

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



**LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE,
CASO RUTA DEL ATLÁNTICO**

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE INGENIERÍA VIAL

JORGE MARIO CORONADO BROLO
M. A. INGENIERO CIVIL

Octubre 2009

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA**



NOMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
VOCAL I	Ingá. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Ingá. Alba Maritza Guerrero de Lopez
VOCAL III	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Milton De Leòn Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sulan Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN DE DEFENSA DE TESIS

DECANO	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Santos Monzón Gámez
EXAMINADOR	Inga. Lucrecia Ruiz de Alonzo
EXAMINADOR	Ing. Marco Tulio Ordóñez Castañeda
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas



HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, con fecha 13 de septiembre de 2006.

M.A. Ing. Civil Jorge Mario Coronado Brolo

Guatemala, 20 de agosto de 2009

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Director Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Pérez:

Tengo el agrado de someter a su consideración el trabajo de tesis realizado por el estudiante universitario de la Maestría en Ciencias de Ingeniería Vial **Jorge Mario Coronado Brolo**, titulado "**LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO**", mismo que fue asesorado, revisado y aprobado por este servidor.

Por lo consiguiente, me permito recomendar su aprobación.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para suscribirme de usted,

Atentamente,


Msc. José Santos Monzón Gámez
Asesor



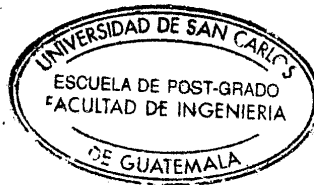
Como Revisor de la Maestría en Ingeniería Vial del trabajo de graduación titulado **LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO**, presentado por el Ingeniero Civil **Jorge Mario Coronado Brolo**, apruebo el presente trabajo de graduación y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Humberto Pérez Rodríguez'.

Msc. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Director
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, noviembre de 2009.



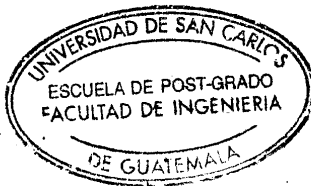
/zc.



El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO**, presentado por el Ingeniero Civil **Jorge Mario Coronado Brolo** apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Msc. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, noviembre de 2009.

/zc.



Ref. D. Postgrado 13. 2009

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al trabajo de graduación de la Maestría en Ingeniería Vial titulado: **LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO** presentado por el Ingeniero Civil **Jorge Mario Coronado Brolo**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, noviembre de 2009



/zpcm

Acto que dedico a:

Dios

Mis padres, especialmente a mi papá Ingeniero Jorge Coronado Iturbide
quien con su ejemplo y trabajo es un modelo a seguir,

Mi esposa e hijos,

Mis hermanas, hermanos y demás familia,

Mis amigos y compañeros,

las carreteras de Guatemala.

ÍNDICE GENERAL

	LISTA DE SÍMBOLOS	VI
	GLOSARIO	VIII
	RESUMEN	XI
	OBJETIVOS	XIV
	PLANTEAMIENTO	XV
	INTRODUCCIÓN	XVII
1	DETERMINACIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO	1
	1.1 Procedimiento	1
	1.2 Determinación de los distintos tramos	2
	1.3 Tipos de vehículos	3
	1.4 Capacidad y nivel de servicio	8
	1.5 Los conteos de tránsito	11
	1.6 Gráficas de las tasas de crecimiento históricas	14
	1.7 Determinación de las distintas tasas de crecimiento	17
2	DETERMINACIÓN DE EJES EQUIVALENTES	26
	2.1 El Método AASHTO	26
	2.2 Los ejes de carga simples equivalentes	30
	2.3 Pesos y dimensiones	35
	2.4 Influencia del peso en el Factor de Equivalencia	38
	2.5 Efecto del incremento sobre la carga permitida	40
	2.6 Determinación de Ejes Equivalentes	42

3	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL	46
3.1	Número Estructural	46
3.2	Capacidad Estructural de los tramos	49
3.3	Determinación del Número Estructural	51
4	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	54
4.1	La relación entre ESAL y espesor o NE	54
4.2	Comportamiento de ESAL y NE de cada tramo	57
4.3	Comportamiento del TPDA al variar el ESAL	61
4.4	Comportamiento del NE al variar el ESAL	66
	CONCLUSIONES	73
	RECOMENDACIONES	75
	REFERENCIAS	77
	BIBLIOGRAFÍA	78
	ANEXO I: CUADROS Y MAPAS	79
	I.1 Guía kilométrica	80
	I.2 Estaciones de Conteo	90
	I.3 Tramos del estudio	92
	I.4 Análisis de datos de 5 Estaciones de Conteo	94
	I.5 Mapa de la Ruta al Atlántico	130
	I.6 Mapas con la ubicación de las estaciones de conteo representativas de cada tramo	132

ANEXO II: INFRAESTRUCTURA DE LA RUTA CA-09N	138
II.1 La carretera al Atlántico	138
II.2 Las paradas de buses	143
II.3 El ferrocarril	146
II.4 Los puertos del Atlántico	150
II.5 Las zonas libres	156

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AASHO	<i>American Association of State Highway Officials</i>
AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
D	Densidad de vehículos por kilómetro (veh/km)
DGC	Dirección General de Caminos
DGT	Dirección General de Transportes
ESAL	<i>Equivalent Single Axial Load</i> o Carga Equivalente por Eje
FEGUA	Empresa de Ferrocarriles de Guatemala
FC	Factor de Camión
GF	<i>Growing Factor</i> ó Factor de Crecimiento
HCM	<i>Highway Capacity Manual</i> ó Manual de Capacidad de Carreteras
IRCA	<i>International Railways of Central America</i> o Ferrocarriles Internacionales de Centro América
IRI	Índice Internacional de Rugosidad
kg	Kilogramo: 1,000 gramos
kg/cm ²	Kilogramo por centímetro cuadrado
kip	Mil libras por pulgada cuadrada (453.6 kg)
km	Kilómetro: 1,000 metros
km/h	Kilómetros por hora
kN	kilo Newton, dimensional de fuerza: 1,000 kg - m/s ²
lb	Libra (0.4536 kg)

LEF	<i>Load Equivalent Factor</i> o Factor Equivalente de Carga
m	Metro
m/s	Metros por segundo
N	Newton
PBV	Peso Bruto Vehicular
PIB	Producto Interno Bruto, producción nacional anual dividida entre el número de habitantes del país
PSI	<i>Pounds Square Inch</i> , medida de resistencia en libras por pulgada cuadrada
P_o	Nivel de servicio inicial del pavimento
P_t	Nivel de servicio final del pavimento
S	Velocidad o <i>Speed</i>
s	segundo
SN, (NE)	<i>Structural Number</i> , (Número Estructural)
SI	Sistema Internacional de Unidades
SIECA	Secretaría de Integración Económica Centroamericana
t	Tonelada métrica (2,2046 lb)
ton	Tonelada Inglesa (907.18 kg)
TEU	Unidad de contenedor de carga, en inglés: <i>Twenty-foot Equivalent Units</i> ó unidades equivalentes de veinte pies de longitud
TPDA	Tránsito Promedio Diario Anual
v	Flujo de vehículos por hora (veh/h)
W_{18}	Carga de eje de 18,000 lb
ZOLIC	Zona Libre de Industria y Comercio de Santo Tomás de Castilla

GLOSARIO

Contenedor	Importante elemento en la innovación del manejo de carga en el siglo XX. Son cerrados en su punto de origen y su contenido no se vacía hasta que la mercadería sea descargada en su destino. Su unidad de medida es el TEU.
Eje de Carga Equivalente, ESAL	Es la suma del total de ejes equivalentes de 18,000 lb (80 kN, 8.2 t), aplicados al pavimento por todos los vehículos que circularán por la carretera durante el período de diseño.
Eje simple	Es el eje que está compuesto por dos ruedas, una en cada extremo del eje.
Eje simple de Rueda Doble	Compuesto de 4 ruedas de igual medida dos ruedas en cada extremo del eje, o una rueda de doble ancho en cada extremo del eje.
Gestión Vial	Sistema de Gestión de la Infraestructura Vial (SGIV) que establece los procedimientos para planificar la inversión en Carreteras.
Índice de Serviciabilidad	En inglés <i>Present Serviceability Index</i> , AASHTO lo define como un número abstracto que representa la capacidad de un pavimento de servir al tipo de

tránsito de diseño, varía en escala desde 5 perfecto, hasta 0 intransitable.

Índice Internacional de Rugosidad, IRI	Alteraciones del perfil longitudinal del camino que provocan vibraciones en los vehículos que lo recorren, se expresa en m/km.
Intermodal	Terminal con patio de carga de ferrocarril y vehículos pesados, para el intercambio de contenedores.
Joule	Trabajo realizado por una fuerza de 1 N, cuando su punto de aplicación se desplaza a una distancia de 1 metro en la dirección y sentido de la fuerza.
Kilogramo	Unidad básica de masa del Sistema Internacional de Unidades, corresponde a la masa del Kilogramo Prototipo Internacional, conservado en París, Francia.
Libra	Unidad de peso de uso antiguo en ingeniería en los países de habla inglesa, equivalente a 0.4536 kg.
Método AASHTO	Originado del <i>AASHTO Road Test</i> realizado en 1958, para analizar el comportamiento de diferentes estructuras de pavimento sometidas a cargas en movimiento de magnitud y frecuencia conocida.
Nivel de Servicio	Medida cualitativa para caracterizar las condiciones de operación bajo una circulación continua de tránsito, según la percepción de pilotos y pasajeros.

Se han definido seis niveles de servicio para cada tramo de carretera, que se designan, de mejor a peor, por las letras mayúsculas de A a F.

Número Estructural	AASHTO lo define como un número abstracto que representa la resistencia estructural de un pavimento, para una combinación dada de las características de materiales, ESAL, Pt y condiciones ambientales.
Serviciabilidad inicial	Parámetro del nivel de servicio inicial para un pavimento nuevo con valores de IRI menores de 2.
Serviciabilidad final	Parámetro del nivel de servicio final para un pavimento en uso con valores de IRI mayores de 6.
Tandem	Conjunto de dos ejes simples de ruedas dobles, con una separación de centros de 1.00 a 2.45 metros.
Tonelada métrica	Peso de mil kilogramos ó 2,2046 lb.
Tonelada Inglesa	Peso de dos mil libras, equivalente a 907.18 kg.

RESUMEN

En el presente trabajo se evalúa la vida útil del pavimento de la Ruta al Atlántico conocida como CA-09-Norte a partir del análisis del comportamiento del tránsito vehicular que circula por la misma, comparando su efecto con la cantidad de ejes equivalentes considerados al diseñar la estructura del pavimento para un período de vida útil.

Se analizó la cantidad de vehículos livianos y pesados en circulación comparándola con algunas características físicas de la carretera, como número de vías en cada sentido, espesor de capas e índice de serviciabilidad del pavimento, con el objetivo de determinar en que momento se pueden dar condiciones que causen deterioro afectando el Nivel de Servicio de la carretera.

Para el análisis del tránsito vehicular la Ruta Centro Americana 09 Norte (CA-09N), fue dividida en cinco tramos de acuerdo con la ubicación geográfica de las principales poblaciones, considerando sus accesos desde donde son generados volúmenes apreciables del mismo.

En base a los datos históricos del tránsito promedio diario anual, TPDA, proporcionados por las 17 Estaciones de Conteo de Tránsito operadas por la Dirección General de Caminos, DGC, las cuales tienen registros continuos por un período de 32 años que comprende de 1967 a 1998, se proyectó el

volumen de éste para el año base 2007, fuente de los cálculos realizados para obtener los Ejes Equivalentes, ESAL, en los períodos de diseño analizados.

Se consideró una estación representativa por tramo, determinando las respectivas tasas históricas de crecimiento por tipo de vehículo, las cuales fueron ponderadas con tasas de variación de otras variables externas, tales como el número de vehículos nuevos y usados importados anualmente, para el caso de los vehículos livianos. Las tasas de los vehículos pesados de 2 y 3 ejes fueron relacionadas con el crecimiento del PIB del país y el crecimiento de los vehículos pesados de 4 o más ejes con la tasa de crecimiento de las exportaciones.

Seguidamente por medio del Método AASHTO, basado en el concepto de carga por eje vehicular, ESAL, valor que representa la carga de todos los vehículos circulando durante el período de vida útil del pavimento, se procede a determinar el efecto de la carga producida por el TPDA, obteniendo el valor ESAL.

En base de las características físicas y mecánicas de las distintas capas que forman la estructura del pavimento, por medio del Método AASHTO, se determina y suma la capacidad estructural aportada por cada una de ellas y se procede a determinar el número estructural, NE, que es un número abstracto representativo de la resistencia estructural de un pavimento, el cual es representativo de ciertas características dadas. Para el cálculo del NE se consideraron valores promedio para los espesores de las diferentes capas que forman la estructura del pavimento en cada tramo.

Asimismo se desarrolla un análisis del transporte liviano y de carga que circula sobre la Ruta al Atlántico, proyectando valores de los Ejes de Carga

Equivalentes, ESAL en base a variaciones del tránsito promedio diario anual, TPDA, para conocer su efecto sobre el Número Estructural, SN, aportado por la estructura del pavimento.

Con el fin de evaluar las condiciones que determinan el Nivel de Servicio de la Ruta al Atlántico, se dividió en cinco tramos tal como se indica al inicio del Capítulo 1, determinando a partir de los conteos de tránsito promedio diario, TPDA, la tasa histórica de crecimiento vehicular; en el Capítulo 2, utilizando el Método AASHTO se cuantifica el peso de la carga transportada por medio de los ejes equivalentes; en el Capítulo 3, se determina la capacidad soporte del pavimento de los tramos, por medio del cálculo del Número Estructural; en el Capítulo 4, se desarrolla un Análisis de Sensibilidad, comparando el efecto de incrementos y decrementos del volumen de tránsito sobre la capacidad soporte del pavimento a lo largo del tiempo. En el Anexo I se muestran tablas y gráficas con los cálculos y resultados obtenidos. Finalmente en el Anexo II se presenta un historial de la Ruta al Atlántico, del ferrocarril, de los puertos y de la Zona de Libre Comercio.

En las Conclusiones se indica que los resultados de los valores ESAL y NE encontrados, señalan la necesidad de efectuar la rehabilitación de algunos tramos de la ruta del Atlántico, misma que ya fue iniciada en un momento oportuno y que debe continuar en toda su longitud, a fin de garantizar un Nivel de Servicio que permita la circulación vehicular sin congestionamiento y un adecuado Índice de Serviciabilidad manifestado en el buen estado de la carpeta del pavimento.

OBJETIVOS

➤ **General**

Analizar las relaciones entre el TPDA y el SN con proyecciones a partir de las condiciones actuales, para poder determinar hasta que momento el crecimiento del transporte en la ruta al Atlántico es operable.

➤ **Específicos**

1. Proyectar escenarios futuros para el período de diseño en cinco tramos de la ruta CA-09N, considerando el efecto del transporte sobre la estructura del pavimento.
2. Proponer alternativas por medio del análisis de los valores de ESAL y SN en períodos de tiempo de diseño definidos con tasas de crecimiento promedio por vehículo, para determinar el momento en que la estructura del pavimento empieza a perder su serviciabilidad, elevando los costos del transporte.

PLANTEAMIENTO

El transporte de carga en la ruta al Atlántico tiene un crecimiento anual, el cual circula sobre la estructura del pavimento que lo soporta y sufre daño cuando se le aplican cargas mayores a las de diseño, afectando su duración la cual puede ser pronosticada a través del análisis de serviciabilidad, por medio de la medición del TPDA y su proyección en valores de ESAL y NE, de tal forma que se pueda determinar en que momento se empieza a deteriorar la carretera.

