con la que entra en la pendiente, este alcanza una mayor longitud crítica, definida como la máxima distancia que puede sostener un vehículo cuando llega a la velocidad de régimen; pero no es recomendable reducir la velocidad de proyecto hasta valores bajos como 10 Km. / h, ya que esto implica que el vehículo emplee toda su potencia disponible para ascender, logrando una mayor longitud crítica, pero reduciendo el nivel de servicio del camino.

La sobreelevación, es un parámetro importante porque asegura la estabilidad del vehículo en las curvas circulares, y cuyo valor oscila entre el 6% y el 12% variando con una relación directamente proporcional con la velocidad, con el objeto de contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga y esta varía inversamente proporcional con el radio de curvatura y directamente con la velocidad. El valor óptimo de sobreelevación, es aquella que permite que el vehículo circule en equilibrio, es decir, cuando la magnitud de la fuerza centrífuga es igual a la componente del peso del vehículo paralela a la superficie; sin embargo, en la realidad se tienen incrementos de velocidad de operación superior a 20 Km. / h, lo que hace que la fuerza centrífuga se

incremento, provocando que el vehículo se salga del carril. Por lo que se adiciona un sobre ancho en la parte interior de la curva donde el radio de curvatura es menor y la fuerza centrífuga es mayor. Por el contrario, cuando el vehículo circula a bajas velocidades, especialmente vehículos pesados, la fuerza centrífuga se ve reducida y si esta es menor que la componente del peso paralela a la superficie de rodadura, el vehículo tenderá a deslizarse o volcarse hacia el centro de la curva. Estableciendo una sobreelevación máxima de 10% para los distintos tipos de terreno y velocidades de proyecto.

Como resultado final de la evaluación de todos estos parámetros de diseño geométrico aquí resumidos y expuestos en el capítulo II, y aplicando condiciones propias de los Caminos Rurales Sostenibles, se presentan los siguientes resultados que serán aplicados a un caso específico, del cual se obtendrán nuevas consideraciones que afectaran los resultados obtenidos en esta primera evaluación.

TABLA III – 1

4.1.1. Resultados obtenidos de la evaluación de los requisitos de diseño para distintas condiciones de terreno.

	TERRENO		
	PLANO	ONDULADO	MONTAÑOSO
Vehículo de diseño	DE-450	DE-450	DE-450
Velocidad de Proyecto (Km/h) :	60	50	40
Pendiente Máxima (%)	1.71	6.04	10
Pendiente Mínima (%)	0.5	-	-
Longitud Crítica	Indefinido	800	210

Ancho de rodadura en tangente (m)	6.1	6.1	6.1	
Obstáculos laterales (m)	-	-	-	
Acotamiento (m)	1.2	1.2	1.2	
Nivel de servicio	C	C	C	
Sobre ancho en curvas circulares	2.21	2.21	2.21	
Longitud mínima de transición de bombeo a sobre elevación (m)	15	15	15	
Bombeo (%)	1 a 2	1 a 2	1 a 2	
Sobre elevación máxima (%)	10	10	10	
Longitud mínima de tangentes entre curvas circulares (m)	51.51	46.74	41.97	
Distancia mínima de visibilidad de parada (m)	66	45.4	39.7	
Distancia mínima de visibilidad de rebaso (m)	270	225	180	
Radio mínimo de curvatura (m)	104.67	75.48	50.24	
Grado máximo de curvatura (°)	10.95	15.17	22.82	
Longitud mínima de curvas verticales	$K=L/A$ (cresta) ¹	10.28	4.86	3.72
	$K=L/A$ (columpio) ¹	12.4	7.46	6.09
	$L=0.6V$ (m)	35	30	24

Al aplicar esta propuesta de requisitos de diseño geométrico a un caso específico, camino desde el Cantón el Carmen a finca Desiree en el departamento de La Libertad, se obtienen los siguientes resultados:

- 1- En la propuesta 1, se mantiene el alineamiento del eje del camino existente. En el alineamiento horizontal predominan los radios de curvatura de 50 m, sólo hay una curva con radio de 40 m. En el alineamiento vertical, las pendientes van desde 11% hasta 16% y sin cambios de ascenso a descenso o viceversa. Esta propuesta persigue el

¹ L se encuentra evaluando $L=KA$ para un valor específico de A y comparando este resultado con $L=0.6V$, utilizando el mayor de los dos.

mejoramiento del alineamiento horizontal y sección transversal pero sin reducir la magnitud de las pendientes, ya que esto generaría un alargamiento del eje del camino y una mayor inversión económica

- 2- Para la propuesta No 2, se tienen pendientes entre el 9.83% y el 14%, no pudiendo sostener longitudes críticas máximas de 210 m, ya que todo el camino es por completo, de ascenso, los radios de curvatura se reducen a 25 m para la condición en la que la pendiente alcanza el valor de 9.83%, por tal motivo, la longitud del camino se ve incrementada en un 25.73% equivalente a 492.21 m, del camino, que es de 1,913 m de longitud
- 3- En la tercera propuesta, inicialmente las pendientes naturales del camino son de 11% a 16% y estas se reducen hasta llegar a un máximo valor de 9% en el alineamiento vertical, con esta mejoría se obtiene que la longitud inicial de 1913 metros tenga un alargamiento final de 3565 metros, esto equivalente a un incremento de 86%, lo que obliga a reducir los radios de curvatura de 50 metros para terreno montañoso a 25 metros, y al incumplimiento de la longitud crítica mínima de 210 metros.

4.1.2. Análisis de resultados.

Basados en la propuesta de requisitos técnicos para el diseño geométrico de caminos rurales sostenibles (tabla III-1), al aplicarlos para el alineamiento vertical en la condición de terreno montañoso, se obtiene que si se cumple la

pendiente máxima de 10% , esta provoca una restricciones para el cumplimiento de los demás parámetros del alineamiento horizontal, obligando a que los radios de curvatura se reduzcan en un 50%. Haciendo una nueva evaluación en la que se considere que la velocidad de 40 Km. / h (para terreno montañoso) se reduzca como máximo a 15 Km./ h, se obtiene el siguiente resultado:

$$F_p = \frac{\text{Pot} * e}{V} - K_R W - K_A A_V V^2$$

$$F_p = \frac{\text{Pot} * e}{V} = \frac{(111\text{HP})(0.88)}{15\text{km/h}} * \frac{(75.81\text{kg/m/s})(3600\text{s})}{1\text{HP} * 1000\text{m} * 1\text{h}}$$

$$F_p = \frac{\text{Pot} * e}{V} = 1,777.78 \text{ kg.}$$

$$K_R W = 0.01 \times 10,000 \text{ kg.} = 100 \text{ kg.}$$

$$K_A A_V V^2 = 0.006 \times 0.8 \times 2.44 \text{ m} \times 4.12 \text{ m} \times (15 \text{ km / h})^2 = 10.857 \text{ kg.}$$

$$F_p = (1,777.78 - 100 - 10.857) \text{ kg.}$$

$$F_p = 1,666.952 \text{ kg.}$$

Sustituyendo este valor en la Ec, (II – 5)

$$F_p = W \text{ sen } \gamma$$

$$\text{sen } \gamma = \frac{1666.952 \text{ kg}}{100000 \text{ kg}} = 0.16669$$

$$\gamma = 9.59^\circ$$

$$\text{Pendiente} = \tan \gamma = 0.16906 = \mathbf{16.90 \%}$$

La pendiente obtenida es un valor muy alto, que exige al vehículo de proyecto emplear toda su potencia para el ascenso, con lo que se disminuye el nivel de servicio, generando condiciones de inseguridad para el usuario que desciende, principalmente. Esto provoca incrementos en los costos de operación. Por lo cual, se propone reducir de 40 Km. / h a 20 Km. / h, hasta alcanzar la velocidad de régimen de igual magnitud. Obteniendo el siguiente resultado.

$$F_p = \frac{\text{Pot} * e}{V} - K_R W - K_A A_V V^2$$

$$F_p = \frac{\text{Pot} * e}{V} = \frac{(111\text{HP})(0.88)}{20\text{km/h}} * \frac{(75.81\text{kg/m/s})(3600\text{s})}{111\text{HP} * 1000\text{m} * 1\text{h}}$$

$$F_p = \frac{\text{Pot} * e}{V} = 1,333.33 \text{ kg.}$$

$$K_R W = 0.01 \times 10,000 \text{ kg.} = 100 \text{ kg.}$$

$$K_A A_V V^2 = 0.006 \times 0.8 \times 2.44 \text{ m} \times 4.12 \text{ m} \times (20 \text{ km / h})^2 = 19.30 \text{ kg.}$$

$$F_p = (1,333.33 - 100 - 19.30) \text{ kg.}$$

$$F_p = 1,214.03 \text{ kg.}$$

Sustituyendo este valor en la Ec, (II – 5)

$$F_p = W \text{ sen } \gamma$$

$$\text{sen } \gamma = \frac{1214.03}{10000} = 0.1214$$

$$\gamma = 6.97^\circ$$

$$\text{Pendiente} = \tan \gamma = 0.1223 = 12.23 \%$$

Tabla IV-1. Pendientes máximas correspondientes a distintas velocidades para un terreno montañoso.

Velocidad de proyecto para terreno montañoso (Km. /h)	Reducción de Veloc.	Pendiente máxima (%)
40 Km./ h (velocidad con que entra a la pendiente)	-----	4.90
	15 Km. / h	16.90
	20 Km. / h	12.23
	10 Km. / h	10.00

La máxima pendiente que un vehículo puede ascender para terreno montañoso, no es calculada con la velocidad que entra a ella (40 Km. / h) sino que a medida que avanza, en la pendiente, esta velocidad se va reduciendo hasta alcanzar valores límites establecidos en la tabla anterior y son estos valores los que se limitan las máximas pendientes admisibles.