Los valores de ESAL y NE están relacionados entre sí, lo que permite determinar por medio de sus análisis los años de vida del pavimento, ya que el valor del NE requerido en base al ESAL de diseño indica el momento cuando la carretera alcanza su vida útil y el valor ESAL indica el NE que debe ser aportado por las capas de la estructura, permitiendo programar los trabajos de rehabilitación antes que el deterioro avance y sea necesaria una reconstrucción del mismo.

Los acuerdos comerciales que se generan como parte del potencial del Tratado de Libre Comercio, dependen en buena parte del desarrollo de una infraestructura de transporte eficiente que permita un confiable y rápido flujo de las cargas de mercaderías con costos eficientes, por lo que un colapso de la principal ruta de exportación afectaría la economía nacional.

Siendo la red vial facilitadora del desarrollo al proveer de una infraestructura de transporte con adecuados Niveles de Servicio e Índices de Serviciabilidad, se hace necesario el poder conocer su estado actual y en el corto plazo,

proponiendo en este trabajo que por medio de la utilización de datos conocidos como el tránsito promedio diario, TPDA, la composición y el estado de las capas de la estructura de pavimento por medio del Número Estructural, NE, se pueda evaluar el estado actual y de los próximos años de las rutas que cuenten con esa información.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la economía producto de la acción humana, genera un aumento de la actividad comercial la cual depende en forma directa del transporte eficiente de mercaderías, una mayor demanda en el uso de la infraestructura de transporte se logra si la misma está preparada para actuar como facilitadora del crecimiento económico y no como obstáculo que frene el desarrollo. El comercio es vital para el progreso humano, beneficiando a productores y consumidores de distintos países, que apoyados en reglas claras y una buena infraestructura vial, logran mayores movimientos de mercancías, siendo en la actualidad la vía marítima la forma más económica para trasladar grandes volúmenes de productos.

La Ruta al Atlántico, conocida también como CA-9-N, conjuntamente con la ruta CA-9-S, forman el principal corredor para el comercio exterior del país. Al considerar el incremento anual de las exportaciones su importancia para la economía del país es obvia, siendo necesario prever las mejoras en la infraestructura de transporte pesado tanto en las carreteras como en los puertos, ya que de lo contrario el crecimiento no controlado creará un congestionamiento que puede frenar el desarrollo económico, pues de seguir la tendencia de crecimiento en pocos años se duplicará el volumen de exportaciones e importaciones. Actualmente por la crisis financiera mundial se consideran otros escenarios que hace dos años eran poco probables.

Por ello es importante mantener un adecuado Nivel de Servicio en las carreteras, que permita circular con facilidad a velocidades medias, optimizando los costos del transporte de carga, los que a su vez redundan en las condiciones de competitividad de la industria nacional favoreciendo así al

consumidor, ayudando al incremento del comercio y al desarrollo de la economía con buenas vías de comunicación.

Si bien lo anterior significa que actualmente el Nivel de Servicio de la ruta se mantiene en condiciones aceptables, no se debe interrumpir el proceso de reconstrucción a 4 carriles iniciado en 2006, ya que el crecimiento de la tasa vehicular llegará a requerir más carriles y un mejoramiento del NE aportado actualmente. Son de importancia las estaciones de control de pesos, para evitar las sobrecargas del transporte pesado, por el daño que ocasionan al pavimento.

Los acuerdos comerciales que se generan como parte del potencial del Tratado de Libre Comercio, TLC, dependen en buena parte del desarrollo de la infraestructura de transporte, tal como sostiene la hipótesis del presente trabajo. Guatemala por el TLC y su cercanía con los Estados Unidos, el mercado más grande del mundo, tiene una ventaja comparativa económica que como nación se debe aprovechar; el empresario como inversionista eficiente y el gobierno como proveedor de una infraestructura adecuada, ya que el transporte terrestre juega un papel determinante para lograr que los bienes de consumo sean entregados en el tiempo y cantidad esperados en el mercado internacional, con un costo de transporte adecuado.

La capacidad de la infraestructura vial existente, diseñada y construida de acuerdo a especificaciones y normas que ya no se encuentran vigentes, es limitada por lo que se debe prever su crecimiento antes de que ocurra, a fin de planificar la obra vial requerida a modo de satisfacer las necesidades demandadas en el momento requerido y no entorpecer la pujanza de la economía nacional, que depende de esta infraestructura, para el transporte de los bienes de comercio internacional.

Investigaciones del Banco Mundial indican que existe una relación directa entre la inversión, pública o privada, en infraestructura de transporte y el desarrollo económico del PIB de un país.

También sostienen que por cada dólar invertido en carreteras por el gobierno, se reducen en 4 dólares los costos de operación vehicular de los usuarios, existiendo una relación inversamente proporcional ya que a mayor inversión del estado, reduce una parte del costo de operación del usuario. (Conferencia del Dr. Rodrigo Archondo, sobre la Experiencia con el Modelo HDM-4 en países en desarrollo, Costa Rica, noviembre 2002).

Los costos totales de un proyecto carretero para la sociedad, son iguales a la suma de los costos de construcción y mantenimiento incurridos por el gobierno y los costos de operación de los vehículos de los usuarios. El conocer los tiempos de vida útil del pavimento permite el análisis económico, considerando los costos anuales de mantenimiento y rehabilitación que al compararlos con los costos de operación de los vehículos permiten obtener indicadores económicos como el valor presente de la inversión y la relación costo beneficio.

Según *Latin Business Chronicle*, con base a las estadísticas del *US Census Bureau*, en el año 2006 el comercio de Guatemala hacia Estados Unidos, en términos monetarios, creció en comparación con el primer semestre de 2005. Las ventas son lideradas por los productos de vestuario, le siguen los bienes agrícolas no tradicionales, frutas tropicales, café y otros atraídos por la vigencia del tratado de libre comercio con Estados Unidos, a partir del 1 de julio de 2006. Durante el mismo período Nicaragua tuvo un crecimiento del 27.5%, Costa Rica del 19.2%, Honduras 5% y El Salvador 4%. En 2006 Guatemala exportó un total de US \$.3,716 millones en bienes, de los cuales el

57.5% tuvo como destino países fuera de Centroamérica, a través de los puertos marítimos del país.

Dicho crecimiento es resultado de un proceso económico, el cual para no detener su desarrollo necesita una infraestructura adecuada en los puertos y vías de acceso o carreteras, éstas últimas muestran una tendencia de crecimiento anual de viajes de vehículos circulando diariamente y de la cantidad de horas de congestiónamiento o bajo nivel de servicio.

Existen otras alternativas para el transporte de carga como la conversión del ferrocarril de trocha angosta y lento a trocha ancha de alta velocidad, apoyado por el efecto de nuevos parques industriales con transporte intermodal en la ruta hacia los puertos, a los cuales se les debe mejorar su capacidad de operación.

1. DETERMINACIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO

1.1 Procedimiento

Como primer paso se dividió la ruta en cinco tramos, de la forma indicada más adelante. A partir de los valores históricos del TPDA se determinaron las tasas promedio de crecimiento por tipo de vehículo en los tramos representativos, las que al relacionarlas con tasas de otros factores externos que influyen en las tendencias de crecimiento del volumen de circulación vehicular, proyectan valores de las tasas a aplicar para las proyecciones del volumen de circulación futura expresado en Carga Equivalente por Eje, ESAL, de 18,000 lb. (8.2 t), aplicada al pavimento en forma acumulada durante su período de diseño.

Se consideraron los distintos tipos de vehículos descritos en Numeral 1.3, página 4 del presente trabajo. En el análisis para obtener el crecimiento a partir de la tasa histórica, ésta se promedió con distintos factores externos, en el caso de los automóviles, páneces y pickups, se ponderó a partes iguales con la tasa de crecimiento anual de la importación de vehículos nuevos y usados. En cambio la de los camiones de 2 y 3 ejes está sujeta a la actividad económica del país representada por el producto interno bruto, PIB. La tasa de los microbuses y buses resulta influenciada por el crecimiento de la población y de la economía, por considerar dos de los muchos factores externos con fuente de información disponible. Para los vehículos tipo 7 de 4 o más ejes la tasa histórica es de un período relativamente corto; el TPDA es de los años 2004 – 2006, por lo que se consideraron varios factores incidentes como el crecimiento de la economía, la cantidad de contenedores atendidos en los puertos y las toneladas de carga movilizadas. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1.12 en la página 23.

1.2 Determinación de los distintos tramos

Para facilitar la evaluación del crecimiento vehicular sobre la estructura de la Ruta CA-9N ésta se dividió en 5 tramos, seleccionados de acuerdo con las principales intersecciones de la vía y la ubicación de las estaciones de conteo.

El primero con una longitud de 21.8 Km., abarca del kilómetro 8.48 del Puente Rodriguitos al Puente Agua Caliente en jurisdicción del Municipio de Sanarate. El segundo, con longitud de 53.95 Km., llega al Km. 84.3, a la población de El Rancho, Departamento del Progreso, el cual atraviesa un terreno montañoso de difícil construcción por el alto porcentaje de roca. El tercero, con una longitud de 56.5 Km., de El Rancho al Km. 140.8, cruce hacia Zacapa sobre la Ruta CA-10, tiene un terreno ondulado y plano lo cual facilitó su construcción. El cuarto, con longitud de 112.8 Km. es el más largo de los cinco, llegando al km. 254.6, cruce a Río Dulce sobre la ruta CA-13, con una topografía suave y pocas curvas. El quinto, con longitud de 54.1 Km., llega a los puertos de Santo Tomás de Castilla, Km. 307.8 y Puerto Barrios, atravesando terrenos bajos que en algunos lados se inundan frecuentemente y tienen, por ello poca capacidad soporte. Para este último tramo el trazo de la carretera se ha movido hacia las laderas de la Sierra de las Minas, separándose de la línea del ferrocarril con el resultado que se requirió un mayor movimiento de tierras, en un material muy susceptible al deslizamiento.

En el Anexo I al final del presente trabajo, en el Cuadro I.3, página 92, se presentan los kilometrajes de los cinco tramos en que se dividió la ruta, con sus respectivas estaciones de conteo representativas y en el Mapa I.5, página 130 se muestra su localización.

1.3 Tipos de vehículos

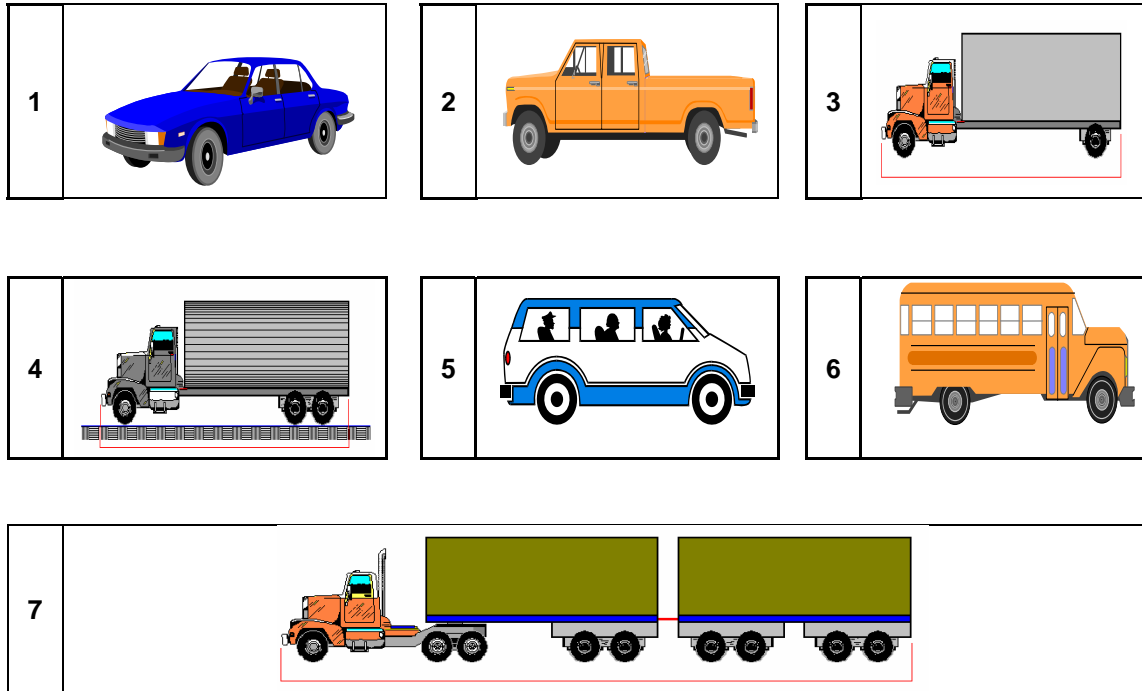
Con la llegada de los automóviles a Guatemala a principios del siglo XX se inició el desarrollo de los caminos y del transporte, habiendo evolucionado de livianos a potentes utilitarios de doble tracción y desde buses de 40 pasajeros y camiones de tres ejes a autobuses de dos pisos y cabezales de gran potencia halando contenedores de 40 pies fijados sobre plataformas.

El Departamento de Ingeniería de Tránsito de la Dirección General de Caminos, DGC, clasifica 7 tipos de vehículos distinguiendo los livianos de los pesados. El Manual de Diseño de Carreteras y Calles de la American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO, considera 19 clasificaciones cada una con características propias.

Se cuenta con la información histórica de 32 años continuos de conteos de tránsito, en los primeros 27 años de 1967 a 1993 donde solamente se incluían 3 tipos de vehículos pesados y que a partir de 1994 son 4 al asignar un nuevo tipo al transporte pesado de cuatro o más ejes y excluir las motos y tractores. Los camiones de 3 o más ejes fueron considerados en la nomenclatura de 1967 a 1993 dentro del tipo 4 y a partir de 1994 se les considera como vehículos tipo 7.

En la gráfica y tabla siguientes se muestran los diferentes tipos de vehículos automotores usados en el país, con la nomenclatura utilizada por el Departamento de Ingeniería de Tránsito de la Dirección General de Caminos.

Tipos de vehículos



Gráfica 1.1

NOMENCLATURA 1,967 - 1,993	
1 Automóviles, Páneles y Jeeps	5 Microbuses
2 Pickups	6 Buses
3 Camiones medianos, de 2 ejes	7 Motos, Tractores, etc.
4 Camiones pesados, de 3 ejes en adelante	VEHÍCULOS PESADOS : TIPO: 3 + 4 + 6
NOMENCLATURA 1,994 en adelante	
1 Automóviles, Páneles y Jeeps	5 Microbuses
2 Pickups	6 Buses
3 Camiones medianos de 2 ejes	7 Vehículos de 4 ó más ejes (T3-S2-R4)
4 Vehículos de 3 Ejes (Trailer)	VEHÍCULOS PESADOS : TIPO: 3 + 4 + 6 + 7

Tabla 1.1

En 1949 Guatemala suscribió la Convención de las Naciones Unidas Sobre Circulación por Carreteras y en 1958 el Acuerdo Centroamericano sobre Circulación por Carreteras, que regulan las dimensiones y pesos máximos de

los automotores a los que se permite circular en la región. El Reglamento para el Control de Pesos y Dimensiones de Vehículos Automotores y sus Combinaciones en su revisión de 1992 que modifica la de 1985, indica en el artículo primero que únicamente podrán transitar en las carreteras del país los que llenen los requisitos establecidos en el mismo.

Las abreviaturas utilizadas en dicho reglamento para identificar los diferentes tipos son:

Abreviatura	Tipo de vehículo
C-2	Camión o autobus con eje direccional simple y un eje de tracción de rueda doble
C-3	Camión o autobus con eje direccional simple y un eje de tracción doble o tándem de rueda doble
C-4	Camión o autobus con eje direccional simple y un eje de tracción triple de rueda doble
T-2	Tractor o cabezal con eje direccional simple y un eje de tracción simple de rueda doble
T-3	Tractor o cabezal con eje direccional simple y un eje de tracción doble o tándem
S-1	Semiremolque con un eje trasero simple de rueda doble
S-2	Semiremolque con un eje trasero doble o tándem
S-3	Semiremolque con un eje trasero triple
R-2	Remolque con un eje delantero simple o de rueda doble y eje trasero simple o de rueda doble
R-3	Remolque con un eje delantero simple o de rueda doble y eje trasero doble o tándem
R-4	Remolque con dos ejes de rueda doble o tándem en cada uno de sus extremos

Tabla 1.2

Actualmente el transporte de carga se realiza en su mayoría a través de vehículos articulados en contenedores, que son un importante elemento en la innovación de la logística que revolucionó el manejo de carga en el siglo XX.