Por tanto, reducir a una velocidad de 25 Km. / h (establecida en el capítulo II) para la condición crítica en el relieve del terreno, hace que el valor de pendiente máxima a utilizar sea de 10%, esto cambia hasta 12.23% cuando la velocidad se reduce a 20 Km. / h. Este incremento en el valor de máxima pendiente traerá como consecuencia una modificación en el radio mínimo de curvatura el cual se calcula a partir de la Ecuación II – 13.

$$S = 0.00785 \frac{V^2}{R_c} - \mu \quad \text{Ec. (II – 13)}$$

Despejando R_c . (Radio de curvatura) de la ecuación II – 13 se obtiene:

$$R_c = \frac{0.00785V^2}{S + \mu}$$

Donde: $v = 20 \text{ Km. / h}$

$$\mu = 0.15$$

$$S = 8 \%$$

El valor de sobre elevación máxima es reducido de 10% para 40Km. / h a 8% debido a que la fuerza centrífuga será minimizada. y si la componente del peso del vehículo paralela a la superficie de rodadura es mayor que la fuerza centrífuga, este podría tender a deslizarse o volcarse hacia el centro de la curva.

Evaluando se obtiene el siguiente resultado:

$$Rc. = \frac{0.00785 v^2}{S + \mu}$$

$$Rc. = \frac{0.00785 (20 \text{ Km. / h})^2}{(8/100) + (0.150)}$$

$$Rc. = 13.65 \text{ m}$$

Este valor es muy bajo por lo que se opta por evaluar para una velocidad de 25 Km. / h

$$Rc. = \frac{0.00785 (25 \text{ Km. / h})^2}{(8/100) + (0.150)}$$

$$Rc. = 21.33 \text{ m}$$

Adoptando un valor de 21.33 metros, para una pendiente máxima de 12.23%. este incremento de pendiente trae consigo una disminución de la longitud crítica de 210.0 m para una pendiente de 10% hasta 110.0 m para una pendiente de

12.23 %, estos valores se obtienen de la interpolación en las curvas de la figura I-4a para una relación peso / potencia de 90 Kg./HP

4.2. REQUISITOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO PARA CAMINOS RURALES SOSTENIBLES ESTABLECIDOS POR EL MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS.

El Ministerio de Obras Públicas establece parámetros de diseño geométrico para Caminos Rurales Sostenibles^A, que buscan satisfacer condiciones mínimas, pero no proporciona valores específicos de diseño geométrico, que garanticen el buen funcionamiento de estos.

Proponiendo los siguientes parámetros:

- El ancho de rodadura mínimo será de 5 m.
- Los radios de curvatura deberán facilitar que los vehículos circulen sin hacer maniobras de retroceso.
- Las curvas verticales tendrán una longitud mínima de 25 m.
- Mantener en lo posible el alineamiento del camino existente.

Analizando los parámetros expuestos se tiene lo siguiente:

- En sección transversal, el ancho mínimo de rodadura de 5.00 m, es una condición que se vuelve satisfactoria para bajos volúmenes de tránsito, en los que la vía se convierte por completo en un solo carril. Sin embargo, al tener un mayor volumen vehicular y terrenos escarpados

^A Viceministerio de obras públicas (1999). Especificaciones y requisitos técnicos de diseño geométrico para caminos rurales sostenibles, Pág. 80 y 81.

con pendientes mayores que el 12%, el ancho de 5 metros ya no es suficiente y el camino se vuelve más inseguro. Por lo que se propone un ancho mínimo de rodadura de 6.10 m en tangente, que mejora el nivel de servicio y reduce el riesgo de colisiones frontales.

- Los Caminos Rurales Sostenibles por su misma categoría están destinados a tener un T.P.D.A promedio de 29 vehículos pesados, lo que obliga a que el camino disponga de un radio de curvatura suficiente para que el vehículo de proyecto gire sin ejecutar maniobra de retroceso, de lo contrario se dificultaría la circulación vehicular paralizando temporalmente el tránsito, por tal razón, en los Caminos Rurales Sostenibles, en el diseño geométrico del alineamiento horizontal se propone un radio de curvatura mínimo de 50.00 metros para terreno montañoso y un sobre ancho de 2.10 metros en curvas circulares, con el fin de garantizar que el vehículo gire con libertad y que mantenga su trayectoria dentro del carril sobre el que circula, así como contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga de los vehículos que circulan a mayor velocidad. Sin embargo, en la aplicación resulta difícil el cumplimiento de 50 metros como radio mínimo y que al mismo tiempo se tenga una pendiente máxima de 10%, sin que esto no genere un alargamiento considerable del eje del camino, por lo que luego de

reevaluar en la ecuación de peso potencia, se puede reducir el radio hasta 21.33 metros y la pendiente aumentarla hasta 12.23%.

- No se establece la clasificación de los tipos de terrenos y las pendientes a cumplir de acuerdo a la configuración del terreno; en este estudio la clasificación se hace a partir de tres tipos de terrenos con sus respectivas pendientes, tal como se muestra en la siguiente tabla, la cual representa una parte de la tabla III-1.

	TERRENO		
	PLANO	ONDULADO	MONTAÑOSO
Pendiente Máxima (%)	1.71	6.04	10 *
Pendiente Mínima (%)	0.5	-	-

- En base al caso de aplicación, se demostró que esta pendiente para terreno montañoso resulta ser demasiado rigurosa para las condiciones fisiográficas del paso del camino, en la que se eligió para aplicar los requisitos de diseño geométrico; por tal motivo se decidió realizar una nueva evaluación para establecer este parámetro, obteniendo que para este tipo de terreno será óptimo desarrollar pendientes hasta de 12.23% .

4.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Del estudio realizado, las bases conceptuales en la visualización e interpretación de los caminos rurales sostenibles son las siguientes:

1. Conceptualización de caminos rurales sostenibles. Estos deben cumplir con el fin de llevar desarrollo económico, social y cultural a poblaciones

que han estado geográficamente no beneficiadas, con vías de comunicación, y las que tienen han permanecido en mal estado y que en algunos casos no se pueden transitar durante todo el año, principalmente porque se ubican en zonas con relieves fuertes (terreno montañoso), por lo que se requiere mejoramiento permanente a los caminos existentes, con inversiones relativamente bajas debido a que la causa del descuido u olvido de estas vías es la falta de financiamiento. Para los caminos rurales sostenibles de acuerdo del Ministerio de Obras Públicas, la durabilidad y el buen estado de la superficie de rodadura del camino se logra si este se construye con carpeta de concreto asfáltico o concreto hidráulico con un mantenimiento permanente dado por las poblaciones vecinas, previamente organizadas en comités para desarrollar el monitoreo y trabajos necesarios, y se tendrá una baja inversión si se respeta en lo posible la geometría existente, estos criterios tienen validez, si se consigue conciliar con la seguridad necesaria que el camino debe brindar a los usuarios. En la práctica, los proyectos que se han desarrollado como caminos rurales sostenibles no presentan mejoría notable en la geometría existente, tanto del alineamiento horizontal, alineamiento vertical y sección transversal, así, la buena o inadecuada configuración geométrica ha dependido de las condiciones existentes, tal como: el relieve de la zona, categoría que ostenta desde caminos de herradura o huella hasta vías terciarias, usos, etc., el problema es mayor

al no contar con políticas orientadas a priorizar y escoger, en base a criterios definidos, los caminos que han de convertirse en caminos rurales sostenibles. La falta de criterios definidos y el manejo político que muchas veces se hace durante el proceso desde la anteproyección hasta la construcción de gran cantidad de caminos rurales sostenibles, ha repercutido en grandes diferencias en la calidad de los mismos, de ahí la necesidad de establecer requisitos de diseño geométrico más específicos que puedan definir su calidad y categoría. Conceptualmente, tratando de abarcar los propósitos perseguidos al crear el programa de caminos rurales sostenibles pero reparando las deficiencias técnicas y de concepción y visualizándolos desde un punto de vista más integral, éstos se definen así: "Caminos rurales sostenibles son aquellos en que se mejora los caminos existentes, proporcionando una superficie de rodadura durable (los materiales establecidos son concreto asfáltico y concreto hidráulico), donde se debe conciliar un bajo costo de proyecto con la seguridad que se debe proporcionar a los usuarios, esto significa que cuando se tengan condiciones extremas en el relieve o en la geometría del camino existente y la inversión necesaria para cumplir con los requisitos propuestos teóricamente, tabla III-1 no sea justificada por los beneficios sociales que se obtengan. Algunos de esos parámetros se pueden sacrificar al prever con un análisis las recomendaciones que

pueden disminuir los riesgos en la seguridad de los usuarios y los costos de operación de los vehículos”.

2. **Mejoramiento.** El mejoramiento de la superficie de rodadura de un camino puede brindar mejor comodidad y asegurar un tránsito permanente y continuo, pero si no se toma en cuenta la geometría podría elevarse el riesgo de accidentes y tener implicaciones negativas en la capacidad y niveles de servicio de la vía. El mejoramiento entonces, debe hacerse bajo una visión integral que comprenda : funcionalidad, seguridad, durabilidad y bajo costo, en tanto que el mejoramiento solamente de la superficie de rodadura no puede considerarse como un mejoramiento del camino en general.
3. **Sostenibilidad.** La sostenibilidad está asociada con la durabilidad de la superficie de rodadura y con el mantenimiento a través de un monitoreo constante a través de comités o directivas comunales de las poblaciones adyacentes a las vías, organizados para esas labores. Sin embargo, esto último es difícil de realizar debido a lo siguiente:
 - 1- Falta de apoyo del gobierno, ya que este sólo se encarga de organizar los comités, sin darles continuidad y apoyo económico.
 - 2- El beneficio de los caminos rurales sostenibles a las poblaciones adyacentes, no es exclusivo para ellas y por lo tanto estas no consideran un compromiso su mantenimiento aportando recursos y sin recibir honorarios.

- 3- El desarrollo político tiene mucho que ver en el planteamiento de la sostenibilidad de estos caminos, pues se trata de presentar como un hecho válido el uso de comités, sin tener la base técnica mínima que asegure la eficacia de este método.

4.4. CONCLUSIONES

En poblados con accesos difíciles en cuanto a morfología del terreno, la aplicación de los requisitos a cumplir evaluados teóricamente, para convertir el camino existente en camino rural sostenible (tabla III-1), hay limitantes económicas y técnicas en cuanto a su aplicación y cumplimiento ya que si se diseña cumpliendo los requisitos propuestos, los costos se elevan demasiado, y no se puede conservar la geometría existente por las condiciones de inseguridad que ofrecería a los usuarios.