Su capacidad es medida en unidades equivalentes de veinte pies conocidas como TEU por su nombre en inglés, *Twenty-foot Equivalent Units*. Un TEU equivale a un contenedor de 20 pies, (6.10 m) de largo por 2.44 m de ancho y 2.59 m de altura, con un volumen aproximado de 39 m³. El mayor fabricante del mundo es China, siendo los más populares los de 40 pies, (12.20 m) conocidos como 2TEU, los de 45 pies, (13.70 m) también son designados como 2TEU. Los tipo *high cube* tienen un alto de 2.90 m, mientras los de media altura, usados para cargas pesadas, tienen un alto de 1.30 m. Cuando se convierten contenedores en unidades TEU, ésta altura generalmente no es considerada.

Estos son cerrados en su punto de origen y su contenido no se vacía hasta que la mercadería es descargada en su puerto de llegada. Si están implicados otros países la carga se traslada bajo tratados internacionales, que facilitan la inspección en las aduanas de los puertos fronterizos antes de alcanzar su destino final. Son propiedad de los ferrocarriles o navieras y deben ser remitidos vacíos de vuelta al puerto de origen. Para su transporte usualmente se forma un vehículo T3-S2, el cual consiste en un cabezal o trailer de tres ejes, halando una plataforma de 40' con un eje trasero de doble llanta, sobre la cual va montado éste, el cual es cargado y descargado con grúa sobre la plataforma, a la cual es fijado en sus esquinas por medio de 4 pasadores de vuelta o twist locks.

Las longitudes más comunes de contenedores son:

- 20 pies, (6.1 m)
- 40 pies, (12.2 m)
- 45 pies, (13.7 m)
- 48 pies, (14.6 m) y

- 53 pies, (16.2 m).

Los dos últimos tamaños son los más usuales dentro de los Estados Unidos para el transporte Intermodal entre ferrocarril y vehículos articulados.

1.4 Capacidad y nivel de servicio

Capacidad se define como el número horario máximo de personas y vehículos que tienen una probabilidad razonable de atravesar un tramo de carretera durante un período de tiempo, bajo condiciones prevalecientes del camino y del tránsito. Expresada en vehículos / hora refleja la habilidad del segmento de carretera para acomodar el flujo en movimiento de personas y vehículos.

Ésta depende de las condiciones existentes, fundamentalmente las características geométricas del tramo de carretera como sección típica, trazo, pendientes, grados de curvatura, estado del pavimento, etc., volumen de tránsito circulando especialmente su composición vehicular, regulaciones de la circulación como límites de velocidad, túmulos, prohibiciones de rebasar y parquear, así como otras que influyan en la velocidad vehicular.

El método de cálculo de la capacidad más conocido y utilizado es el expuesto en el *Highway Capacity Manual, HCM*, Manual de Capacidad de Carreteras preparado en los Estados Unidos por el *Transportation Research Board*. Está basado en estudios realizados en ese país desde 1935 y ha sido objeto de cinco ediciones, la última en el año 2000. En varios países se ha empleado el Manual con las modificaciones que la experiencia ha ido aconsejando para su adaptación a las circunstancias locales.

El objetivo del análisis de capacidad es estimar el número máximo de vehículos que un tramo puede acomodar, durante un tiempo específico, con razonable seguridad. La cantidad de vehículos llegando se relaciona con la demanda, mientras volumen se refiere a los vehículos saliendo, demanda es equivalente al volumen de tránsito en un punto determinado del camino.

El concepto de Nivel de Servicio usa medidas cualitativas para caracterizar las condiciones de operación de un tramo de carretera bajo una circulación continua de tránsito, según la percepción de pilotos y pasajeros. La descripción de varios niveles de servicio califica esas condiciones en términos de factores como la velocidad y el tiempo de viaje, comodidad al conducir, interrupciones del tránsito, confort y conveniencia.

Se han definido seis Niveles de Servicio que se designan, de mejor a peor, por las letras mayúsculas de A a F. El Nivel de Servicio A, representa las mejores condiciones para conducir y el Nivel de Servicio F las peores. Cada uno representa un rango de condiciones de operación.

Las condiciones del flujo vehicular son el resultado de la interacción de los vehículos con la corriente del tránsito y las características geométricas y ambientales de la ruta. En la práctica resulta muy difícil tener en cuenta todos los factores que intervienen en la descripción del Nivel de Servicio; por ello el Manual de Capacidad los relaciona con parámetros que pueden medirse y que son los más representativos del estado de la circulación en determinado tramo de carretera.

Los principales parámetros considerados por el HCM, para describir el tránsito en cualquier vía son:

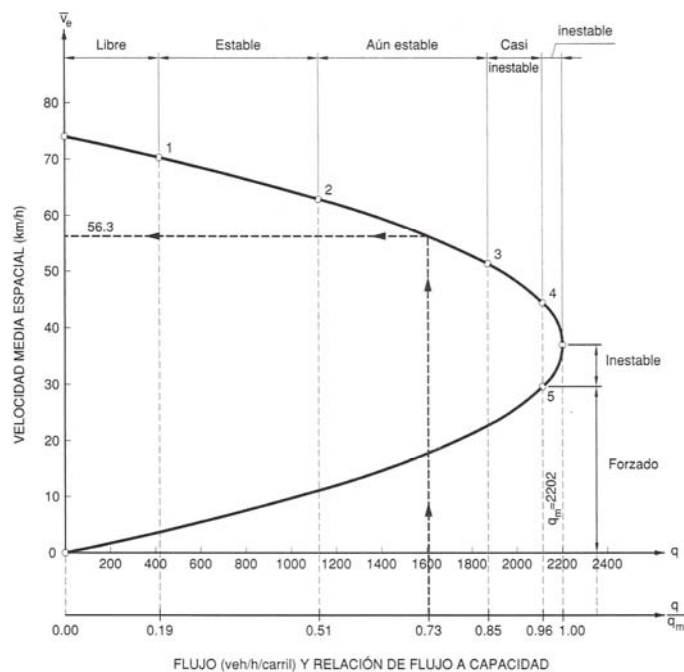
Volumen (V): Número total de vehículos que pasan por una sección de carril o carretera en un tiempo dado, se expresa en vehículos por hora, veh/h.

Flujo (v): Es el número equivalente de vehículos que pasan en un carril en 1 hora, midiendo cuantos pasan durante los 15 minutos de más alto tránsito y multiplicado por 4.

Velocidad (S): Velocidad promedio de circulación en un segmento de carretera, su símbolo es km/h. Es recíproca con el tiempo de viaje.

Densidad (D): Es el número de vehículos ocupando una longitud dada de pista, en un instante particular, expresada en veh/km, su fórmula es: $D = v/S$.

Como ejemplo en la siguiente gráfica, se ilustra el concepto de Nivel de Servicio para un flujo (q) de 1,600 veh/h/carril en un tramo con capacidad (q_m) de 2,200 veh/h/carril, al cual corresponde una relación flujo/capacidad de 0.73. Debido a que entre la velocidad y el flujo existe una relación parabólica, para un valor determinado del flujo hay asociados dos valores de velocidad. Su dinámica puede causar que este se reduzca por debajo de la capacidad con velocidad forzada, indicando que la operación ocurre a nivel de congestión. Para la relación 0.73 en condiciones de operación no congestionada, el servicio ofrecido es aún estable con velocidad media de 56.3 km/h.



Gráfica 1.2

1.5 Los conteos de tránsito

Los pavimentos se construyen en función de resistir el efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga tipo durante los años de su vida útil. Un tránsito mixto está compuesto de vehículos de diferente peso y número de ejes distinguiéndose livianos y pesados, los que para efectos de cálculo se les transforma en un número de ejes equivalentes a los que se denomina ESAL.

En el diseño de estructuras de pavimento es necesario conocer el número de vehículos que pasan por un punto dado o tránsito promedio diario anual, TPDA y para el efecto se realizan conteos de vehículos que pasarán por un punto determinado para determinar el TPDA. Éstos pueden variar desde los más amplios y sofisticados con varios días de duración en un sistema de caminos, hasta breves recuentos durante horas pico en lugares específicos como puentes o intersecciones.

De la Ruta CA-09 Norte se tienen datos históricos de los años 1967 a 1998 de 17 estaciones de conteo, localizadas estratégicamente entre los kilómetros 8 y 303, las cuales se identifican con los códigos 900 a 916, todas con historial del TPDA del período de los años 1967 a 1998. La información está disponible para todos los años con algunas excepciones, faltando sobre todo en los períodos 1976 y 1987 a 1990 en algunas estaciones de conteo y de 1995 a 1997 en todas.

Se aprecia que los conteos de tránsito de las estaciones de ambos extremos, cercanas a la capital y a los puertos, tienen valores mayores del TPDA que las otras tres.

Toda la información obtenida a partir de los conteos sirve para los fines de planificación y diseño de infraestructura vial, lo que indica la importancia de la calidad y fidelidad de los datos de campo.

En el Anexo No. 1 al final del presente trabajo en el Cuadro I.4 a) se muestran los datos históricos del tránsito promedio diario TPDA, de las 5 estaciones de conteo representativas de cada tramo durante 32 años comprendidos de 1967 a 1998.

Para obtener la tasa histórica de crecimiento del TPDA, de cada tipo de vehículo, a partir de los conteos históricos de tránsito de las 5 estaciones representativas de cada tramo, se extrapolaron los valores de los años faltantes, para mejorar tanto su correlación como el promedio aritmético de la tasa anual crecimiento. Seguidamente para cada estación representativa, se tabuló el porcentaje de variación interanual por tipo de vehículo, obteniendo el promedio aritmético del período, como indicador de la tasa anual de crecimiento histórica.

Del TPDA de los vehículos pesados tipo 7 solamente se tienen registros de cinco años de 1994 a 1998, ya que antes de esa fecha los mismos fueron incluidos dentro del tipo 4, siendo la tasa promedio de crecimiento de dicho período del 16.2% anual, mientras que en conteos diarios realizados en 2004 y 2006 fue 3.5%, por lo que se consideró asignar el mayor valor a la ponderación de la tasa histórica, juntamente con el valor del PIB y las tasas de crecimiento del número de unidades TEU de contenedores y del volumen de carga movilizadas tanto en el Puerto Santo Tomás de Castilla como en Puerto Barrios.

El valor del TPDA promedio para los años 2004 y 2006, en estaciones de conteo montadas por la DGC en períodos cortos de tiempo, se muestra en la siguiente tabla:

FECHA:	Ene, Jul y Sep 04	Sep 04	TPDA PROMEDIO 2004
Estación	901	Km. 4	
TPDA Promedio	1,126	1,277	1,201
Fecha	Feb 06	May 06	TPDA PROMEDIO 2006
Estación	Km. 288	P. Barrios	
TPDA Promedio	1,414	1,155	1,285

Tabla 1.3

De los datos de campo anteriores, por medio de interpolación se obtiene el valor para el año 2005.

AÑO	2004	2005	2006	PROMEDIO CRECIMIENTO
TPDA	1,201	1,243	1,285	
% CRECIMIENTO		3.5%	3.4%	3.4%

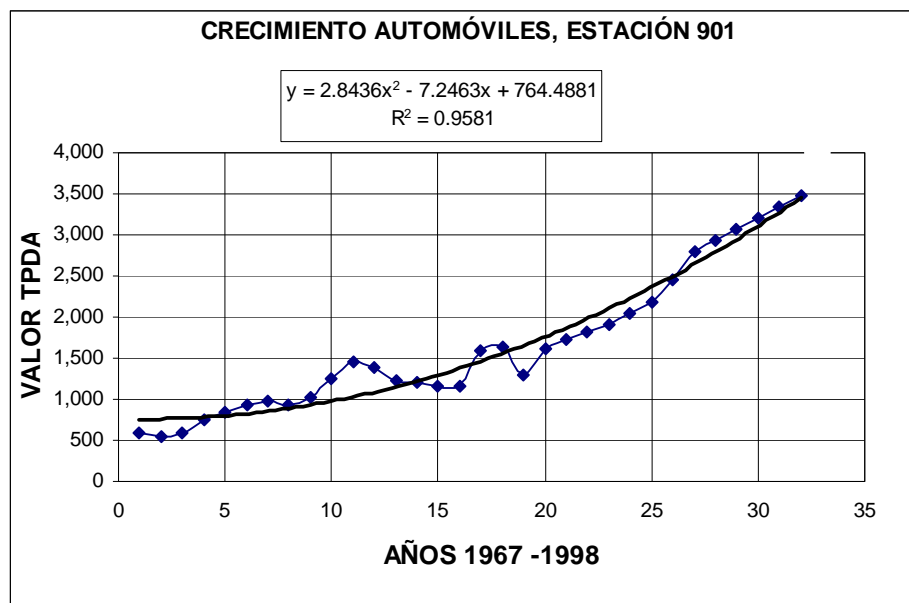
Tabla 1.4

El valor del TPDA de los conteos de los años 2004 y 2006 indica una tasa de crecimiento del 3.4% anual, a la cual le corresponde una correlación del 100%, por tener una diferencia significativa con los de los años 1994 a 1998, se consideró ponderar este valor con varios factores externos para el cálculo de la tasa de los vehículos tipo 7, obteniendo una tasa menor que la del período histórico.

1.6 Gráficas de las tasas de crecimiento históricas

Con el objeto de evaluar el comportamiento estadístico de los datos de los valores anuales de TPDA, se procedió a elaborar las del crecimiento histórico vehicular seleccionando la ecuación polinomial de segundo grado que mejor se ajusta a los valores tabulados, obteniendo de esa forma el grado de correlación R^2 , de cada vehículo por estación. A mayor coincidencia de la gráfica de la ecuación polinomial con los valores tabulados, el coeficiente de correlación se acerca a 1.0, lo que indica la relación entre los datos para cada uno de los vehículos.

Éstas se presentan en el Anexo al final del presente trabajo, a manera de ejemplo se muestra a continuación la de los valores TPDA a lo largo de 35 años de conteo histórico, con su respectiva ecuación polinomial de segundo grado para los vehículos tipo 1 de la estación 901.



Gráfica 1.3

A continuación se muestran las tasas promedio de crecimiento históricas y desviaciones estándar obtenidas en la estación representativa de cada tramo por tipo de vehículo, indicando con color sombreado los vehículos pesados.

Tasas históricas de crecimiento por Estación de Conteo y tipo de vehículo Datos del periodo de 1967 a 1998							
Tipo de vehículo / Número de estación	1	2	3	4	5	6	7
	Autos	Pick up	Camión C-2	Camión C-3 Trailer	Microbuses	Buses	Camión C-4 ó más T3-S2-R4
Estación 901	6.5%	8.9%	4.7%	9.3%	11.2%	10.3%	13.3%
Estación 903	8.8%	10.2%	5.7%	8.9%	23.3%	9.0%	15.5%
Estación 907	8.3%	10.4%	5.6%	10.2%	9.0%	5.5%	22.6%
Estación 909	9.5%	12.2%	4.5%	9.6%	16.4%	5.9%	17.5%
Estación 916	17.3%	12.8%	7.5%	11.0%	17.4%	16.8%	12.0%
Valor más alto	17.3%	12.8%	7.5%	11.0%	23.3%	16.8%	22.6%
Valor más bajo	<u>6.5%</u>	<u>8.9%</u>	<u>4.5%</u>	<u>8.9%</u>	<u>9.0%</u>	<u>5.5%</u>	<u>12.0%</u>
diferencia	10.8%	3.9%	3.0%	2.1%	14.3%	11.3%	10.6%
Promedio aritmético	10.1%	10.9%	5.6%	9.8%	15.5%	9.5%	16.2%
Desviación Standard	0.04	0.02	0.01	0.01	0.06	0.05	0.04

Tabla 1.5

Se aprecia que cuando mayor es la diferencia entre los valores máximos (vehículo tipo 7) y mínimos (vehículo tipo3), mayor es el valor de la desviación estándar por lo que un valor bajo de la misma indica valores del mismo rango. Los valores del tipo de vehículo 7 corresponden a los años 1994 a 1998.

Los vehículos livianos tipo 2 pickup, tipo 3 camión C-2 y los tipo 4 camión C-3 tienen las menores variaciones entre valores de crecimiento extremos, acorde

con el valor de la desviación estándar. Esto significa que la circulación y el crecimiento anual de dichos vehículos es uniforme a lo largo de la ruta.

En la Tabla 1.6 a continuación se presentan los valores de correlación del período de 1967 a 1998, obtenidos de la ecuación polinomial de segundo grado para los datos de cada uno de los 5 tramos.

**Correlaciones de valores históricos
de las Estaciones de Conteo representativas**

Tipo de vehículo / Número de estación	1	2	3	4	5	6	7*
	Autos	Pickups	Camión C-2	Camión C-3 Trailer	Microbuses	Buses	Camión C-4 ó más T3-S2-R4
Estación 901	0.940	0.938	0.910	0.982	0.901	0.837	1.000
Estación 903	0.875	0.916	0.729	0.915	0.799	0.797	0.968
Estación 907	0.865	0.942	0.739	0.882	0.671	0.945	0.993
Estación 909	0.915	0.897	0.408	0.982	0.649	0.865	0.966
Estación 916	0.834	0.812	0.874	0.982	0.762	0.714	0.980
Valor más alto	0.940	0.942	0.910	0.982	0.901	0.945	0.993
Valor más bajo	0.834	0.812	0.408	0.882	0.649	0.797	0.966
diferencia	0.106	0.130	0.503	0.100	0.252	0.149	0.027
Promedio aritmético	0.886	0.901	0.732	0.949	0.757	0.831	0.981
Desviación Standard	0.042	0.053	0.198	0.047	0.102	0.085	0.015

Tabla 1.6

La correlación más alta le corresponde a los tipo 7, los cuales tienen un período de conteo de solamente los últimos cinco años motivo por el que dicho valor debe ser evaluado en forma especial. La siguiente es para los camiones C-3 (vehículos tipo 4), siguiéndoles los pickup y automóviles con la mejor correlación en toda la ruta en el período del conteo histórico de 32 años.

1.7 Determinación de las diferentes tasas de crecimiento

Los valores de correlación anteriores indican lo variable que son las tasas de crecimiento vehicular, que dependen del comportamiento de otros factores externos tales como: cantidad de vehículos nuevos y usados importados al país, variación anual de la economía medida por medio del producto interno bruto PIB, aumento de la población, volumen de carga manejado en los puertos del Atlántico, etc. En el presente estudio se usarán tasas ponderadas para cada uno de los cinco tramos considerando los efectos de los factores mencionados por tener datos disponibles, sin embargo no son los únicos que afectan al crecimiento vehicular. Aunque la tendencia de las tasas de crecimiento es al infinito, las proyecciones de tránsito no necesariamente tienen ese comportamiento, por ser el sector transporte una variable dependiente de factores externos.

En tierras guatemaltecas circulan 1,3 millones de automotores, con un aumento de 250.000 unidades en los últimos cinco años. De acuerdo con los datos del Ministerio de Finanzas, el crecimiento promedio anual de placas particulares para vehículos livianos en el período 1993 – 1998 fue del 14% y de 1998 a 2002 fue del 10% anual, incluyendo vehículos importados nuevos y usados. Su tasa de crecimiento se determinó a partir de los siguientes datos de Importadores de Vehículos Automotores.

TOTAL DE AUTOMÓVILES IMPORTADOS

AÑO	USADOS	NUEVOS	TOTAL	INCREMENTO	
				CANTIDAD	% ANUAL
2000	46,175	14,270	60,445		
2001	44,348	14,798	59,146	-1,299	-2.15%
2002	31,710	19,562	51,272	-7,874	-13.31%
2003	31,263	27,441	58,704	7,432	14.50%
2004	34,271	33,402	67,673	8,969	15.28%
2005	66,253	38,502	104,755	37,082	54.80%
2006	88,348	38,553	126,901	22,146	21.14%
			PROMEDIO	15.04%	

Tabla 1.7

La tasa de crecimiento del parque vehicular fue del 15% anual en todo el país, igualando al rango alto del crecimiento vehicular histórico del 16.2% en la ruta al Atlántico. El porcentaje de vehículos usados fue del 64.7%, contra 35.3% nuevos.

Al ponderar a partes iguales los datos de tasas de crecimiento de automóviles y pickups, con el aumento de los vehículos importados nuevos y usados, resultan tasas de anuales promedio de 12.5% para automóviles y 12.9% para pickups, las cuales son mayores a las históricas.

El crecimiento de los camiones tipo 3 y 4, de dos y tres ejes ha sido del 5.6% y 9.8% anual, siendo el de los C-2 el menor de todos, lo cual resulta lógico con el incremento del uso de los C-3 y C-4 que son más eficientes para el transporte de carga en una ruta larga. El índice de correlación de los C-2 fue del 73.2%, mientras que el de los C-3 fue del 94.9%, indicando mayor confiabilidad en los datos del segundo.

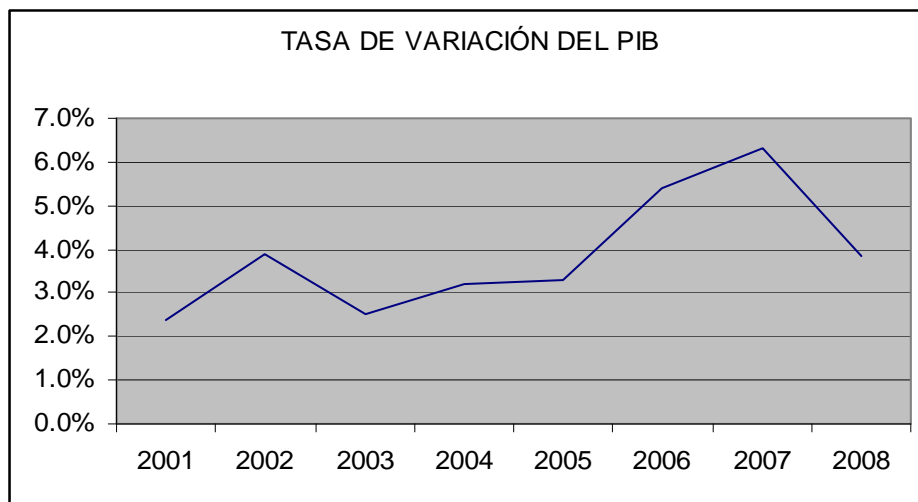
Existe una relación directa entre volumen de carga y variación del Producto Interno Bruto, ya que al haber mayor intercambio de bienes de consumo aumenta el transporte de carga, por lo que el valor del índice es una medida

de referencia para muchas apreciaciones relacionadas con la economía guatemalteca, de acuerdo con el Banco de Guatemala sus valores han ido mejorando en los últimos años según se aprecia a continuación.

VARIACIÓN ANUAL DEL PIB

AÑO	TASA
2001	2.4%
2002	3.9%
2003	2.5%
2004	3.2%
2005	3.3%
2006	5.4%
2007	6.3%
2008	3.8%
PROMEDIO	3.9%

Tabla 1.8



Gráfica 1.4

El comportamiento de la economía muestra un descenso hacia el año 2003, con un leve incremento en 2004 y 2005, alcanzando un repunte a partir de 2006, correspondiéndole un valor máximo en 2007 y una disminución en 2008. El valor promedio de la tasa de crecimiento del PIB del período fue del 3.9%. Al ponderar la tasa de crecimiento del TPDA histórica de los vehículos tipo 3 y

4 con la del PIB indicador de la economía, resultan tasas promedio anuales de 5.0% y 7.2% respectivamente, las cuales son menores que las históricas.

Tal como se muestra en la Tabla 1.5, para el transporte colectivo el crecimiento histórico fue del 9.5% anual para buses y 15.5% para microbuses. siendo usados los primeros en tramos cortos y los segundos en largos. Estos valores de crecimiento superan al de los camiones de carga y vehículos livianos y sus índices de correlación están en el orden del 75.7% y 83.1%, lo que indica que pueden variar entre un año y otro. Para el presente estudio dichas tasas fueron ponderadas con el índice del PIB ya indicado anteriormente y el crecimiento poblacional.

Según datos de los Censos Poblacionales realizados por el Instituto Nacional de Estadística el aumento poblacional se muestra en la siguiente tabla.

CENSO POBLACIONAL	AÑO	POBLACIÓN	TASA INTERCENSAL
VII	1964	4,288,000	
VIII	1973	5,160,221	2.0%
IX	1981	6,054,227	1.9%
X	1994	8,331,874	2.9%
XI	2002	11,237,196	3.9%
		promedio	2.7%

Tabla 1.9

Las tasas promedio de crecimiento resultantes de la ponderación del crecimiento histórico con el PIB y la población para los vehículos tipo 5 y 6 son del 7.4% y 5.4% respectivamente, siendo éstos casi 50% menores que los históricos.

El comportamiento de la economía incide en el crecimiento del comercio y del transporte terrestre de carga, lo que significa que el de carga seguirá creciendo a un ritmo anual similar.

En el caso de los vehículos tipo 7 la tasa promedio de crecimiento histórica correspondiente a registros de los últimos cinco años de 1994 a 1998 fue del 16.2% anual.

La cantidad de vehículos de transporte pesado tipo 7 está dominada por la cantidad de TEU vacíos y llenos movilizados por los principales puertos del Atlántico, donde se genera la mayor parte de la carga transportada en la ruta tal como se muestra en la tabla a continuación.

MOVIMIENTO DE CONTENEDORES DE 20', IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN						
Contenedores	2001	2002	2003	2004	2005	TASA PROMEDIO ANUAL
PUERTO BARRIOS	93,571	119,250	119,351	114,108	116,476	
SANTO TOMÁS DE CASTILLA	122,555	112,077	132,838	143,420	142,972	
TOTAL	218,127	233,329	254,192	259,532	261,453	252,127
CRECIMIENTO ANUAL		7.0%	8.9%	2.1%	0.7%	4.7%

Tabla 1.10

Los datos de las portuarias de los años 2001 a 2005 indican que la cantidad de contenedores creció a razón del 4.7% anual, teniendo un promedio de circulación anual de 252,127 TEU, equivalente a un TPDA de 691 contenedores circulando diariamente por la ruta CA-09N en ambas direcciones. Dicho valor es menor al conteo realizado por la DGC en los años 2004 y 2006.

Otro factor que afecta el volumen de los vehículos tipo 7 es la cantidad de toneladas movilizadas en los dos puertos del Atlántico, según datos de la Empresa Portuaria Santo Tomás de Castilla y de la Compañía Bananera de Guatemala que opera Puerto Barrios, cuyos valores se muestran en la siguiente tabla.

**TONELAJE TOTAL MOVILIZADO
PUERTOS DEL ATLÁNTICO**

AÑOS	TON. CARGA MOVILIZADA	% INCREMENTO ANUAL
1999	6,189,000.00	
2000	6,446,000.00	4.15%
2001	6,181,000.00	-4.11%
2002	6,881,491.38	11.33%
2003	6,389,642.44	-7.15%
2004	6,431,341.32	0.65%
2005	6,403,400.00	-0.43%
PROM.	6,417,410.73	0.74%

Tabla 1.11

De acuerdo con lo indicado en la tabla anterior las toneladas movilizadas disminuyeron en el año 2001 llegando a su mayor valor en 2002, habiendo recuperado levemente su crecimiento en el año 2004, con un descenso en 2005.

Como resultado de ponderar en partes iguales la tasa de crecimiento histórica de los últimos cinco años, con la de los conteos diarios realizados en 2004 y 2006 juntamente con la variación del PIB, de los contenedores atendidos en los puertos y las toneladas de carga movilizada tanto en el Puerto Santo Tomás de Castilla como en Puerto Barrios, se obtuvo una tasa promedio de crecimiento del 5.8% anual valor considerablemente menor que el histórico.

Las tasas ponderadas de crecimiento anual utilizadas en el presente estudio, por tipo de vehículo, obtenidas a partir de las tasas históricas de crecimiento encontradas, cuyos valores fueron comparados con los de los factores externos indicados anteriormente, se muestran en la Tabla 1.12 a continuación.

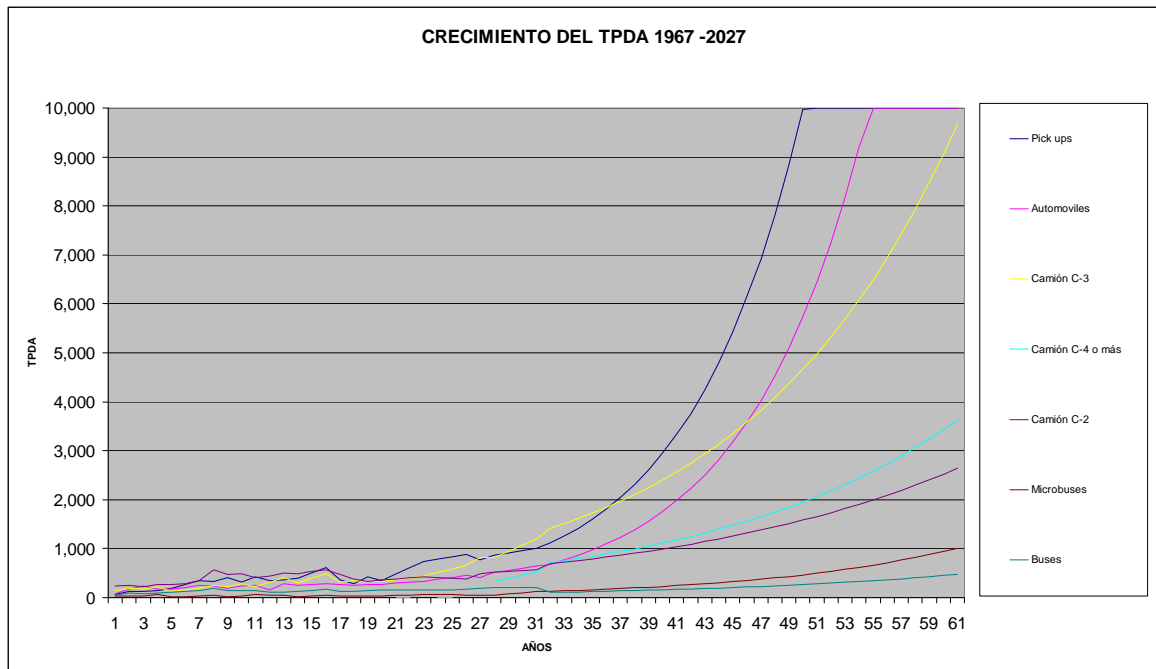
TIPO DE VEHÍCULO	1	2	3	4	5	6	7
	Autos	Pickup	Camión C-2	Camión C-3 Trailer	Micro buses	Buses	Camión C-4 ó más T3-S2-R4
TASA HISTÓRICA DE CRECIMIENTO PROMEDIO ANUAL	10.1%	10.9%	5.6%	9.8%	15.5%	9.5%	16.2%
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL VEHÍCULOS IMPORTADOS	15.0%	15.0%					
TASA VARIACIÓN ANUAL DEL PIB			3.9%	3.9%	3.9%	3.9%	3.9%
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DE LA POBLACIÓN					2.7%	2.7%	
TASA DE CRECIMIENTO TPDA 2004 -2006							3.4%
CRECIMIENTO DE CONTENEDORES EN PUERTOS DEL ATLÁNTICO							4.7%
TASA ANUAL DE CARGA MOVILIZADA EN PUERTOS DEL ATLÁNTICO							0.7%
TASA PONDERADA DE CRECIMIENTO PROMEDIO ANUAL	12.6%	13.0%	4.8%	6.9%	7.4%	5.4%	5.8%

Tabla 1.12

La ponderación de las tasas históricas con las de los factores externos considerados, se debe tomar como referencia y no como proyección exacta, ya que su comportamiento está sujeto a condiciones externas que pueden cambiar y a otras como las climáticas.