El eje del camino existente se puede sostener o no, a partir de la seguridad y economía, revisándolo con el método de la línea de peio a tierra para sustentar la geometría del alineamiento horizontal, alineamiento vertical y la relación peso/potencia.

El perfil del eje del camino da las pautas para verificar las pendientes del alineamiento vertical, si éstas son mayores que las pendientes aceptables, tabla III-1, el diseño no se apega al eje existente; sin embargo, se debe

considerar la posibilidad de dar seguridad al usuario sacrificando el alineamiento vertical así como toda la geometría existente.

En terreno donde se debe proyectar toda la longitud en ascenso, aunque se cumplan las pendientes, la longitud crítica no se cumple, debiendo los vehículos operar con la velocidad de régimen.

Con cambios del eje de proyecto, respecto al alineamiento existente, se generan: alargamientos del tramo existente, adquisición de terrenos para el paso del nuevo eje, adaptación geométrica de más costo aunque se mejoren los parámetros de diseño, y por ende se provea una adecuada seguridad a los usuarios.

El beneficio social de mejorar un camino algunas veces podrís no justificar altas inversiones de proyecto; entonces, si se generan beneficios parciales, se está sacrificando razonadamente la seguridad de los usuarios y la operación de los vehículos.

Un factor importante y determinante en el cumplimiento de los requisitos de diseño en terrenos de montaña es la cercanía entre núcleos de población, que representan puntos obligados por donde debe pasar el camino, generando una

limitante para el trazo de alternativas del eje, con el método de línea de pelo a tierra.

4.5. RECOMENDACIONES

Para convertir un camino en camino rural en camino rural sostenible es necesario hacer un análisis de prefactibilidad para tener una estimación de las condiciones críticas tales como: pendientes elevadas, derechos de vía angostos, riesgo de inundaciones, etc, que pueden ser condicionantes para desarrollar el proyecto.

El mantenimiento de los caminos rurales sostenibles se podrá hacer empleando comités y directivas comunales, se debe hacer de forma sistematizada y con un apoyo económico mínimo que consista en proveer los recursos materiales.

Al predominar las dificultades en el cumplimiento de pendientes establecidas, se pueden dar soluciones considerando las pendientes máximas que se pueden adoptar en función de un análisis de relación peso/potencia.

El eje del camino en terreno montañoso, al verificarse con el método de la línea de pelo a tierra, se debe tener en consideración los costos que pueden ser de aumentos.

CAPITULO V

**PROPUESTA DE REQUISITOS PARA EL
DISEÑO GEOMÉTRICO DE CAMINOS
RURALES SOSTENIBLES.**

5.1. INTRODUCCIÓN.

Los requisitos de diseño geométrico para caminos rurales sostenibles en su aplicación, están sometidos a diversidad de condiciones por el estado en que se pueden encontrar los caminos a ser mejorados, los tipos de relieve en que se ubiquen y la inversión económica que se pueda hacer; es por eso que se da un marco de referencia en relación a los resultados que se presentan con el propósito que al ser utilizados se tenga en cuenta un contexto amplio que ayude a mejorar la interpretación y uso de éstos en la práctica. Se tienen en cuenta lo siguiente:

5.2. Requisitos propuestos para diseño geométrico de los caminos rurales sostenibles.

El vehículo de diseño establecido es un DE-450 cuyas características se definen en la tabla II-1b, este vehículo representa a camiones de dos ejes y a los autobuses, pero en algunos casos, las características del tránsito pueden variar, para lo cual, se debe hacer una proyección del mismo y diseñar el camino para los vehículos cuyas características exijan una geometría que favorezca a la mayoría de estos y que tengan representatividad en el flujo vehicular, considerándose entonces la propuesta, como los requisitos mínimos que se deben cumplir.

La máxima pendiente en la que un vehículo puede ascender depende de su relación peso potencia, sin que este emplee toda su potencia disponible para realizarlo, considerando que este asciende cuando la fuerza tractiva es mayor

que las fuerzas de resistencia que se oponen al movimiento y estableciendo que la velocidad varía inversamente proporcional con la pendiente, y esta inversamente proporcional con la longitud crítica. La velocidad para terreno montañoso de 40 Km / h, se va reduciendo hasta alcanzar la velocidad de régimen de 20 Km./ h , permitiendo que la máxima pendiente aumente de 10% a 12% , trayendo como consecuencia una reducción en la longitud crítica de 210 m a 110. m.

Al alineamiento horizontal, lo afectan las condiciones fisiográficas, las cuales a través del alineamiento gobernarán las pendientes que tendrá el camino, observándose que para pendientes con un porcentaje de inclinación fuerte se cumple con los requisitos del alineamiento horizontal, en lo que se refiere a los radios de curvatura; para pendientes con grados de inclinación suaves el alineamiento horizontal aumenta su longitud, al mismo tiempo tiende a reducirse los radios de curvatura de 50 m a 25 m, en la práctica, a pesar que se permitan estos cambios para la conformación del camino deberá tenerse presente que no habrá que descuidar la seguridad que el camino deberá ofrecer al usuario.

El ancho de rodadura de 6.10 m, 3.05 m por carril, se definió especificando un nivel de servicio C, en que deben operar los Caminos Rurales Sostenibles al final de 20 años. Un nivel de servicio C aunque no ofrezca las mejores condiciones de seguridad y operación, garantiza un flujo continuo y sin saturación, pero con ciertas restricciones en la facilidad para efectuar maniobras, así como la elección de la velocidad con la que se desplazara el

usuario. En los primeros años de operación, el nivel de servicio será mayor que un nivel C, pero tomando en cuenta que se cumplen los parámetros establecidos y que tienen incidencia en el nivel de servicio, estos son: las pendientes, la longitud crítica, el ancho de rodadura en tangente, sobreechancho en curvas circulares, distancia mínima de visibilidad de rebase, y el radio de curvatura.

El radio mínimo para curvas horizontales en terreno montañoso ($R_c = 40\text{m}$) fue definido para una velocidad de 40 km/h, para el caso de pendientes sostenidas en que los vehículos están obligados a circular con la velocidad de régimen, se demostró que el radio mínimo de curvatura puede ser de 25.0m.

Para las curvas verticales se especifican las relaciones de longitud de la curva a la diferencia de las pendientes de entrada y de salida ($K=L/A$) tanto para curvas en cresta como para curvas en columpio, pero al evaluar la longitud de una curva vertical para un valor específico de A (diferencia de pendientes), el resultado debe compararse con un valor límite que corresponde a 0.6 veces la velocidad de diseño, debiendo usar el mayor.

Así, se presenta a continuación (Tabla V-1), el resumen de los requisitos de diseño geométrico propuestos para caminos rurales sostenibles con sus comentarios y consideraciones:

5.3. Tabla V-1. Propuesta final de requisitos técnicos de Diseño Geométrico para Caminos Rurales Sostenibles.

PARÁMETROS	TERRENO			
	PLANO	ONDULADO	MONTAÑOSO	
Vehículo de diseño	DE-450	DE-450	DE-450	
Velocidad de Proyecto (Km/h)	60	50	40	
Pendiente Máxima (%)	2	6	10 ^º	
Pendiente Mínima (%)	0.5	-	-	
Longitud Crítica (m)	Indefinido	800	210 [§]	
Ancho de rodadura en tangente (m)	6.1	6.1	6.1	
Obstáculos laterales (m)	0.6	0.6	0.6	
Nivel de servicio	C	C	C	
Sobreancho en curvas circulares (m)	2.21	2.21	2.21 [¶]	
Longitud mínima de transición de bombeo a sobreelevación (m)	15	15	15	
Bombeo (%)	1 a 2	1 a 2	1 a 2	
Sobreelevación máxima (%)	10	10	10	
Longitud mínima de tangentes entre curvas circulares (m)	50	45	40	
Distancia mínima de visibilidad de parada (m)	66	45	40	
Distancia mínima de visibilidad de rebase (m)	270	225	180	
Radio mínimo de curvatura (m)	105	75	50 [*]	
Grado máximo de curvatura (º)	10.95	15.17	22.82	
Longitud mínima de curvas verticales	$K=L/A$ (cresta) ¹	10.28	4.86	3.72
	$K=L/A$ (columpio) ¹	12.4	7.46	6.09
	$L=0.6V$ (m) ¹¹	35	30	24

^º En base a un análisis de la relación peso/potencia de este requisito se determinó que para condiciones de relieve fuerte se aceptará una pendiente máxima de 12%

[§] Para relieves fuertes al aumentar el valor requerido para la pendiente máxima, la longitud crítica se reduce a 110 m.

[¶] Este valor se podrá aumentar hasta en un 50% para radios de curvas menores de 50 m.

^{*} En terrenos cuyas pendientes obliguen a los vehículos a viajar a la velocidad de régimen, el radio mínimo de curvatura, podrá ser de 25.0 m.

¹ L se encuentra evaluando $L=KA$ para un valor específico de A y comparando este resultado con $L=0.6V$, utilizando el mayor de los dos.

¹¹ Esta debe ser en todo caso la longitud mínima para curvas verticales

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1. CONCLUSIONES

Los caminos rurales sostenibles actualmente conceptualizados no son claros en requisitos de diseño que especifiquen el proyecto Geométrico, debiendo los proyectistas apoyarse en los requisitos de diseño geométrico establecidos para las otras vías, principalmente para terciarias, teniendo como consecuencia, diferencias en la configuración geométrica y calidad de los mismos. Los requisitos mínimos para diseño geométrico de caminos rurales sostenibles, establecidos por el Ministerio de Obras públicas, no cumple con la seguridad que se debe brindar a los usuarios, los cuales perciben las limitaciones al circular en caminos con deficiencias de funcionamiento.

La aplicación en un caso específico de los requisitos para el diseño de caminos rurales sostenibles evaluados en la investigación (tabla III-1) da la pauta para: analizar los resultados, readecuar algunos parámetros, y concluir en una propuesta más realista en la que se tome en cuenta las condicionantes y los valores límites que se pueden usar.