En las siguientes gráficas se aprecia el comportamiento del crecimiento del TPDA durante el período histórico de crecimiento (años 1967 – 1998; 1 a 31) y las tasas proyectadas en los siguientes 28 años (1999 – 2027; 32 a 60), para los diferentes tipos de vehículos. Se observa que el tiempo transcurrido para alcanzar un volumen de 5,000 TPDA es de 40 años, que se incrementa a partir del año 30 (1997) con un crecimiento elevado y que en los siguientes 20 años el crecimiento de los pickups superará la barrera de 35,000 TPDA, mientras los automóviles tienden a llegar a 20,000 TPDA y los camiones C-3 a 10,000 TPDA, ya que los camiones C-4 o más ejes, camión C-2, microbuses y buses no superarán los 5,000 TPDA. Aunque la tasa de crecimiento es exponencial, el crecimiento vehicular no tendrá ese ritmo, pues no puede crecer continuamente.

Se muestra el comportamiento del TPDA para valores menores de 10,000.



Gráfica 1.5

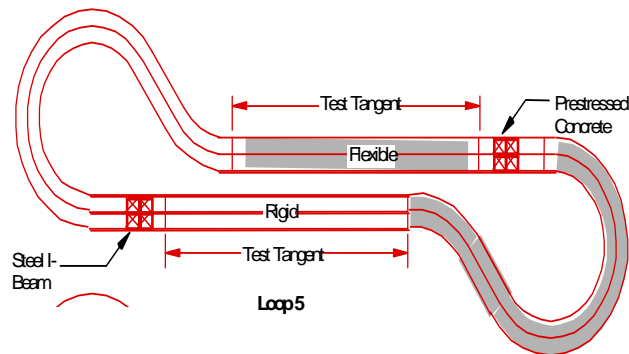
En el Anexo I al final del presente trabajo en el Cuadro I.4 se muestra el análisis de los datos históricos del tránsito promedio diario de las 5 estaciones de conteo, a partir del conteo histórico comprendido de 1967 a 1998 y los resultados obtenidos para las 5 estaciones de conteo, siendo éstos:

- a. Determinación de la tasa de crecimiento anual para cada tipo de vehículo.
- b. Gráficas de las tasas del crecimiento vehicular histórico de las cinco estaciones de conteo representativas de cada tramo.
- c. Cálculo del TPDA para el año 2007 de las estaciones representativas.
- d. Cálculo de ESAL para períodos de diseño de 10 y 20 años de cinco estaciones.

2. DETERMINACIÓN DE EJES EQUIVALENTES

2.1 Método AASHTO

El Método AASHTO tiene sus orígenes en el *AASHTO Road Test*, como fuente primaria de los datos utilizados para considerar políticas de transporte y diseño estructural de caminos, realizado a partir del año 1957 por la entonces Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales, AASHTO por sus siglas en inglés, en Ottawa, Illinois, el cual con una inversión de \$.27 millones fue el mayor experimento de carreteras en su época. El estudio consistió en el análisis del comportamiento de diferentes capas, que forman la estructura del pavimento, con espesores y características físicas y mecánicas de los materiales conocidas, divididos en seis circuitos de dos vías con igual geometría, similares al circuito cinco mostrado en la Gráfica 2.1, cada uno con diferentes diseños de pavimentos flexibles y rígidos y con estructuras de acero y concreto en puentes pequeños. De los seis, cinco fueron sometidos al efecto de cargas en movimiento transportadas por diferentes tipos de camiones, con magnitud y frecuencia conocida. Uno de ellos no fue sujeto de tránsito, sino solamente usado para medir los efectos ambientales sobre los materiales utilizados en su estructura, ya que las variaciones estacionales en la zona oscilan entre una temperatura de 25°C en verano con 837 mm de precipitación media anual y menos 3°C en invierno, con un promedio anual de 711 mm de nieve.



Gráfica 2.1

La información obtenida del *AASHTO Road Test* fue crucial para el avance del conocimiento del diseño estructural de pavimentos rígidos y flexibles. Se observó y evaluó su comportamiento, considerando los principales factores involucrados como: características de los materiales de las distintas capas que forman su estructura, carga transportada, efectos del clima y otras variables. De los datos recopilados del comportamiento básico surgió el Método AASHTO para Diseño de Pavimentos con términos, ecuaciones empíricas basadas en la serviciabilidad y comportamiento con nomogramas usados en la Guía AASHTO, los cuales se mantienen actualizados mediante un programa de Investigación y Desarrollo permanente.

De la cuantificación de cargas y del análisis del efecto de los ejes del transporte pesado sobre estructuras de pavimento conocidas, se desarrollan las ecuaciones para pavimentos flexibles y rígidos, obteniéndose valores para los factores de carga equivalentes, *Load Equivalent Factors*, LEF, para cada tipo de vehículo.

Entre los términos que definen los principales conceptos utilizados en el Método AASHTO, sobresalen los siguientes:

- ❖ Eje de Carga Simple Equivalente, en inglés: *Equivalent Single Axial Load*, ESAL, surgido del AASHO Road Test, a través del análisis del gran volumen de datos recopilados entre 1958 y 1961.
- ❖ Número Estructural, en inglés: *Structural Number*, SN, es definido por AASHTO como un número abstracto que representa la resistencia estructural de un pavimento, para una combinación dada de las características de materiales, ESAL, Pt y condiciones ambientales.
- ❖ Factor Equivalente de Carga, en inglés: *Load Equivalent Factor*, LEF, es un valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad, causada por una carga dada de un tipo de eje y la producida por el eje estándar de 18,000 libras (80 kN ó 8.16 t).
- ❖ Índice de Serviabilidad Final del Pavimento, Pt, es un número abstracto que para un pavimento viejo con señales de deterioro oscila entre 2.0 y 3.0. El Índice de Serviabilidad Inicial del Pavimento nuevo, Po, generalmente se encuentra entre 4.0 y 5.0, siendo la variación entre Po y Pt conocida como pérdida de la Serviabilidad para la cual fue diseñado.

Las ecuaciones para encontrar los valores LEF, fueron debidamente verificados y calibrados mediante un estudio llevado a cabo por el *Trucking Research Institute* (TRI) en 1991, para reanalizar los datos del *AASHO Road Test*, encontrando que los valores LEF para pavimentos flexibles y rígidos pueden ser mayores para cargas livianas y menores para ejes de carga pesados, comparados con los valores LEF de AASHTO. Lo anterior indica que con el diseño AASHTO los valores LEF utilizados para dichos ejes son mayores de los que realmente están circulando, lo que proporciona un factor

de seguridad adicional al período de vida del pavimento del diseño, ya que los valores LEF para vehículos livianos son insignificantes.

La siguiente Fórmula 2.1 permite conocer el valor de un eje con carga conocida en términos de eje equivalente de 18 kips.

$$\frac{W_x}{W_{18}} = \left[\frac{L_{18} + L_{2s}}{L_x + L_{2x}} \right]^{4.79} \left[\frac{10^{G/\beta_x}}{10^{G/\beta_{18}}} \right] [L_{2x}]^{4.33}$$

W = Aplicación de carga por eje

L_x = Factor equivalente de carga bajo evaluación (kips)

L₁₈ = 18 (valor estándar de carga en kips)

L₁ = 1 (código configuración de ejes simple)

L₂ = 2 (código configuración de ejes tandem o doble)

L₃ = 3 (código configuración de ejes triple)

1 = single axle

2 = tandem axle

3 = triple axle (added in the 1986 AASHTO Guide)

x = axle load equivalency factor being evaluated

s = code for standard axle = 1 (single axle)

$$G = \log \left(\frac{4.2 - p_t}{4.2 - 1.5} \right) \quad \text{a function of the ratio of loss in serviceability at time, t, to the potential loss taken at a point where } p_t = 1.5$$

p_t = "terminal" serviceability index (point at which the pavement is considered to be at the end of its useful life)

Fórmula 2.1

2.2 Los ejes de carga simples equivalentes

El Método AASTHO de Diseño de Pavimentos utiliza el concepto del *Eje* de carga Simple Equivalente, en inglés: *Equivalent Single Axial Load*, ESAL, como un valor que representa el peso del total de vehículos que transitan por un tramo de carretera en un período de tiempo determinado.

De acuerdo con el Método AASHTO 93, los pavimentos se proyectan para que resistan una determinada cantidad de carga vehicular de todos los vehículos que circularán en una carretera durante el período de diseño o de vida útil, dicha carga es expresada en valores ESAL.

Los principales factores que intervienen en el procedimiento son:

- ❖ Los Conteos de Tránsito nos permiten conocer la cantidad promedio diaria anual, de cada uno de los vehículos de diseño que transitan por un punto fijo de una carretera, de los resultados son proyectados los valores para el Tránsito Promedio Diario Anual, TPDA, los cuales dependen de la calidad del Conteo.
- ❖ Las Tasas Anuales de Crecimiento para cada uno de los siete vehículos de diseño, permiten simular el del parque vehicular mediante la proyección del TPDA por los años de duración del período de diseño.
- ❖ Los pesos de cada tipo de vehículo, considerando las cargas máximas de cada eje, tienen su correspondiente valor de Factor Equivalente de Carga, en inglés: *Load Equivalent Factor*, LEF. En las tablas de los apéndices del Método AASHTO 93, la carga utilizada se expresa en kips, peso equivalente a mil libras.

- ❖ Factor de Carga. Para efectos del presente estudio se propone usar un valor de Factor de Carga igual a uno; $FC = 1$, este valor permite cubrir los excesos de carga no detectados por falta de básculas de control. Se debe de analizar el movimiento de la carga para evaluar este factor.
- ❖ Factor por Carril. Se aplica en el caso de dos ó más carriles en un sentido, para un carril en cada sentido su valor es 1.0. El rango de su valor en el caso de dos en cada sentido varía entre 0.8 y 1.0.
- ❖ Factor por Sentido. En el caso de conteos en rutas de dos carriles, se aplica un Factor por Sentido del Tránsito igual a 0.5, siempre que no exista balance en la carga transportada, es decir distribuida uniformemente.

Para cada uno de los diferentes siete tipos de vehículos de diseño utilizados en Guatemala se calculó el valor ESAL, el cual está compuesto por la sumatoria total de los ejes equivalentes acumulados durante el período de diseño, considerando la influencia del número de ejes y cargas de diferentes vehículos que transitarán sobre un determinado tipo de pavimento. Para efectos de cálculo se les transforma en un número equivalente de Ejes Tipo con un peso aplicado de ruedas por eje de 8,165 kg, (80 kN) ó 18,000 lb., (18 Kips), considerando además un valor representativo de número estructural, SN, para pavimentos flexibles y de espesor de la losa en el caso de pavimentos rígidos, el cual es comparado con el valor de la carga para conocer el respectivo Factor Equivalente de Carga, LEF, por tipo de vehículo.

El cálculo de la proyección de la tasa de crecimiento del tránsito promedio diario anual TPDA durante el período de diseño, se desarrolló tal como se indica en el Capítulo 1.

El valor de los ejes equivalentes acumulados para un período de diseño determinado sirve para determinar la duración de la estructura de pavimento, ya que los diferentes tipos de las mismas tienen una duración que depende de la intensidad de su uso y los cuidados que se tengan en el control de cargas y mantenimiento. En buenas condiciones se puede lograr el Índice de Serviciabilidad final de diseño.

En el presente trabajo se consideran para el cálculo de ESAL que todo el TPDA de vehículos pesados lleva carga completa. Al asumir que todos los viajes son cargados se refleja un mayor valor de ESAL, que el que se obtendría al disponer de los datos estadísticos de las Estaciones de Basculas, indicando la cantidad de los que viajan vacíos y llenos, el aplicar esta carga se considera como un factor de seguridad en el diseño del pavimento.

En las siguientes tablas se muestra el cálculo efectuado para determinar el ESAL para un período de diseño de 10 años en la estación de conteo 901 a partir del tránsito promedio diario anual proyectado para el año 2007, obtenido por medio de los conteos de tránsito (columna A), el cual al ser multiplicado por el factor de crecimiento, Growing Factor (columna B), de la fórmula de la AASHTO que considera “n” como número de años y “g” como tasa anual crecimiento, tal como se indica a continuación.

$$GF = \frac{(1+g)^n - 1}{g}$$

Fórmula 2.2

En la siguiente tabla se muestra como se obtiene el tránsito de diseño proyectado a un período de 10 años, multiplicando el valor del TPDA por los 365 días del año y dicho valor a su vez multiplicado por los factores de crecimiento (columna C), de distribución por dirección o sentido, D.D. (columna D), de distribución por pista o carril, L.D. (columna E), equivalentes por eje (columna F) y de camión (columna G) permite conocer el valor ESAL para ese período de diseño (columna I).

ESTACIÓN: 901			KILÓMETRO: 8.00			
TIPO: "B"						
Tramo: Puente Belice - Lo de Rodríguez						
Cálculo del total de ESAL para cada tipo de vehículo, período de diseño de 10 años						
	A		B	C=A*B*365	D	E
Tipo de vehículo	TPDA 2007	Tasa crecimiento anual (g)	Factor de crecimiento	Tránsito de diseño a 10 años	D. D.	L. D.
1. Automóvil	8,720	10.75%	16.52	52,594,852	0.50	1.00
2. Pickup	10,462	11.97%	17.52	66,903,502	0.50	1.00
3. Camión C-2	3,110	4.30%	12.18	13,822,983	0.50	1.00
4. Camión C-3	3,026	6.60%	13.56	14,978,113	0.50	1.00
5. Microbús	1,120	5.94%	13.15	5,371,972	0.50	1.00
6. Autobús	1,814	5.65%	12.96	8,584,861	0.50	1.00
7. Trailer C-4	1,327	5.20%	12.70	6,148,962	0.50	1.00
	29,579			461,384		

	G	H=A*365*D*E*F*G	I=C*D*E*F*G		
Factor Equivalente	Factor de Camión	ESAL 2007	ESAL 2017	% ESALs	% Tipo de vehículo
0.0002	1.0000	318	5,259	0.01%	29.5%
0.0029	1.0000	5,537	97,010	0.25%	35.4%
2.3120	1.0000	1,312,259	15,979,368	41.58%	10.5%
1.6020	1.0000	884,740	11,997,469	31.22%	10.2%
0.0029	1.0000	593	7,789	0.02%	3.8%
0.5075	1.0000	168,039	2,178,409	5.67%	6.1%
2.6564	1.0000	643,320	8,167,052	21.25%	4.5%
TOTAL ESALs PARA PERÍODO DE DISEÑO DE 10 AÑOS		3,014,806	38,432,356	100.0%	100.0%
PORCENTAJE ESAL VEHICULOS PESADOS		99.8%	99.7%		

Tabla 2.1

El cálculo del valor ESAL al año de inicio de la vida útil es similar al anterior, lo único que considerando un período de un año (columna H). Se observa que el aporte al valor ESAL es debido en su mayor parte al transporte pesado. En el Anexo I, al final del presente trabajo, se muestran los cálculos para cada una de las estaciones representativas de los distintos tramos, para los períodos de diseño de 10 y 20 años.

2.3 Pesos y dimensiones

Existen diferencias entre las dimensiones de los distintos tipos de vehículos; en los livianos la longitud de los más pequeños puede variar entre los 3.50 y 4.00 m, su ancho entre 1.50 y 1.65 m, mientras su masa es de unos 900 kg; los autos de tamaño mediano miden entre 4.00 y 4.50 m de largo, alrededor de 1.75 m de ancho y su masa es de 1,000 a 1,300 kg; los más grandes miden entre 4.80 y 5.50 m de longitud, entre 1.60 y 1.80 de ancho y masa entre 1,500 y 2,000 kg. La altura de los autos suele estar comprendida entre 1.40 y 1.80m, aunque los de tipo deportivo suelen tener una altura inferior a 1.30 m y los camionetas de doble tracción entre 1.80 y 2.00 m. Los pickups tienen longitudes y anchos similares a los de los autos de mayor tamaño, con alturas del orden de 2.00 m, su masa total cuando están cargados es mayor que un automóvil, pero inferior a la de los camiones.

Los buses de pasajeros consisten en camionetas de dos ejes traseros o pullman de dos y tres ejes traseros, con capacidad de 48 pasajeros las de doce filas, aunque en horas pico circulan sobrecargando la unidad transportando hasta 60 pasajeros, exponiéndose a las condiciones fatales de un accidente.

Entre los vehículos pesados, camiones y cabezales con plataformas, los de mayor capacidad tienen dimensiones y masas muy cercanas o iguales a los límites máximos legales. Existen incluso vehículos no destinados a circular por carreteras que superan las dimensiones máximas legales, como ocurre con los de transporte de materiales en el interior de grandes proyectos de construcción, canteras, minas y otros.

Respecto a las normas utilizadas para definir pesos y dimensiones, los países del área se han regido por las desarrolladas por la Secretaría de Integración Económica Centroamericana, SIECA, aprobadas en 1958. Cada país ha generado sus propias tablas de clasificación vehicular y en el año 2001 fueron estandarizadas a raíz del Acuerdo Centroamericano sobre Circulación por Carreteras de SIECA, tal como se presenta a continuación.

Límites de peso por eje en toneladas

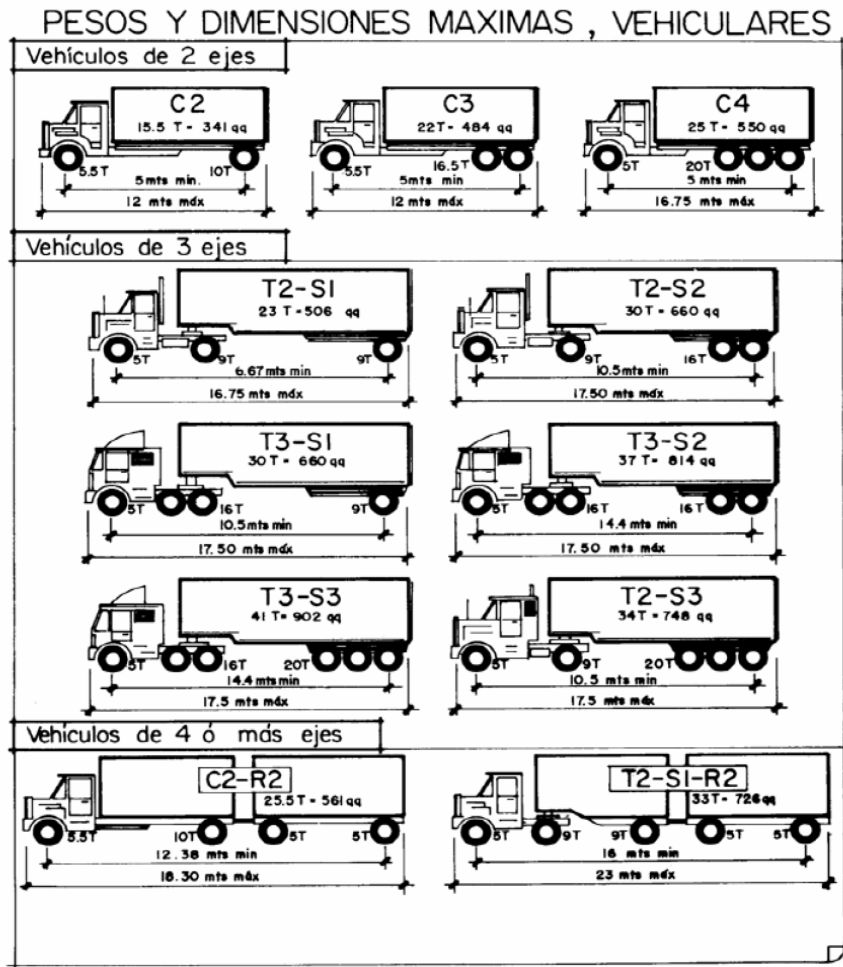
Pesos máximos autorizados, en toneladas métricas								
Secretaría de Integración Económica Centroamericana, SIECA								
Tipo de vehículo	Eje simple direccional	Eje de tracción			Eje de arrastre			Total (toneladas)
		Eje simple	Doble rueda	Triple rueda	Eje simple	Doble rueda	Triple rueda	
C-2	5.00	10.00	-	-	-	-	-	15.00
C-3	5.00	-	16.50	-	-	-	-	21.50
C-4	5.00	-	-	20.00	-	-	-	25.00
T2 S1	5.00	9.00	-	-	9.00	-	-	23.00
T2 S2	5.00	9.00	-	-	-	16.00	-	30.00
T2 S3	5.00	9.00	-	-	-	-	20.00	34.00
T3 S2	5.00	-	16.00	-	-	16.00	-	37.00
T3 S3	5.00	-	16.00	-	-	-	20.00	41.00
otros	-	-	-	-	-	-	-	variable

Limite de peso por eje

Tabla 2.2

El eje delantero de un vehículo pesado se conoce como eje simple direccional y el trasero como de tracción. Los ejes de arrastre se refieren a plataformas tipo S1, S2 y S3 de carga, para ser remolcadas por un vehículo pesado o cabezal tipo T2 o T3. El Reglamento para el Control de Pesos y Dimensiones de Vehículos Automotores y sus Combinaciones, de la Dirección General de Caminos, en su revisión de 1992 tiene como única diferencia que acepta 5.5 toneladas en el eje simple direccional delantero de los camiones tipo C-2 y C-3. En general el peso máximo de carga permitido por llanta es de 8.16 toneladas (18,000 libras).

En la siguiente gráfica se muestran los principales tipos de vehículos con sus pesos y dimensiones máximas, de acuerdo con el Reglamento para el Control de Pesos y Dimensiones de Vehículos Automotores y sus Combinaciones, de la Dirección General de Caminos de 1992.



Gráfica 2.2

2.4 Influencia del Peso en el Factor de Equivalencia

El Reglamento para el Control de Pesos y Dimensiones de Vehículos Automotores, regula el peso del vehículo ya que es la principal causa del deterioro de la vida útil del pavimento, protegiendo así la inversión de los fondos estatales en construcción, mantenimiento y rehabilitación de carreteras y la inversión privada en medios de transporte. Para el control de la carga transmitida al pavimento por medio de las ruedas, el mismo establece que la presión de inflado de las llantas en ningún caso debe exceder de 7 Kg/cm², (100 psi), hasta los límites permitidos de toneladas de carga y tamaños máximos.

El deterioro de los pavimentos es un hecho real, siendo el principal factor de su desgaste el peso de la carga que transportan los vehículos. Se han desarrollado varios métodos de análisis para la comprensión del efecto de la carga sobre el mismo, éstos se clasifican en modelos mecánicos basados en la teoría establecida y métodos empíricos fundamentados en las series estadísticas. El Banco Mundial ha propuesto para conocer el estado de un pavimento, medir el nivel de deterioro de las carreteras a través del Índice Internacional de Rugosidad, IRI.

Podemos cuantificar y comparar distintas proyecciones del crecimiento del parque vehicular a futuro bajo distintos escenarios, encontrando que siempre será el tránsito pesado el que aporte los mayores valores ESAL y el liviano los menores.

Un grave problema que afecta la duración de las carreteras es el exceso de carga, sobre los límites permitidos, que transita por ellas. De acuerdo con los límites de peso mostrados en la Tabla 2.2 un cabezal con remolque tipo T3-S2

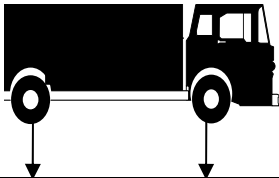
puede transportar hasta 37 toneladas de carga, mientras que un tipo T3-S3 puede llevar un máximo de 41 toneladas, si en las carreteras circulan los mismos vehículos con excesos sobre la carga permisible, lo cual depende de la topografía de la ruta ya que mientras más suave sea la pendiente de la ruta, mayor será la probabilidad de transportar excesos de carga, dependiendo de la presencia o ausencia de básculas de control. Estos excesos incrementan el valor del Factor Equivalente de Carga LEF, en forma exponencial de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Incremento} := 100 \cdot \left(\frac{C_m}{C_p} \right)^4$$

Fórmula 2.3

2.5 Efectos del incremento sobre la carga permitida

El valor Incrementado representa el número de veces que aumenta el valor LEF, como resultado del incremento de Cm; carga medida transportada sobre Cp; carga máxima permitida por el Reglamento de Pesos y Dimensiones. En la siguiente gráfica se muestra como el efecto de 3.75 toneladas de carga adicionales en un camión C-2 que tiene Cm de 15 toneladas, equivalente a un 25% de sobrecarga eleva el valor LEF en 144%.



CAMIÓN C-2	toneladas		INCREMENTO LEF	%
	atrás	adelante		
Carga Permitida (t)	10.00	5.00	2.44	144.1
Carga Medida (t)	12.50	6.25		

Gráfica 2.3

Como aplicación de la fórmula de incremento, en la siguiente tabla se han calculado valores de incremento del LEF debidos a excesos progresivos entre el 25% y 75% de la carga transportada sobre el máximo permisible. Para cada aumento porcentual de carga el valor resultante del LEF es el mismo para los diferentes tipos de camiones.

CAMIÓN CARGA	toneladas		% INCREMENTO LEF
	atrás	adelante	
Carga Permitida (Cp)	10.0	5.0	144
Carga con 25% exceso (Cm)	12.5	6.3	
Carga Permitida (Cp)	10.0	5.0	406
Carga con 50% exceso (Cm)	15.0	6.3	
Carga Permitida (Cp)	10.0	5.0	838
Carga con 75% exceso (Cm)	17.5	6.3	

Tabla 2.3

Se observa que una sobre carga del 25% incrementa la carga equivalente sobre el pavimento en 144%, mientras que una del 50% aumenta la carga en 400% y una extrema del 75% en más de 800% o sea 9 veces, transmitiendo dicho aumento en forma directa al valor ESAL reduciendo de esa forma la vida útil del pavimento, que en un menor tiempo alcanzará los valores ESAL de diseño.

En el Capítulo 4, por medio del análisis de sensibilidad se relacionan los efectos de incrementos del 10% y 25% en la variación del valor de la carga sobre los ejes equivalentes ESAL y del Número Estructural NE.

2.6 Determinación de los Ejes Equivalentes (ESAL)

La transformación del número equivalente de ejes de distinta naturaleza y peso en ejes equivalentes o ESALs es una tarea compleja. Es necesario fijar bien el concepto de que el tipo de eje y su peso, es más importante que el peso del vehículo en lo que respecta al comportamiento del pavimento.

Las diferentes cargas actuantes sobre un pavimento producen diferentes tensiones y deformaciones en el mismo. Además, variados espesores de pavimentos y materiales responden de distinta manera a una misma carga. Como diferentes cargas producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, las fallas serán distintas. Para tener en cuenta esta diferencia, el tránsito es reducido a un número equivalente de ejes de una determinada carga, que producirán el mismo daño que toda la composición del tránsito. Esta carga tipo según AASHO es de 80 kN, 18 Kips o 8.16 toneladas por eje, la conversión se hace a través de los factores equivalentes de carga LEF.

Para efectos prácticos en el siguiente trabajo se dividió la ruta en cinco tramos, proyectando los valores históricos de TPDA de los años 1967 a 1998 de las estaciones de conteo representativas de cada tramo, al año base 2007 por medio de la fórmula de valor futuro, para calcular el valor del ESAL para períodos de 10 y 20 años como resultado una fórmula que combina una serie de datos, siendo el principal el TPDA al inicio del período de diseño, el cual se incrementa con el factor de crecimiento o factor del valor futuro, a partir de la tasa de crecimiento adoptada y del número de años de diseño, multiplicado entre otros por el valor del factor equivalente de carga.

Se determinaron los valores de los factores equivalentes por eje para cada tipo de vehículo, utilizando las tablas de la AASHTO para diseño de pavimento

flexible, asumiendo los valores del Índice de Serviciabilidad final del pavimento, $P_t = 2.5$ y número estructural, $NE = 4.0$ y el factor de crecimiento, o *growing factor*, GF , en inglés, por medio de la fórmula mostrada en el inciso 2.2 (Fórmula 2.2).

Con los datos anteriores se procedió a calcular el valor del TPDA para el año base 2007, tal como se indica en la hoja “c” del cuadro IV en el anexo. El cálculo del número de ESALs para períodos de diseño de 10 y 20 años se indica en la hoja “d” del cuadro IV en el anexo, donde el valor del TPDA para el año 2007 se multiplica por el factor de crecimiento, GF ; el número de años de diseño; por 365 para obtener el volumen acumulado día a día del tránsito de diseño en ese período y por el factor equivalente de carga; de distribución por dirección; de distribución por pista y de camión, lo cual nos da como resultado el número de ESALs para el período de diseño.

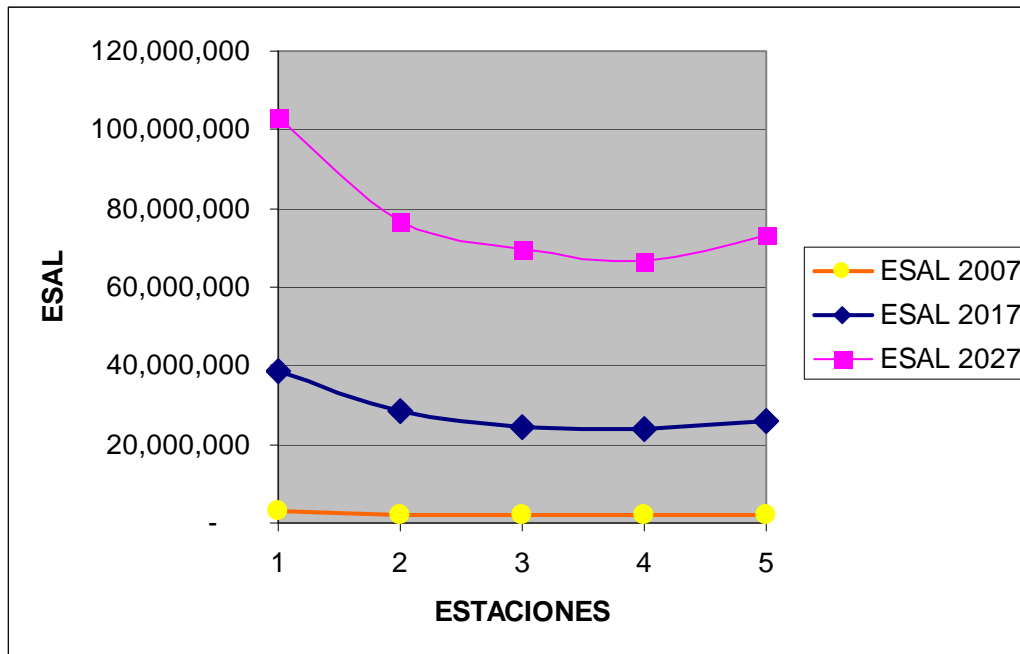
A continuación en la Tabla 2.4 se presenta el resumen de la proyección de los valores ESAL obtenidos en cada tramo a partir del año base 2007, para los períodos de diseño de 10 y 20 años respectivamente, indicando el aporte porcentual de ESAL debido al transporte pesado.