En la propuesta de requisitos técnicos para el diseño geométrico de los caminos rurales sostenibles (Tabla V-1) se tiene como prioridad la seguridad, debido a eso en terrenos con relieve muy pronunciada, cumplir estos requisitos repercute sensiblemente en los costos, por lo que alternativamente se dan valores límites que se pueden usar en esos casos.

La concepción de caminos rurales sostenibles a partir del estudio hecho debe ser:

“Son aquellos en que se mejora los caminos existentes, proporcionando una superficie de rodadura durable (los materiales establecidos son concreto asfáltico y concreto hidráulico), donde se debe conciliar un bajo costo del proyecto con la seguridad que se debe proporcionar a los usuarios y se debe cumplir los requisitos de diseño geométrico propuestos en el capítulo V (tabla V-1) atendiendo los valores límites que se pueden usar y las recomendaciones que se dan para casos críticos como el ilustrado en la aplicación hecha. La sostenibilidad dependerá de la calidad de la superficie de rodadura y del mantenimiento proporcionado por el Ministerio de Obras Públicas, comités y directivas comunales adyacentes al camino, con apoyo organizacional y económico del gobierno”.

6.2. RECOMENDACIONES.

Revisar que los parámetros propuestos en la tabla V-1 para terreno plano y ondulado cumplan, ya que el estudio del caso de aplicación se realizó para la condición más problemática de control de pendientes y radios de curvatura, lo cual ocurre en terreno montañoso.

Para tipos de terrenos que presenten relieves fuertes y en el cual se imposibilite aplicar los requisitos de diseño geométrico, se deberá estudiar la posibilidad de cambiar la concepción de Caminos Rurales Sostenibles a una concepción que se ajuste de mejor manera a las condiciones fisiográficas de la zona, esto es, caminos de montaña.

Impulsar un plan de conteos de tránsito, control de velocidades y accidentes, permanentemente con el fin de establecer el nivel en el que se encuentren funcionando los Caminos Rurales Sostenibles, en base a lo cual, realizar modificaciones pertinentes.

Dar mejor seguimiento a los comités creados para dar mantenimiento de los Caminos Rurales Sostenibles, así como impulsar una política de concientización a la población relativa a que el mantenimiento es necesario para que el camino ofrezca la mayor comodidad y seguridad así como cumplir la mayor parte de su vida útil.

El mejoramiento de la superficie del camino con una carpeta de rodadura de concreto asfáltico o hidráulico, vuelve a la vía en un camino transitable en toda época del año; sin embargo, esta mejora debe estar acompañada de un plan de monitoreo y mantenimiento por parte del estado, y no sólo dejar a la comunidad encargada de dicha actividad.

Es necesario hacer una evaluación posproyecto de cada camino rural sostenible, para poder conocer de manera realista su funcionamiento, esto servirá para poder hacer mejoras al camino mismo y también a los que se vayan proyectando.

BIBLIOGRAFÍA

1. Viceministerio de Obras Públicas, (1999). Especificaciones Técnicas y Requisitos Técnicos de Diseño para Caminos Rurales Sostenibles. El Salvador
2. Secretaría de Obras Públicas, (1977). Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. México.
3. Reyes Ramos, Carlos Armando, et Al, (1990). Diagnóstico sobre la Tecnología Utilizada en el Diseño y Construcción de Vías terrestres. Trabajo de Graduación Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad El Salvador.
4. Carciente, Jacob, (1965). Estudio y Proyecto de Carreteras, primera edición. Ediciones de la Biblioteca. Caracas, Venezuela.
5. Granados de León, et Al, (1982). Análisis de Capacidad y Niveles de Servicio en Carreteras Rurales de dos Carriles de la República de El Salvador. Trabajo de Graduación Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad El Salvador.
6. Ministerio de Obras Públicas, (1976). Programa de Caminos Rurales. Primera edición. El Salvador.
7. Etcharren Gutierrez, Rene, (1969). Manual de Caminos Vecinales, Primera edición, Asociación mexicana de Caminos, A.C. y Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A., México.
8. De Corral – Manuel, (2000). Topografía de Obras. Segunda edición, Alfaomega grupo editor, S.A de C.V., Barcelona- España.

9. Ley de Carreteras y Caminos Vecinales. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Caminos, 1969, El Salvador, Centro América.
10. Cuellar, Enrique. 1960. Ingeniería de Carreteras. 1ª Edición, Editorial Universitaria, San Salvador.
11. Geografía de El Salvador, San Salvador, gobierno de El Salvador, 1986, primer tomo.
12. Mapa de Levantamiento General de Suelos, República de El Salvador.

ANEXOS

LEY DE CARRETERAS Y
CAMINOS VECINALES

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS
EL SALVADOR, C. A.

DIARIO OFICIAL.—SAN SALVADOR, 22 DE OCTUBRE DE 1949.

El Presente Decreto se publica nuevamente por haber salido errado en el Diario Oficial N° 189. Tomo 225 de fecha 13 de los corrientes:

DECRETO N° 463.

LA ASAMBLEA LEGISLATIVA DE LA REPUBLICA DE EL SALVADOR,

CONSIDERANDO:

- I—Que el actual régimen jurídico sobre carreteras y caminos públicos, ya no responde al auge que ha tomado la construcción de éstos, por lo que es de urgente necesidad dictar, en la medida que el incremento económico, agrícola o turístico del país lo demandan, las disposiciones que tienden a regular la construcción y mantenimiento de las vías públicas así como su conservación y desarrollo;
- II—Que además es conveniente legislar sobre el uso de las mismas vías en lo que respecta a la instalación de anuncios u otras obras con fines de publicidad, lo cual debe hacerse conforme principios de orden técnico como medida eficaz para la prevención de accidentes;
- III—Que de igual manera se hace necesario dictar normas que regulen la construcción de edificios u otras obras que se levanten en propiedades limítrofes con las mismas vías.

POR TANTO.

en uso de sus facultades constitucionales y a iniciativa del Presidente de la República, por medio del Ministro de Obras Públicas,

DECRETA la siguiente,

LEY DE CARRETERAS
Y CAMINOS VECINALES

ANEXO I

TITULO UNICO

CAPITULO I

OBJETOS Y DEFINICIONES

Art. 1.—Las vías terrestres de comunicación y transporte de la República se clasifican en carretera, caminos vecinales o municipales y calles. La presente Ley tiene por objeto regular lo relativo a la planificación, construcción y mantenimiento de las carreteras y caminos, así como su uso y el de las superficies inmediatas a las vías públicas.

Las calles siguen sujetas al régimen legal bajo el que se encuentran actualmente.

Art. 2.—Para los efectos de esta ley, se consideran carreteras las vías cuyo rodamiento las hace de tránsito permanente; su planificación, construcción, mejoramiento y conservación corresponde al Poder Ejecutivo en el Ramo de Obras Públicas.

Art. 3.—Atendiendo a su importancia y características geométricas las carreteras se subdividen en:

► Especiales, que son todas aquellas que reúnen condiciones geométricas superiores a las primarias.

► Primarias, las capacitadas para intensidades de tránsito superiores a dos mil vehículos promedio por día; con doce metros de plataforma, siete metros treinta centímetros de rodaje y un mínimo de siete metros noventa centímetros de rodaje en los puentes.

► Secundarias, las capacitadas para intensidades de tránsito comprendidas entre quinientos y dos mil vehículos promedio por día, con nueve metros cincuenta centímetros de plataforma, seis metros cincuenta centímetros de rodaje y un mínimo de siete metros cuarenta centímetros de rodaje en los puentes;

► Terciarias, aquellas cuya intensidad de tránsito está comprendida entre cien y quinientos vehículos promedio por día, con seis metros de plataforma, revestimiento de materiales locales selectos y un mínimo de seis metros cincuenta centímetros de rodaje en los puentes; y

Rurales, las capacitadas para una intensidad de tránsito de cien vehículos promedio por día, con cinco metros de plataforma y un mínimo de tres metros de rodaje en los puentes; o que, sin llenar tales características, dicha carretera haya sido construida por el Gobierno Central.

Art. 4.—Caminos vecinales o municipales son aquellos que no estando comprendidos en la clasificación del artículo anterior, comunican villas, pueblos, valles, cantones o caseríos entre sí o conectan éstos con cualquier carretera, su construcción, mejoramiento y conservación corresponde a la Municipalidad de la respectiva jurisdicción.

Art. 5.—Para los fines perseguidos por esta ley debe entenderse por:

a) Derecho de vía, el área destinada al uso de una vía pública comprendida entre los límites que le sirven de linderos o con las propiedades adyacentes;

b) Límite de propiedad, la línea que separa el área sobre la que se ejerce el derecho de vía, con los fundos adyacentes;

c) Zona de retiro, el espacio abierto no edificable comprendido entre el límite de propiedad frente a la vía pública y la línea de construcción; y

d) Línea de construcción, es la que delimita la zona de retiro con el área a partir de la cual es permitido construir.

Art. 6.—Todos los terrenos ocupados por las vías públicas deberán ser propiedad del Estado.

Art. 7.—Las carreteras podrán ascender de categoría, siempre que el desarrollo integral de la zona geográfica y la intensidad de su tránsito lo justifique, extremos que deberán ser comprobados mediante estudios técnicos que verificará al respecto la Dirección General de Caminos.

Art. 8.—No podrán restringirse las características geométricas de las vías públicas, pero en casos especiales y cuando las necesidades lo demanden, el Ministerio de Obras Públicas decidirá lo que convenga, previo informe de la oficina respectiva.

Art. 9.—Corresponde al Ministerio de Obras Públicas, por medio de la oficina respectiva, efectuar los estudios técnicos necesarios, cuando se tratare de establecer impuestos de peaje o pontazgo.

CAPITULO II

PLANIFICACION VIAL

Art. 10.—El Ministerio de Obras Públicas por medio de sus oficinas respectivas tendrá a su cargo la planificación, diseño, construcción, mejoramiento, conservación y señalamiento adecuado de las carreteras.

Art. 11.—Los proyectos de inversión para la realización de las obras mencionadas en el artículo anterior deberán ser objeto de una planificación previa que seguirá los lineamientos del desarrollo integral del país.

Art. 12.—A fin de llevar a cabo los estudios técnicos necesarios para la apertura, conservación o mejoramiento de las carreteras o caminos vecinales, los poseedores o propietarios de los fundos afectados deberán facilitar el acceso a los encargados de llevarlos a cabo y si tales estudios causaren algún daño, los afectados serán indemnizados de conformidad con la ley.

Art. 13.—Cuando por razones de previsión en el desarrollo vial deba establecerse una zona de retiro, tal zona se demarcará en el fundo afectado y el propietario permanecerá en posesión de la misma, sin poder construir en ella. El Estado indemnizará al propietario por lo que utilice cuando necesitare dicha zona o parte de ella.

Art. 14.—Para señalar línea de construcción, cuando existan estudios que fijen o permitan estimar razonablemente la posición de la línea de centro que debe tener finalmente una carretera o camino, los elementos de la sección transversal deberán referirse a esa línea de centro. Si no puede obtenerse tal información se usará la situación aproximada de la línea de centro de la carretera o camino, existente en planta.

Art. 15.—El derecho de vía y la zona de retiro serán fijados en los respectivos proyectos elaborados por la oficina respectiva, o en su defecto, se establecerán por lo que señalen las normas de construcción que la citada oficina aplique regularmente y aun por el uso normal que se ejerza sobre el terreno.

CAPITULO III

DEL USO DE LAS VIAS PUBLICAS

Art. 16.—Por razones de seguridad y conveniencia pública el Ministerio de Obras Públicas por medio de la oficina respectiva especificará cuales serán las carreteras para uso exclusivo de vehículos automotores. Los peatones deberán caminar por los hombros de las carreteras, o por los lugares de seguridad que dicho Ministerio indique.

Art. 17.—Es atribución del Ministerio de Obras Públicas a través de la oficina respectiva, reglamentar la forma en que deben transitar los vehículos por las carreteras y caminos públicos del país, atendiendo a su peso y distribución de éste por ejes y llantas, independientemente del control que debe ejercer sobre su carga máxima.

Art. 18.—Las velocidades mínimas y máximas a que podrán transitar los vehículos automotores en las carreteras o caminos, serán fijadas por la oficina respectiva del Ministerio de Obras Públicas, atendiendo a las condiciones geométricas de éstos.

La Dirección General de Policía velará porque se cumplan las disposiciones que se adopten al respecto.

Art. 19.—El acceso de peatones a las vías de circulación de vehículos podrá ser prohibido cuando por razones de seguridad así se requiera.

En tal caso, se dará las facilidades necesarias para que el tránsito de peatones pueda efectuarse sin interferir con el de los vehículos.

Art. 20.—No se permitirá que ganado vacuno, porcino, caballar o de otra clase, ambule o deambule por las vías públicas.

En caso de infracción se impondrá al propietario o a la persona que por cualquier título los posea, una multa de CINCO COLONES por cabeza la primera vez; la segunda vez se casti-

gala al infractor con una multa de DIEZ COLONES por cabeza y las ulteriores infracciones será castigado con QUINCE COLONES cada uno.

Las sanciones a que se refiere el inciso anterior serán impuestas gubernativamente por el Alcalde Municipal del lugar donde ocurriere la infracción.

Art. 21.—No se permitirá la conducción arreada de ganado vacuno, porcino, caballar o de otra clase por las carreteras o zonas que señale el Ministerio de Obras Públicas por medio de la oficina respectiva. No obstante, se permitirá dicha conducción cuando se haga en partidas de ganado no mayores de veinticinco animales, siempre que sean arreados con la debida precaución.

Art. 22.—En caso de accidente o daño, ocurrido en una vía pública a personas o bienes, debido a ganado ambulante o arreado sin la precaución debida, se presumirá legalmente responsable del mismo para la reparación del daño causado al propietario o a la persona que por cualquier título lo posea.

Art. 23.—Los propietarios de establos inmediatos a las carreteras o caminos públicos, están obligados a proteger en los cruces las secciones de los mismos por donde pase el ganado en su movimiento diario, con empedrados o por cualquier otro medio adecuado.

Art. 24.—En las señales de tránsito no podrán colocarse anuncios o rótulos. Se prohíbe la instalación de los mismos cuando puedan confundirse con postes marcadores, avisos, placas de prevención y otras señales de tránsito colocadas a lo largo de las vías.

Art. 25.—Toda persona natural o jurídica, de cualquier naturaleza que fuere, que desee colocar por su cuenta señales de tránsito, debe obtener previamente la aprobación de la oficina respectiva, acompañando para el efecto con la solicitud, los diseños correspondientes y ofreciendo cumplir con los requisitos que exige la presente ley.

Art. 26.—No se permitirá la instalación de anuncios o rótulos, dentro del derecho de vía, ni sobre señales de tránsito, postes de servicio público, cordones, puentes, alcantarillados, árboles, rocas, piedras y muros en cuanto estén comprendidos dentro del derecho de vía; ni sobre el pavimento de las vías públicas y en todas las obras auxiliares construidas en ellas.

Art. 27.—En el derecho de vía se prohíbe:

a) Botar basura, escombros o cualesquiera materiales de desecho;

b) Dejar abandonados cualesquiera clase de vehículos o partes de los mismos maquinaria o cualquier aparato o artefacto que pueda estorbar el tránsito;

c) Depositar materiales de construcción, salvo que sea para construir o reparar las carreteras, caminos; leña u otros artículos, lo mismo que secar arroz, maíz u otras semillas;

d) Instalar aparatos mecánicos para diversión y ventas de golosinas u otra clase de artículos;

e) Hacer mezclas de concreto u otras semejantes, salvo que sea para construir o reparar los caminos o carreteras;

f) En general, ejecutar todo acto que pueda originar o constituir un estorbo para el libre tránsito, tales como reunión de personas, construcciones temporales o definitivas destinadas a cualquier objeto.

Art. 28.—La contravención a lo dispuesto en los cuatro artículos anteriores, así como la destrucción o daño a las señales viales instaladas, hará incurrir al infractor en una multa de diez a cien colones aplicables y exigibles gubernativamente por la Dirección General de Caminos, sin perjuicio de la responsabilidad penal en que incurra el infractor.

Art. 29.—Toda obra o instalación relacionada con un servicio público que deba realizarse dentro del derecho de vía y que estorbe el libre tránsito, así como toda obra de reparación o mantenimiento de la vía misma, deberá hacerse notar mediante anuncios suficientemente visibles de día y de noche, colocados a una distancia razonable de los trabajos.

La persona encargada de la dirección inmediata de las obras o instalaciones mencionadas, será responsable de los daños y perjuicios que por falta de los referidos anuncios se causaren en la propiedad o en la persona de los que transitan por esos lugares. Todo sin perjuicio de la responsabilidad penal a que hubiere lugar.

Al concluirse los trabajos deberá dejarse la vía en condiciones normales de servicio, a juicio de la oficina respectiva.

Art. 30.—Cuando para construir, ampliar, rectificar o reparar una vía pública fuere necé-

sario demoler una edificación, adquirir la totalidad o alguna parte de un predio, bancos de piedra balastre, arena u otro material de propiedad particular, se obtendrá previamente la anuencia del propietario o se adquirirán las cosas de acuerdo con lo establecido en la Ley de Expropiación y de Ocupación de Bienes por el Estado.

Art. 31.—Las líneas férreas podrán ser cruzadas a nivel o en cualquier otra forma, por carreteras, caminos, canales o drenajes, debiendo tales obras ser construidas con la técnica necesaria a fin de garantizar la debida seguridad para los vehículos que transiten por dichos cruces; tales obras serán aprobadas por la Oficina respectiva.

Art. 32.—Las estaciones de servicio de combustible deberán tener dentro del área de su propiedad y fuera de la zona de retiro la sección de estacionamiento de vehículos; los propietarios o arrendatarios de las mismas, estarán obligados a reparar por su cuenta el tramo de vía que resultare dañado frente al negocio y como consecuencia de éste, a satisfacción de la oficina respectiva.

Art. 33.—Ningún establecimiento comercial o industrial podrá ocupar el derecho de vía para su propio servicio, o el de los particulares que lo requieran, siempre en relación al servicio específico que presten tales establecimientos.

Art. 34.—Los postes utilizados en la transmisión de energía eléctrica y los que soporten telegráficos o telefónicos, no podrán colocarse a más de dos metros de distancia de la propiedad, dentro del derecho de vía. Cuando las condiciones topográficas del terreno no permitan colocarlos dentro de la distancia indicada deberá oírse previamente a la oficina respectiva la cual resolverá lo conveniente.

Los postes que obstaculicen futuras ampliaciones de carretera o caminos, estén o no colocados dentro del límite establecido por este artículo, deberán ser trasladados a otro lugar en cuanto se produzca requerimiento de la oficina o de la Municipalidad respectiva, según se trate de una carretera o de un camino vecinal.

Los conductores de energía eléctrica, pendientes de postes que atraviesen una vía pública, deberán suspenderse a una altura mínima

de seis metros sobre la rasante de esta, y protegerse por medio de redes o emplearse cualquier sistema que garantice una pronta suspensión de la energía eléctrica en caso de que dichos conductores, sufrieren ruptura, debido a accidente de tránsito o de otra naturaleza. Tal protección será a costa de los propietarios de esas líneas de conducción de energía eléctrica

Art. 35.—Cuando por razones de servicio sea necesaria la remoción o traslado de los postes mencionados en el artículo anterior, se notificará a la institución o empresa correspondiente para que lleve a cabo la obra por su cuenta, dentro de un plazo que será fijado por la oficina o la Municipalidad respectiva, según el caso.

Art. 36.—Las aguas lluvias, las de ríos y las que corren por cauces naturales podrán ser aprovechadas de conformidad al Código Civil, pero en ningún caso se permitirá que a consecuencia de las obras que se construyan para su aprovechamiento se ocasionen daños en las carreteras o caminos.

Art. 37.—Toda obra de instalación de acueductos, bocatomas, cauces de salida, dirección de aguas sobrantes, derrames de predio, canales de desagüe, acequias u otros trabajos de la misma índole, ya se trate de aguas negras pluviales, potables o servidas, que en alguna forma pueda afectar el derecho de vía, deberá ser autorizada previamente por la oficina respectiva o Municipalidades en su caso, con vista de los planos de los respectivos proyectos.