Valores de ESAL por Estación de Conteo y tipo de vehículo Año Base 2007			
ESTACIÓN 901	ESAL 2007	ESAL 10 años	ESAL 20 años
TOTAL ESAL	3,014,806	38,432,356	103,187,199
% ESAL V. PESADO	99.8%	99.7%	99.6%
ESTACIÓN 903	ESAL 2007	ESAL 10 años	ESAL 20 años
TOTAL ESAL	2,191,581	28,276,810	76,937,261
% ESAL V. PESADO	99.8%	99.8%	99.6%
ESTACIÓN 907	ESAL 2007	ESAL 10 años	ESAL 20 años
TOTAL ESAL	1,813,699	24,281,624	69,482,654
% ESAL V. PESADO	99.8%	99.7%	99.6%
ESTACIÓN 909	ESAL 2007	ESAL 10 años	ESAL 20 años
TOTAL ESAL	1,815,902	23,869,397	66,641,049
% ESAL V. PESADO	99.9%	99.8%	99.7%
ESTACIÓN 916	ESAL 2007	ESAL 10 años	ESAL 20 años
TOTAL ESAL	1,947,965	25,822,394	73,035,585
% ESAL V. PESADO	99.9%	99.5%	99.1%

Tabla 2.4

En la tabla anterior se observan mayores valores ESAL en los tramos de ambos extremos; dos del inicio y el final, lo que indica que el mayor tránsito del transporte pesado es ocasionado por la ubicación de industrias cercanas a la capital y los puertos de embarque. Se puede observar que casi todo el aporte de carga de ESAL es debido al transporte pesado, correspondiéndole un rango entre el 99.1% y el 99.9% del mismo.

Para comparar la relación entre el ESAL proyectado a 10 y 20 años, se elaboró la siguiente gráfica:



Gráfica 2.4

En la gráfica anterior resalta la diferencia del comportamiento entre ESAL a 10 y 20 años para cada estación de conteo, para los primeros 10 años los valores muestran menores diferencias al oscilar en un rango de 23 a 38 millones de ESAL, mientras que a 20 años plazo el rango está entre 66 y 103 millones de ESAL, lo que indica un crecimiento de más de 3 veces del ESAL en un lapso de 2 veces el tiempo, debido a la tasa de crecimiento vehicular. Esto indica un mayor desgaste del pavimento, que requerirá una mayor inversión en mantenimiento en el período de 10 a 20 años.

3. DETERMINACIÓN DE NÚMERO ESTRUCTURAL

3.1 Número Estructural

AASHTO lo define como un número abstracto que representa la resistencia estructural de un pavimento flexible requerida para una combinación dada de los valores del módulo de resiliencia, M_R , de los materiales de las distintas capas que componen la estructura del pavimento, del efecto de los ejes equivalentes ESAL, que circulan sobre el mismo, del Índice de Serviciabilidad deseado al final de la vida útil del pavimento y de las condiciones ambientales.

En el caso de los pavimentos rígidos de concreto hidráulico el factor preponderante es el espesor de la losa de concreto, a partir del módulo de elasticidad del concreto, E_C y de los otros valores considerados en el párrafo anterior.

De acuerdo a las fórmulas de la AASHTO para diseño de pavimentos flexibles a cada valor de ejes equivalentes, ESAL, le corresponde un valor de número estructural, NE, el cual es aportado por las distintas capas que componen la estructura del pavimento, siendo estas: sub rasante o terreno natural donde se apoyan las capas, capa de sub base, capa de base granular, capa de base de suelo cemento o asfalto y carpeta asfáltica de rodadura. El diseño a partir del NE aportado por cada capa de acuerdo a sus materiales y características, permite determinar los espesores de las mismas, para que el NE aportado sea igual o mayor al NE requerido. Su cálculo se hace por medio de la siguiente fórmula desarrollada por AAHSTO que relaciona NE con ESAL.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Fórmula 3.1

Entre las variables consideradas se encuentran el valor ESAL (W_{18}) del período de diseño, la confiabilidad o probabilidad de que el número de cargas aplicadas no excedan las que el pavimento pueda soportar (Z_R), la desviación estándar normal (S_o), la diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial (P_o) y el de serviciabilidad final (P_t) y el módulo de resiliencia de la subrasante (M_R).

Para encontrar el NE requerido, a partir del ESAL del período de diseño, en este trabajo se consideraron los siguiente valores: confiabilidad = 85.0, desviación estándar normal = 0.35, módulo de resiliencia de la subrasante = 10,000, índice de serviciabilidad inicial = 4.2 y final = 2.0.

El relacionar los valores del NE y del ESAL permite determinar los años de vida útil, ya que el valor del NE requerido en base al ESAL de diseño indica el momento cuando el pavimento alcanza su período de servicio y es necesaria su rehabilitación, permitiendo programar los trabajos antes que el deterioro avance y sea necesaria una reconstrucción del mismo.

En los procedimientos de diseño es necesario realizar un estudio del costo del ciclo de vida de las alternativas de pavimento consideradas, que le permitan al diseñador tomar una decisión sobre los tipos de pavimento más convenientes a construir, considerando también las políticas de mantenimiento.

El diseño estructural de un pavimento comienza con la previsión de los tipos y volúmenes de vehículos que pasarán sobre el mismo durante su vida útil. Se

eligen los materiales que lo formarán y finalmente se determinan los espesores de cada una de las capas que forman la estructura que soportará las cargas previstas sin que se produzcan fallas. La capacidad estructural representada por el Número Estructural, es su capacidad para soportar las cargas de tránsito durante su período de vida útil, el cual en el caso de los pavimentos nuevos es igual al NE de diseño y en caso de existentes se debe de calcular el NE remanente o disponible. El valor del NE se determina entonces sobre la base de los espesores y calidad de los materiales de cada una de las distintas capas de su estructura.

3.2 Capacidad Estructural de los tramos

A cada uno le corresponde un valor de Número Estructural, NE, aportado por el espesor y la calidad de los materiales que forman cada una de las capas de la estructura del pavimento, incluyendo el espesor de la carpeta de rodadura.

Por lo tanto su capacidad estructural depende de los espesores y calidad de los materiales de las distintas capas que forman la estructura de la carretera. La Ruta al Atlántico fue diseñada con rodadura de asfalto o pavimento flexible, manteniéndose así hasta hace poco, ya que como resultado de la necesidad de mantener la ruta prestando un buen nivel de servicio al usuario, se ha reconstruido el primer tramo del presente estudio con pavimento rígido de concreto hidráulico.

Para cuantificar los espesores actuales de las capas de la estructura y determinar un valor promedio de NE para cada uno de los cinco tramos estudiados, se optó por una aproximación a un valor promedio obtenido por medio de consulta al Ing. Leonel Aguilar Girón, reconocido Ingeniero de Pavimentos.

Los valores en centímetros de los espesores promedio existentes de las capas de los cinco tramos, se presentan a continuación en la tabla 3.1.

ESPESOR DE CAPAS DE ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO (cm)

TRAMO	LONGITUD	SUB BASE	BASE ESTAB.	BASE TRITURADA	BASE RECICL.	BASE NEGRA	CARPETA VIEJA	CARPETA NIVELACIÓN	RODADURA FLEXIBLE	RODADURA RÍGIDA
I	48+144	30.0	20.0							24.0
	48+144	30.0	17.0						5.0	24.0
II	36+142	30.0	17.0						8.0	-
III	56+549	20.0			20.0	10.0			10.0	-
IV	24+165	20.0		15.0			6.5	7.5	16.5	-
	88+671	20.0		15.0			6.5	7.5	10.0	
V	54+125	20.0		15.0			6.5	7.5	10.0	-

Tabla 3.1.

Los valores de la tabla anterior se refieren a las capas de sub base; de base estabilizada con cemento; de base granular triturada; base granular obtenida del reciclado del pavimento original; base negra asfáltica; carpeta de rodadura de 6.5 cm original; carpeta de nivelación de concreto asfáltico tendida con patrol y carpeta de rodadura de 10 cm, que en un tramo incluye 6.5 cm de recapeo.

Para el cálculo del NE aportado por las diferentes capas de la estructura del pavimento, el método AAHTO ha desarrollado una fórmula, la cual asigna un valor de coeficiente estructural para cada capa en base a sus características mecánicas, el cual al ser multiplicado por el espesor de las mismas, tomando en cuenta también su coeficiente de drenaje, indica el NE de cada una, los cuales son sumados para obtener el NE aportado total.

3.3 Determinación del Número Estructural

Con base de los valores promedio de espesor de las diferentes capas de pavimento de cada tramo, se determinó cada NE utilizando el Método AASHTO basado en los coeficientes estructurales característicos del material de cada una, mismos que han sido obtenidos por medio del *Road Test* descrito en el capítulo 2.

El NE requerido es el resultante de la fórmula AASHTO a partir de los ejes equivalentes o ESAL para diferentes períodos de diseño, mientras que la estructura de pavimento flexible aporta por cada una de sus capas un valor de NE, que al totalizarse se supone debe ser mayor o igual al requerido en el diseño, quedando disponible un NE remanente.

En el Anexo en cuadro IV, tabla “e”, se muestra el cálculo del número estructural requerido para cada uno de los cinco tramos de la ruta a partir de los valores ESAL y como NE aportado en base de los espesores y materiales de la estructura actual del pavimento.

En el caso del Tramo I, del Puente Rodriguitos al Puente Agua Caliente, km 8.4 a km 30.3, por ser de concreto hidráulico el análisis de AASHTO es diferente, pues lo que se busca en los pavimentos rígidos es que el espesor de la losa de concreto resista a determinado número de ejes equivalentes ESAL, por lo que éstos últimos determinan un valor del espesor para una vida útil, debiendo éste ser igual o mayor que el construido. Las variables consideradas en la fórmula de la AASHTO para determinar el espesor de la losa de concreto son: ESAL de diseño, confiabilidad, desviación estándar normal.

Los resultados se muestran a continuación en la Tabla 3.2.

Espesor de la losa de concreto (cm)				
Tramo I	Estación 901	ESPESOR DISEÑO	ESPESOR APORTADO	ESPESOR REMANENTE
	10 AÑOS	24.0	26.6	-2.6
	20 AÑOS	24.0	31.4	-7.4

Tabla 3.2

Los resultados anteriores indican que el espesor de 24 cm de concreto por si solo no es suficiente para el ESAL de diseño, sin embargo al considerar la estructura de pavimento flexible sobre la que está apoyado su espesor equivalente es mayor, por lo que resiste los ejes equivalentes de diseño para el período de 10 años, en el cual igualará al ESAL aportado por la ampliación recientemente realizada en concreto hidráulico y que será a partir de los 10 años cuando se necesitará una nueva rehabilitación.

Para los cuatro tramos restantes, por ser de pavimento flexible de asfalto, se hizo el cálculo en base al valor del NE.

Valores del Número Estructural por tramo						
Tramo	Estación de Conteo	NE REQUERIDO		NE APORTADO	NE REMANENTE	
		10 AÑOS	20 AÑOS		10 AÑOS	20 AÑOS
Tramo II	Estación 903	4.55	5.21	3.11	-1.44	-2.1
Tramo III	Estación 907	4.43	5.14	4.81	0.37	-0.33
Tramo IV	Estación 909	4.44	5.11	5.70	1.26	0.59
Tramo V	Estación 916	4.49	5.17	5.19	0.7	0.02

Tabla 3.3

En el caso del Tramo II el remanente del NE es negativo en ambos períodos de diseño, lo que significa que esa estructura de pavimento no está capacitada para resistir la carga vehicular que por ella circula, sobre todo si se considera que su período de construcción data de varios años atrás, sin

embargo se encuentra en marcha su rehabilitación con concreto hidráulico, lo que mejorará su capacidad para resistir la carga de ESAL por varios años más.

En el caso del Tramo III la estructura apenas resiste el período de 10 años, no así el de 20. En el IV no muestra problema para resistir la carga de ambos períodos de diseño. El V, que juntamente con el I son los de mayor volumen de tránsito puede llegar a 10 años, agotando su capacidad estructural y deberán ser rehabilitados a partir de ese momento.

Considerando que éstos últimos tienen más de 10 años de servicio, requieren de trabajos de mantenimiento continuo.

4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

4.1 La relación entre ESAL y espesor ó NE

De acuerdo con el Método AASHTO el diseño de pavimentos flexibles busca una estructura que resista determinada cantidad de ESAL, para una vida útil de cierto número de años, proponiendo espesores que sean económicamente razonables, los cuales deben tener un NE aportado igual o mayor al NE requerido para resistir las cargas del ESAL deseadas. En el caso de pavimentos rígidos el espesor de diseño debe satisfacer el valor requerido por la carga en ESAL.

Dada la incidencia del transporte pesado sobre los ESAL ya que éste aporta alrededor del 99% de su valor, se debe vigilar este tipo de transporte para que no exceda las cargas permitidas, proponiendo soluciones viables para su control pues los gastos de mantenimiento y reconstrucción de la carretera se incrementan con el deterioro causado por la sobrecarga.

Previo a desarrollar un análisis del comportamiento del ESAL y del NE al variar los volúmenes de vehículos y de carga, se tabularon los valores de TPDA y ESAL obtenidos en el presente estudio para el año base 2007 y sus proyecciones para los años 2017 y 2027, indicando el porcentaje debido al transporte pesado, así como los espesores en el caso del tramo I con pavimento rígido y el NE requerido y aportado en el caso de los restantes tramos con pavimento flexible. Dichos valores se muestran a continuación en la tabla 4.1.