Tales obras sólo podrán ser autorizadas si no causan ningún daño a la vía pública la cual deberá mantenerse por el que las construye, en condiciones normales de servicio mientras dure la ejecución del trabajo.

Las obras a que se refiere este artículo realizadas con anterioridad, deberán llenar los mismos requisitos que aquí se imponen, debiendo ocurrir los interesados a la oficina o a la Municipalidad correspondiente con los planos respectivos, para su aprobación dentro de los seis meses posteriores a la vigencia de esta ley. En caso de incumplimiento le serán aplicables las sanciones respectivas.

Art. 38.—Los propietarios o tenedores a cualquier título de bienes raíces, están obligados a recibir y dejar correr dentro de sus pre-

dios, las aguas lluvias que desalojen las vías públicas cuando así lo determine el desnivel del terreno. Asimismo estarán en la obligación de mantener limpios y libres de obstáculos los desagües de la vía que aparten las aguas pluviales o sus predios.

Para la construcción, mejoramiento y conservación de los desagües en las vías públicas, los organismos competentes tendrán libre acceso a los fundos particulares, debiendo dar aviso con la debida anticipación al propietario, poseedor u ocupante, salvo el caso de emergencia. Los desagües deberán ser construidos en forma y a distancia tales que permitan una equitativa distribución de las aguas lluvias entre los distintos fundos adyacentes a las vías públicas.

Art. 39.—Cuando ocurrieren derrumbes u otros daños en alguna vía pública, los vecinos del lugar están en la obligación de dar aviso lo más pronto posible a la autoridad inmediata, la cual a su vez queda obligada a comunicarlo con la urgencia debida a la oficina respectiva o a su Delegado más cercano; en caso de que los derrumbes o daños tuvieran lugar en un camino vecinal, el aviso se dará al Alcalde Municipal respectivo.

Art. 40.—Sobre las vías públicas no se permitirá arrastrar ningún objeto que pueda causar daño en la carretera, ni el tránsito de maquinaria tales como: tractores, remolques, equipo agrícola, industrial u otro semejante que su rodamiento esté provisto de cremallones, dientes y otros similares, a menos que tales cremalleras o dientes estén protegidos por bandejas de hule u otro material que garantice el tránsito del vehículo sin daño a la carretera.

Asimismo se prohíbe el tránsito por carreteras pavimentadas, de vehículos de tracción humana o animal provistos de ruedas metálicas, así como el de cualquier vehículo que contravenga las disposiciones contenidas en el Acuerdo Centroamericano sobre circulación por carreteras. Exceptúase esta prohibición en aquellos tramos de carretera en que dichos vehículos no puedan transitar por otro lugar.

Art. 41.—Es absolutamente prohibido cerrar, obstruir o desviar toda clase de caminos o carreteras abiertas al servicio público; lo mismo que levantar obras o estrechar la vía; hacer excavaciones y derramar aguas en el espa-

cio ocupado por ellos. El que infringiere esta disposición está obligado a reparar el daño causado o a pagar el costo de dicha reparación, y se le impondrá además, una multa de veinticinco a quinientos colones.

Art. 42.—El Ministerio de Obras Públicas por medio de la oficina respectiva o la Alcaldía Municipal correspondiente conocerá de lo dispuesto en el artículo precedente, el cual podrá actuar a instancia de parte o de oficio; el Ministerio al tener conocimiento por cualquier medio de la infracción cometida, lo hará saber a la parte denunciada para que dentro de tercero día exponga los motivos que le asisten; con la contestación o sin ella, se practicará inspección en el lugar de los hechos previa citación de los interesados; si fuere necesario se abrirá

el juicio a pruebas por ocho días, para recoger las que se viertan; y con base en ellas se resolverá dentro de tres días, lo que fuere procedente.

Lo resuelto se notificará a las partes, quienes podrán apelar dentro del tercero día para ante el Ministerio de Obras Públicas. Si la resolución final fuere desfavorable al demandado, se prevendrá a éste que dentro de un plazo prudencial, restablezca el camino a su anterior forma, dirección y estado. Si pasado el término concedido no se cumpliera la prevención indicada, lo hará la oficina o la Alcaldía respectiva a costa del demandado.

Para el cumplimiento de la resolución que se dictare se solicitará si fuere necesario la intervención de las fuerzas de seguridad pública.

Lo dispuesto en este artículo no es aplicable en los casos a que se refiere el Art. 185 Pn.

CAPITULO IV

DEL USO DE LOS FUNDOS ADYACENTES O PROXIMOS A LAS VIAS PUBLICAS

Art. 43.—Cuando por la expansión territorial de una ciudad o población, parte de la carretera o camino existente quedare dentro de la zona urbana, deberá respetarse como mínimo el derecho de vía de dicha carretera.

Art. 44.—Al proyectarse cualquier clase de construcción en las zonas adyacentes a una carretera o camino vecinal, deberá solicitarse pre-

viamente y por escrito a la oficina respectiva.
La realización de la obra deberá efectuarse al tener línea de construcción, de conformidad a los planos debidamente aprobados por la Dirección General de Urbanismo y Arquitectura.

Art. 45.—Para los efectos de esta ley, se considerará rótulo todo letrero, pintura, impreso, dibujo u otro medio publicitario cuyo propósito sea llamar la atención hacia un producto, artículo, industrial o comercial, servicio, recreación, profesión y ocupación domiciliar que se ofrezca, venda o lleve a cabo en el mismo lugar; y cuando se encuentren en sitio distinto a aquel donde tal rótulo está colocado, se considera anuncio.

Art. 46.—Dentro de las zonas de retiro y en terrenos adyacentes a ellas, no se permitirá la instalación de anuncios o rótulos, si no llenan los requisitos siguientes:

- a) Ser desmontable fácilmente, por lo tanto quedan prohibidas las instalaciones fijas como muros de ladrillo, concreto, adobe u otros materiales semejantes;
- b) Que se instalen a una distancia no menor de doscientos metros a ambos lados de los cruces de vías públicas, cruces de las mismas con los de ferrocarril, entronques de vías, puentes u otras obras;
- c) Que no queden ubicados bajo líneas telefónicas, telegráficas y conductores de energía eléctrica; y
- d) Que tengan como mínimo seis metros de altura aquellos rótulos que por su forma sobresalgan por encima del derecho de vía.

Art. 47.—En las zonas adyacentes a parques nacionales, zonas arqueológicas, monumentos históricos y lugares similares, por donde pasa o atraviese una carretera, sólo se permitirán anuncios oficiales relativos al tránsito o leyendas inclusivas a dichos lugares.

Art. 48.—Para colocar anuncios, rótulos u otras obras con fines publicitarios en las zonas permitidas, será necesario permiso de la oficina o de la Alcaldía Municipal respectiva según el caso para lo cual se presentará solicitud que contendrá los requisitos siguientes:

- a) Generales del solicitante;
- b) Descripción detallada del anuncio o rótulo;

c) Ubicación del mismo;

d) Planos o croquis acotados de las estructuras, con especificaciones de los materiales que se van a emplear; y

e) Permiso escrito otorgado por el propietario del predio en que va a colocarse el anuncio o rótulo, cuando no pertenezca al solicitante.

Art. 49.—Presentada la solicitud, por medio de la oficina o la Municipalidad correspondiente se practicará inspección en el lugar indicado. Si se cumpliere con los requisitos exigidos en el artículo anterior y la inspección fuere favorable, la citada oficina o Municipalidad autorizará la instalación del anuncio o rótulo, previo pago de veinticinco colones en concepto de derechos, que deberán enterarse en la Colecturía de la Dirección General de Tesorería o Tesorería Municipal, según el caso.

La certificación de la resolución correspondiente hará las veces de permiso, con vigencia para un año a contar de la fecha de expedición, renovable por períodos iguales a juicio de la oficina o Municipalidad, mediante el pago de los derechos correspondientes.

Art. 50.—El permiso de instalación de los anuncios o rótulos caducará por cualesquiera de las causas siguientes:

a) Por cambiar de ubicación sin autorización previa, el anuncio o rótulo;

b) Por hacer cualquier modificación en el anuncio o rótulo en relación con el diseño aprobado.

c) Por necesitar el Estado o Municipio el terreno en que estuviere instalado el anuncio o rótulo;

d) Por impedirse a los empleados y trabajadores de la oficina o Municipalidad respectiva, constatar si la instalación del anuncio o rótulo se ajusta o no a las prescripciones de esta ley; y

e) Por no instalar el anuncio o rótulo dentro de los dos meses siguientes a la fecha de la autorización.

Art. 51.—La oficina o Municipalidad respectiva ordenará la demolición de todo anuncio o rótulo que sea instalado en contravención a esta ley y de la resolución respectiva, no se admitirá recurso alguno. Todo a costa del demandado.

Art. 52.—No podrá usarse en los rótulos o anuncios, pinturas u otros materiales reflejantes ni combinación de colores simbólicos u otros motivos que, a juicio de la oficina respectiva, puedan confundirse con las señales de tránsito autorizadas.

Art. 53.—En los anuncios o rótulos no se permitirá el uso de palabras tales como: ALTO, PELIGRO, PARE, CRUCE, ATENCION u otras análogas, que puedan provocar confusión a los conductores de vehículos.

Art. 54.—Toda leyenda o impreso que se use en los anuncios o rótulos deberá ser en idioma castellano, salvo nombres propios o marcas de fábrica registradas.

Se exceptúa del inciso anterior los anuncios o rótulos dedicados al turismo, los cuales pueden redactarse además en otro u otros idiomas, pero destacándose siempre el castellano.

Art. 55.—No se permitirá instalar en los anuncios o rótulos, luces de color rojo, verde o amarillo que incidan sobre los vehículos, ni reflectores que despidan rayos deslumbrantes u otros medios que produzcan reflejos molestos a los usuarios de las carreteras, así como aquellos que obstruyan la visibilidad de los conductores.

Art. 56.—Los anuncios o rótulos no contendrán expresiones, imágenes o figuras obscenas, inmorales, o contrarias al orden público y a las buenas costumbres, no contendrán términos que directa o indirectamente dañen, injurien o denigren a personas.

Art. 57.—Por ningún motivo se colocarán en edificios o terrenos, luces que entorpezcan la visibilidad en las vías públicas, a los conductores de vehículos.

DISPOSICIONES GENERALES

Art. 58.—En el caso de cambiarse el trazado de una carretera o camino, el terreno que quede vacante pertenecerá al Estado o al Municipio, según haya sido nacional o municipal y deberá venderse en pública subasta a beneficio del Fisco o del Municipio respectivo, prefiriendo siempre, en igualdad de circunstancias, a los propietarios de los terrenos colindantes. Sin embargo, si el terreno que queda vacante por el nuevo trazado hubiera sido ocupado sin indemnización alguna, volverá gratuitamente a poder del antiguo dueño, dándosele constancia de la devolución por la Alcaldía respectiva. En el caso a que se refiere este artículo y para proceder a la subasta, no será necesario que el Fisco o las Municipalidades acrediten su derecho con título escrito de la respectiva carretera o camino.

El dominio del Estado o del Municipio se presume, salvo prueba instrumental contraria, la que podrá presentarse en cualquier tiempo antes del remate; el acta respectiva se inscribirá sin necesidad de antecedente inscrito. La subasta se hará sin perjuicio de dejar establecidas las servidumbres de tránsito correspondientes a los terrenos que quedaren incomunicados en virtud de dicha subasta.

Art. 59.—Cuando existan árboles cuyas ramas o raíces se prolonguen dentro de la plataforma de las carreteras o caminos, los propietarios de aquéllos estarán en la obligación de podarlos.

Art. 60.—La violación a las disposiciones de la presente ley, que no tengan señalada sanción específica, se castigará con multas de diez a quinientos colones, según la gravedad de la infracción.

La autoridad encargada de la imposición y ejecución de la multa será la oficina o la Municipalidad correspondiente, según el caso.

En todo caso que no haya trámite especial señalado, se procederá en forma gubernativa.

CAPITULO V

DISPOSICIONES TRANSITORIAS

Art. 61.—La Dirección General de Caminos o la oficina respectiva establecerá en el plazo de dos años, contados a partir de la vigencia de la presente Ley, una nomenclatura para el uso de las carreteras y caminos de acuerdo a la técnica conveniente.

Art. 62.—Los propietarios de anuncios y rótulos que no se ajusten a los términos de la presente Ley, tendrán un término de sesenta días a partir de su vigencia para que se provean de los permisos respectivos.

Art. 63.—Trancurrido el plazo señalado en el artículo anterior y no habiéndose cumplido para el caso los requisitos que señala esta Ley, la Dirección General de Caminos, la oficina o la Alcaldía respectiva, procederá a retirar los anuncios y rótulos a costa de los propietarios.

CAPITULO VI

DISPOSICIONES FINALES

Art. 64.—El Poder Ejecutivo en el Ramo de Obras Públicas emitirá el reglamento de la presente Ley.

Art. 65.—Quedan derogadas todas aquellas disposiciones que en una u otra forma se opongan a la presente Ley.

Art. 66.—El presente Decreto entrará en vigencia ocho días después de su publicación en el Diario Oficial.

DADO EN EL SALON DE SESIONES DE LA ASAMBLEA LEGISLATIVA; PALACIO NACIONAL: San Salvador, a los nueve días del mes de septiembre de mil novecientos sesenta y nueve.

Benjamín Interiano,
Presidente.

Rómulo Carballo Alvarez,
Vice-Presidente.

Juan Victor Bollat,
Vice-Presidente.

Tomás Guillermo López,
Primer Secretario.

José Armando Rodezno,
Primer Secretario.

Augusto Ramirez Salazar,
Primer Secretario.

Juan Ferrero,
Segundo Secretario.

Antolín de Jesús Castillo,
Segundo Secretario.

Juan Ramón Mena,
Segundo Secretario.

CASA PRESIDENCIAL: San Salvador, a los diecisiete días del mes de septiembre de mil novecientos sesenta y nueve.

PUBLIQUESE.

FIDEL SANCHEZ HERNANDEZ,
Presidente de la República.

Enrique Cuéllar,
Ministro de Obras Públicas

PUBLIQUESE EN EL DIARIO OFICIAL.

Enrique Mayorga Rivas,
Secretario General de la Presidencia
de la República.



ANEXO II

VICEMINISTERIO DE TRANSPORTE
1ª. AV. SUR # 630, S.S.
San Salvador, El Salvador, C.A.

RESOLUCION No. 0057/2001

DIRECCION GENERAL DE TRANSPORTE TERRESTRE, VICEMINISTERIO DE TRANSPORTE, San Salvador, a los cinco días del mes de abril del dos mil uno.

CONSIDERANDO:

- I. Que el art. 35 de la Ley referida, da la potestad al Viceministerio de Transporte para ejercer las regulaciones respectivas a los vehículos destinados al servicio del transporte de carga por vías terrestres.
- II. Que el art. 38 de la Ley mencionada, habla que se establecerán requerimientos específicos para la circulación en el país de transporte de carga que exceda los límites permitidos.
- III. Como aún no se ha aprobado el marco legal que regule específicamente el transporte de carga por vía terrestre; y siendo una necesidad la circulación por las arterias viales del país en base al art. 4 de la Ley de Transporte Terrestre Transito y Seguridad vial.

POR TANTO:

Esta Dirección General de Transporte Terrestre en uso de sus facultades legales que le otorga la legislación vigente según el art. 5 de la Ley de Transporte Terrestre Transito y Seguridad Vial.

RESUELVE:

1. Para la circulación por las carreteras del país, los límites máximos en relación a las dimensiones y pesos bruto vehicular para cada uno de los tipos y combinación de los vehículos serán los siguientes:

LONGITUD TOTAL MAXIMA DE VEHICULOS

TIPO DE VEHICULO	LONGITUD MAXIMA (Metros)
C2	12.00
C3	12.00
C4	16.75
T2S1	16.75
T2S2	17.50
T2S3	17.50
T3S1	17.50
T3S2	17.50
T3S3	17.50
Otras combinaciones hasta	18.30

PESO MAXIMO PERMISIBLE POR TIPO DE VEHICULO:

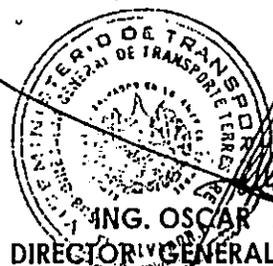




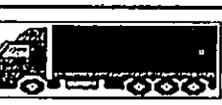
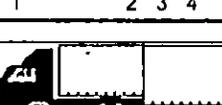
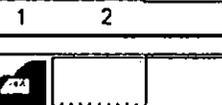
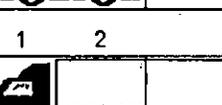
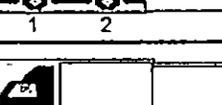
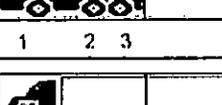
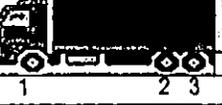
VICEMINISTERIO DE TRANSPORTE
1º. AV. SUR # 630, S.S.
San Salvador, El Salvador, C.A.

ANCHURA TOTAL MAXIMA	2.60 METROS
ALTURA TOTAL MAXIMA	4.15 METROS

2. Debido a la demanda que existe del servicio de carga especializada la cual comprende el transporte de objetos voluminosos o de gran peso o longitud, se requerirá permiso especial de conformidad a los límites máximos mencionados en el inciso anterior.
3. La Subdirección de Transporte de Carga que depende de este Viceministerio y que tiene como función principal participar en la regulación del transporte de carga, será la oficina encargada de atender este tipo de solicitudes y dar respuesta al interesado.
4. De acuerdo a opinión técnica emitida por la Unidad de Planificación Vial del Viceministerio de Obras Publicas, en lo que respecta a la inspección del medio de transporte (Cabezal y Low boy) y dar visto bueno a la ruta planteada por el interesado, la Subdirección de Transporte de carga emitirá el permiso especial.
5. La presente resolución tendrá vigencia hasta que se apruebe el Reglamento General de Transporte de Carga, por el Viceministerio de Transporte. **NOTIFÍQUESE.**


ING. OSCAR ATILIO PREZA RIVAS
DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE TERRESTRE

PESO MAXIMO PERMISIBLE POR TIPO DE VEHICULOS

TIPO DE VEH.	ESQUEMA DEL VEHICULO	1er. EJE	2do. EJE	3er EJE	4to. EJE	5to. EJE	6to. EJE	PESO/MAXIMO EN TON. METR.
C-2 A		ENTRE 1.50 4.00	ENTRE 2.50 6.00					4 00 a 10 00
C-2		5.00	10.00					15 00
C-3		5.00	16.50 8.25 8.25					21 50
C-4		5.00	20.00 6.67 6.67 6.66					25.00
T2-S1		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2		5.00	9.00	16 00 8.00 8.00				30.00
T2-S3		5.00	9.00	20.00 6.67 6.67 6.66				34.00
T3-S1		5.00	16.00 8.00 8.00		9.00			30.00
T3-S2		5.00	16.00 8.00 8.00		16 00 8.00 8.00			37.00
T3-S3		5.00	16.00 8.00 8.00		20 00 6.67 6.67 6.66			41.00
C2-R2		5.00 5.00 5.00	10.00 10.00 10.00	4.50a 4.50a 7.00b	4.50a 7.00b 7.00b			24 00 26 50 29 00
C3-R2		5.00 5.00 5.00	16.50 8.25 8.25		4.50a 4.50a 7.00b	4.50a 4.50b 7.00b		30 50 33 00 36 50
C3-R3		5.00 5.00	16.50 8.25 8.25		4.a 6.5b	10.50c 5.25 5.25		36.00 38.50

NOTA: El peso maximo permisible sera especificado por el fabricante y el contenido en esta columna
 a: Eje sencillo llanta sencilla
 b: Eje sencillo llanta doble

GLOSARIO.

Alineamiento Horizontal: Es la proyección sobre un plano horizontal del desarrollo del eje de la subrasante.

Alineamiento Vertical: Es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subrasante.

Caminos Rurales Sostenibles: Vía cuya categoría no está definida en la actual clasificación vial, y que son el objeto del presente estudio.

Capacidad: De un camino o de un carril, es el número máximo de vehículos que pueden circular por el durante un período de tiempo determinado y bajo condiciones prevaletientes, tanto del propio camino como de la operación del tránsito.

Densidad de tránsito: Es el número de vehículos que permanecen en un tramo por unidad de longitud en un momento dado.

Derecho de vía: Área destinada al uso de una vía pública comprendida entre los límites que sirven de linderos con los propietarios adyacentes.

Diseño geométrico: El diseño geométrico de un camino es la ordenación de sus elementos físicos, alineamiento vertical y horizontal, pendientes, distancias de visibilidad, peraltes, anchos de carril, etc.

Distancia de visibilidad: Longitud de la carretera que un conductor ve continuamente delante de él, cuando las condiciones atmosféricas y de tránsito son favorables.

Nivel de servicio: Denota un número de condiciones de operación diferentes que pueden ocurrir en un carril o camino dado, cuando aloja varios volúmenes de tránsito.

Pavimento: Es una estructura constituida por varias capas de materiales, que tienen por objeto permitir el tránsito de vehículos en forma cómoda, segura y eficiente con un costo mínimo.

Pavimento bituminoso: o de concreto asfáltico es el resultado de la mezcla de materiales pétreos y el asfalto.

Pavimento rígido: Consiste en una mezcla relativamente rica de cemento, arena y agregados gruesos.

Planos: Son los dibujos del proyecto que muestran la ubicación, índole y características geométricas del trabajo incluyendo la disposición, perfiles, cortes transversales y otros detalles.

Sección transversal: Corte vertical normal al alineamiento horizontal. Permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman el camino en el punto correspondiente a cada sección.

Subrasante: Superficie final de la terracería preparada para recibir las capas o carpetas de la pavimentación vial.

Superficie de rodadura: Es el ancho de rodamiento de una vía de circulación pavimentada, o con cualquier otro tipo de tratamiento para la superficie, que depende de las dimensiones máximas de los vehículos que harán uso de ellas, así como de la velocidad de los mismos.

Tiempo de reacción: Es el breve intervalo de tiempo entre ver, oír o sentir y empezar a actuar en respuesta al estímulo de una situación del tránsito o del camino.

Usuario: Término que se refiere al ser humano, ya sea como peatón o como conductor.

Velocidad de operación: Es la máxima velocidad a la cual un vehículo puede viajar en un tramo de un camino, bajo las condiciones prevalecientes de tránsito y bajo condiciones atmosféricas favorables, sin rebasar en ningún caso la velocidad del proyecto o del tramo.

Velocidad de proyecto: Es la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con seguridad sobre un camino y se utiliza para determinar los elementos geométricos del mismo.

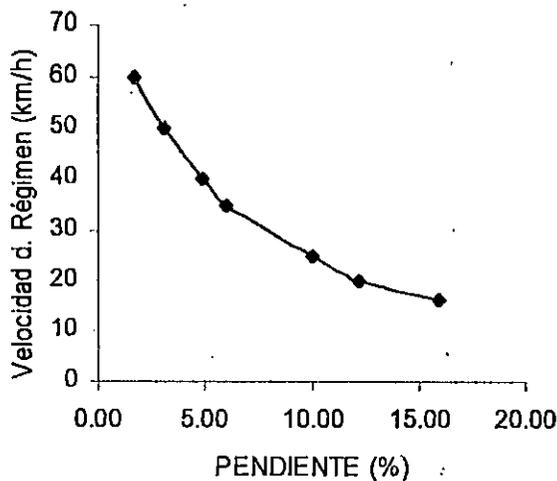
Volumen de tránsito: Es el número de vehículos que pasan por un tramo de un camino en una unidad de tiempo.

APÉNDICE

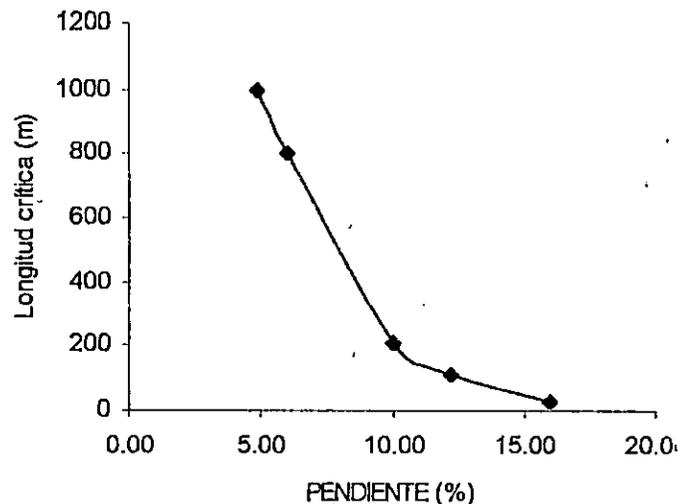
APÉNDICE 1

En las siguientes gráficas* se muestran las relaciones: pendiente-velocidad de régimen y pendiente-longitud crítica. En ambas gráficas, las variaciones tanto de la velocidad de régimen como de la longitud crítica con la pendiente, son inversamente proporcionales.

VELOCIDAD DE REGIMEN PARA DIFERENTES PENDIENTES

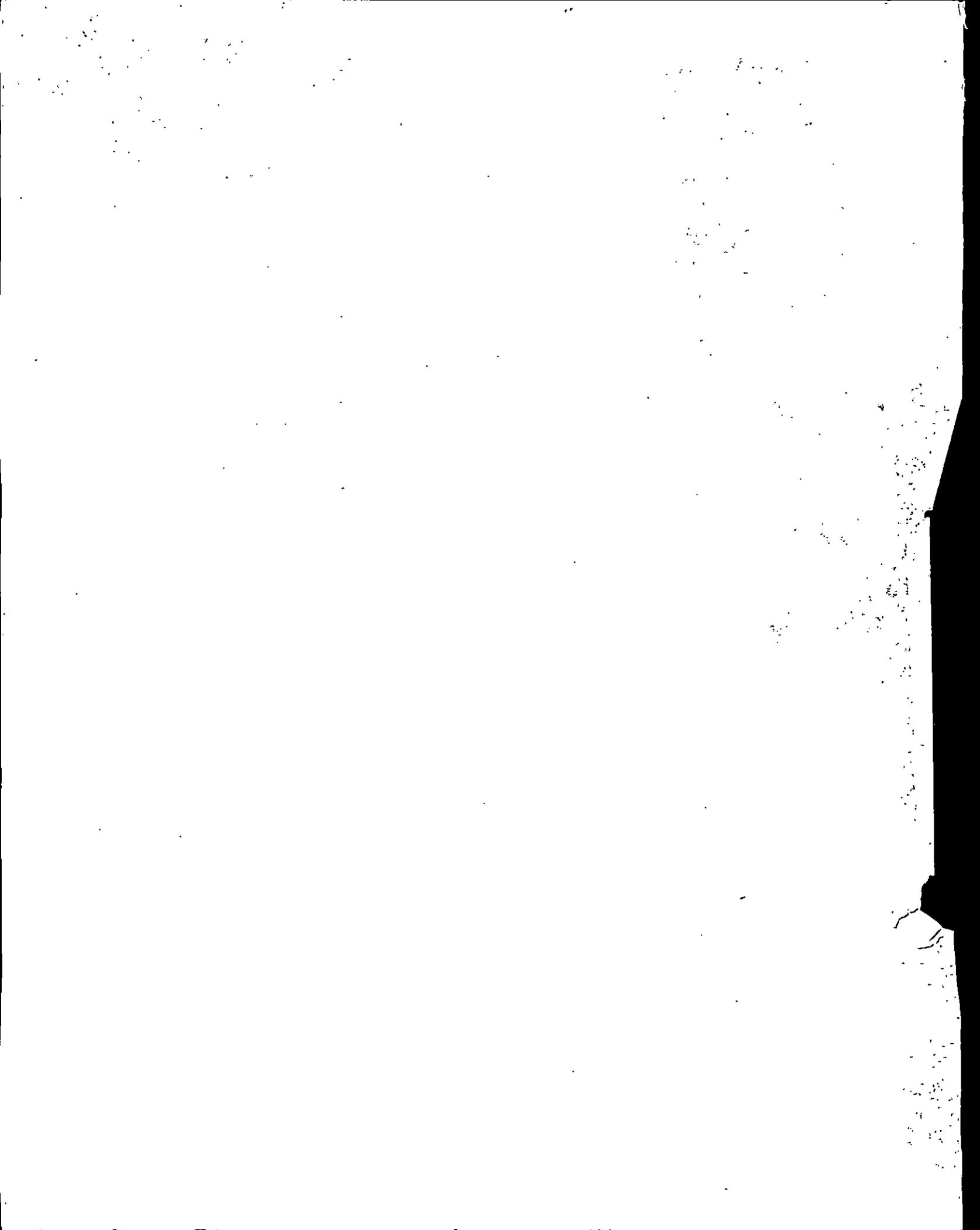


LONGITUD CRITICA PARA DIFERENTES PENDIENTES



Para pendientes de 0% a 10% los vehículos pueden sostener la velocidad de régimen sin dificultad porque al proyectar la geometría del camino se puede cumplir con las longitudes críticas que van desde infinitas (para pendientes menores a 4.9%) hasta 210 m (para pendiente de 10%).

* Ambas son resultado de un análisis de la relación peso/potencia para el vehículo de diseño establecido para los caminos rurales sostenibles



Con pendientes de 10% a 12.3% los vehículos se ven forzados para sostener la velocidad de régimen pues es muy difícil cumplir con las longitudes críticas al proyectar la geometría del camino, sobretodo en terrenos donde toda la longitud del camino es en ascenso.

Para pendientes mayores de 12.3% los caminos se salen del concepto de caminos rurales sostenibles y deberán considerarse como caminos de montaña estableciendo otro vehículo de diseño cuya relación peso / potencia pueda sostener velocidades de régimen para estas pendientes.