VALORES DE TPDA, ESAL Y ESPESOR ó NE, POR ESTACIÓN DE CONTEO Y TIPO DE VEHÍCULO						
ESTACIÓN 901	TPDA 2007	TPDA 2017	TPDA 2027	ESAL 2007	ESAL 2017	ESAL 2027
TOTAL PROYECTADO	29,579	72,172	194,404	3,014,806	38,432,356	103,187,199
% TRANSPORTE PESADO	31.4%	18.9%	12.1%	99.8%	99.7%	99.6%
ESPESOR REQUERIDO				16.0	26.6	31.5
ESPESOR APORTADO				24.0	24.0	24.0
ESTACIÓN 903	TPDA 2007	TPDA 2017	TPDA 2027	ESAL 2007	ESAL 2017	ESAL 2027
TOTAL PROYECTADO	7,355	43,770	124,409	2,191,581	28,276,810	76,937,261
% TRANSPORTE PESADO	37.8%	21.0%	12.7%	99.8%	99.8%	99.6%
NE REQUERIDO				3.14	4.55	5.21
NE APORTADO				3.11	3.11	3.11
ESTACIÓN 907	TPDA 2007	TPDA 2017	TPDA 2027	ESAL 2007	ESAL 2017	ESAL 2027
TOTAL PROYECTADO	5,748	36,467	106,504	1,813,699	24,281,624	69,482,654
% TRANSPORTE PESADO	34.2%	17.8%	11.0%	99.8%	99.7%	99.6%
NE REQUERIDO				3.05	4.43	5.14
NE APORTADO				4.81	4.81	4.81
ESTACIÓN 909	TPDA 2007	TPDA 2017	TPDA 2027	ESAL 2007	ESAL 2017	ESAL 2027
TOTAL PROYECTADO	4,147	25,615	76,944	1,815,902	23,869,397	66,641,049
% TRANSPORTE PESADO	46.90%	25.59%	15.43%	99.9%	99.8%	99.7%
NE REQUERIDO				3.05	4.44	5.11
NE APORTADO				5.70	5.70	5.70
ESTACIÓN 916	TPDA 2007	TPDA 2017	TPDA 2027	ESAL 2007	ESAL 2017	ESAL 2027
TOTAL PROYECTADO	13,461	25,615	76,944	1,947,965	25,822,394	73,035,585
% TRANSPORTE PESADO	12.10%	25.59%	15.43%	99.9%	99.5%	99.1%
NE REQUERIDO				3.09	4.49	5.17
NE APORTADO				5.19	5.19	5.19

Tabla 4.1

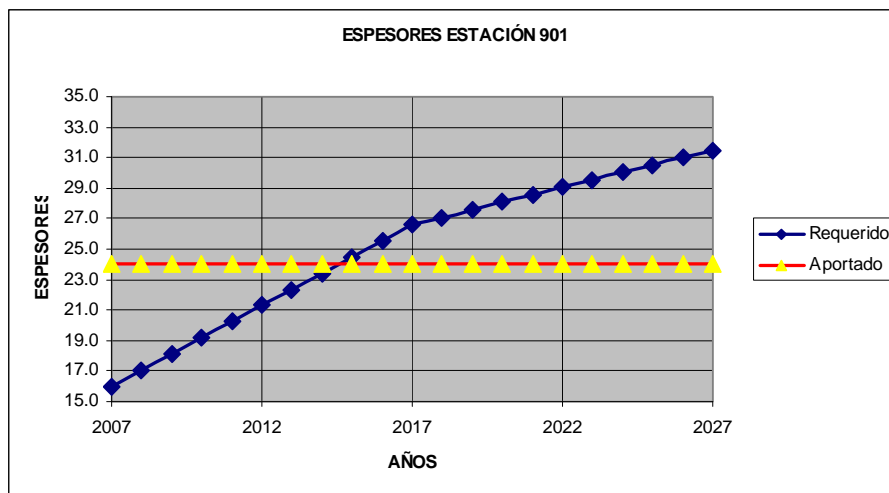
Si bien el valor de ESAL es resultado directo de la cantidad de vehículos pesados, se observa que el porcentaje del transporte pesado tiene rangos variables como porcentaje el TPDA y rangos similares como porcentaje del ESAL, correspondiéndole valores entre 11.0% y 46.9% en el primer caso y valores de 99.1% a 99.9% en el segundo, indicando lo anterior la carga del transporte pesado pese a ser menor del 50% del TPDA es causante del 99.8% de los ejes equivalentes de 18,000 libras, por lo que mientras mayor sea el porcentaje de transporte pesado mayor será el valor ESAL, no importando si el tránsito liviano se incrementa ya que éste no incide con la misma proporción sobre dicho valor.

La incidencia del incremento de la carga sobre el valor ESAL es en proporción geométrica, ya que el valor de la sobre carga medida C_m sobre la permitida C_p , se incrementa a la 4ª potencia, tal como se indica en la fórmula 2.1 del Inciso 2.4 Influencia del Peso en el Factor de Equivalencia del Capítulo 2.

En el análisis realizado en el presente trabajo se consideraron los siguientes supuestos: el espesor o NE aportado por el pavimento existente no varía a lo largo del tiempo, el comportamiento del espesor o NE entre los años 2007, 2017 y 2027 se tomó como lineal y no hay otros factores externos que incidan sobre el comportamiento de las variables analizadas.

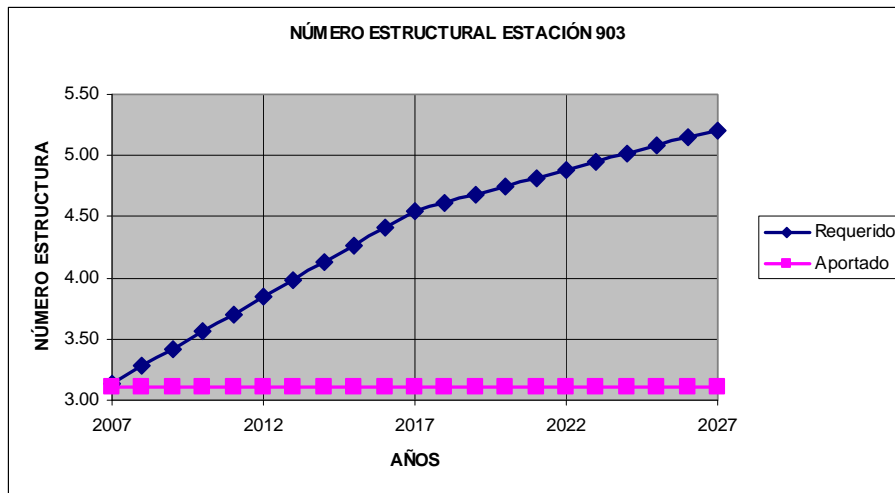
4.2 Comportamiento de ESAL y NE de cada tramo

Con respecto a la capacidad estructural del pavimento para resistir la carga, está representada en el espesor del pavimento, para el caso del rígido como lo es el tramo I y por el número estructural NE, para los restantes. Para una mejor apreciación del comportamiento de estas variables, se presentan a continuación las gráficas de cada uno.



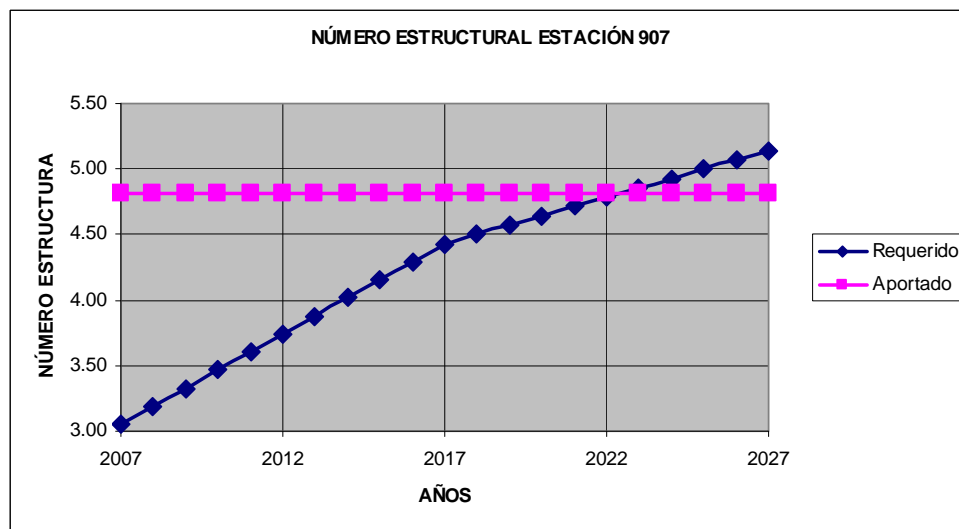
Gráfica 4.1

En el primer tramo se observa que el espesor del pavimento de concreto de 24 cm, resiste los primeros 7 años, al considerar la capa de pavimento asfáltico sobre el que está colocado su espesor equivalente puede llegar a 29 cm, suficiente para el período de diseño de 10 años, con lo que se está garantizando el servicio de éste en el mediano plazo.



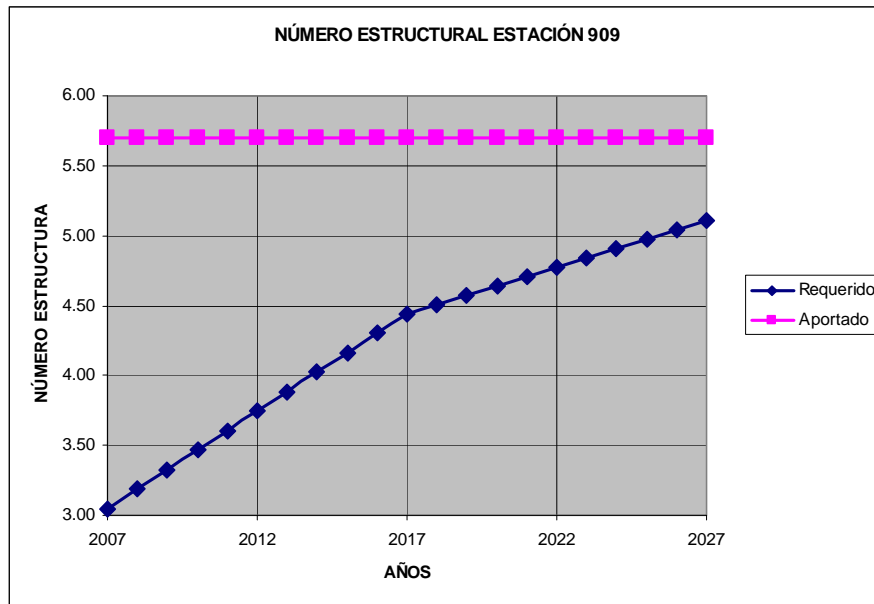
Gráfica 4.2

El Tramo II, los datos de la estación de conteo 903 muestran a partir del año 2007 una deficiencia entre el NE requerido y el aportado, misma que se incrementa con el tiempo, lo que indica la urgente necesidad de rehabilitarlo, trabajos que afortunadamente están por iniciarse, con lo cual se logrará evitar que la ruta colapse.



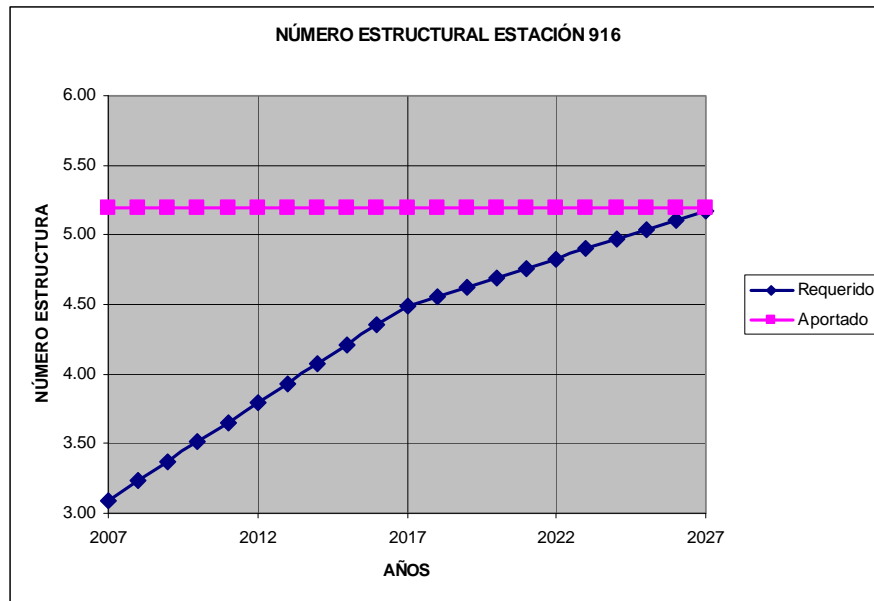
Gráfica 4.3

La gráfica anterior de la estación de conteo 907 representativa del Tramo III, indica que para el año 2022 alcanzará su vida útil, por lo que no necesita reconstrucción en el corto plazo.



Gráfica 4.4

En el caso del IV, los valores de TPDA de la estación 909 mostrados en la Gráfica 4.4, indican que el NE requerido no llegará a alcanzar al NE aportado por la estructura del tramo, por lo que solamente requerirá mantenimiento preventivo.



Gráfica 4.5

En el tramo V los valores de NE indican que el mismo puede llegar a resistir la carga del tránsito hasta el año 2027, tiempo en el que alcanzará su vida útil y será necesaria su reconstrucción.

4.3 Comportamiento del TPDA al variar el ESAL

Se analizó una variación porcentual del 10% del ESAL en más y en menos, para comparar los resultados sobre los espesores requeridos. Se observó que a esa variación del TPDA le corresponde el mismo porcentaje de variación del valor ESAL, mientras que si solo el tránsito liviano se incrementa la variación del ESAL es del 0.02% y que para un incremento del transporte pesado el crecimiento del ESAL es de 9.98%, por lo que se puede afirmar que el incremento del tránsito que mayor incidencia tiene sobre el valor ESAL es el de los vehículos pesados, ya que un aumento del mismo se refleja casi directamente en el valor ESAL, mientras que el del transporte liviano casi no lo afecta.

En la siguiente tabla se muestra el comportamiento del incremento del 10% del TPDA en todos los tipos de vehículos, en la Estación de Conteo de Tránsito 901, ubicada en el Tramo I, km 8 de la Ruta CA-9N.

ESTACIÓN: 901		VARIACIÓN VEHÍCULOS		
TIPO: "B"		LIVIANOS	PESADOS	
		110%	110%	
Tipo de vehículo	TPDA 2007 (+10%)	% Tipo de vehículo	No de ESALs diseño	% ESALs
1. Automóvil	9,592	29.48%	350	0.01%
2. Pickup	11,508	35.37%	6,091	0.18%
3. Camión C-2	3,421	10.51%	1,443,485	43.53%
4. Camión C-3	3,329	10.23%	973,214	29.35%
5. Microbús	1,231	3.78%	652	0.02%
6. Autobús	1,996	6.13%	184,842	5.57%
7. Trailer C-4	1,460	4.49%	707,652	21.34%
TOTAL	32,537	100.00%	3,316,286	100.00%
VALOR ESTÁNDAR	29,579		3,014,806	
% VARIACIÓN TOTAL	110.00%		110.00%	

Tabla 4.2

De acuerdo con los datos de la gráfica anterior, se observa que un incremento del 10% tanto en vehículos livianos como en pesados, da como resultado un aumento del mismo porcentaje de variación total del valor ESAL. En el caso de un decremento del tránsito, el resultado también fue similar al anterior.

En la siguiente tabla se muestra el resultado de variar solo el transporte liviano en un 10%.

ESTACIÓN: 901		VARIACIÓN VEHÍCULOS		
TIPO: "B"		LIVIANOS	PESADOS	
		110%	100%	
Tipo de vehículo	TPDA 2007 (+10% liviano)	% Tipo de vehículo	No de ESALs diseño	% ESALs
1. Automóvil	9,592	22.70%	350	0.01%
2. Pickup	11,508	30.20%	6,091	0.16%
3. Camión C-2	3,110	11.90%	1,312,259	37.01%
4. Camión C-3	3,026	14.00%	884,740	37.53%
5. Microbús	1,231	6.40%	652	0.04%
6. Autobús	1,814	9.90%	168,039	8.84%
7. Trailer C-4	1,327	4.90%	643,320	16.41%
TOTAL	31,609	100.00%	3,015,451	100.00%
VALOR ESTÁNDAR	29,579		3,014,806	
% VARIACIÓN TOTAL	106.86%		100.02%	

Tabla 4.3

En los datos anteriores se observa que un incremento en más o en menos, del 10% del volumen del tránsito liviano afecta únicamente un 0.02% el valor del ESAL, sin embargo su efecto sobre el número de vehículos en la carretera es del 7%, generando un requerimiento de más espacio para poder transitar sin congestionamientos. En la medida que aumente la infraestructura de turismo en el Atlántico, se tendrá un crecimiento de los vehículos livianos que demandan más espacio para circular.

Los resultados de un incremento del 10% y 25% sobre el transporte pesado se presentan a continuación.

ESTACIÓN: 901		VARIACIÓN VEHÍCULOS		
		LIVIANOS	PESADOS	
TIPO: "B"		100%	110%	
Tipo de vehículo	TPDA 2007 (+10% pesado)	%	No de ESALs diseño	%
		Tipo de vehículo		ESALs
1. Automóvil	8,720	22.70%	318	0.01%
2. Pickup	10,462	30.20%	5,537	0.13%
3. Camión C-2	3,421	11.90%	1,443,485	37.03%
4. Camión C-3	3,329	14.00%	973,214	37.54%
5. Microbús	1,120	6.40%	593	0.03%
6. Autobús	1,996	9.90%	184,842	8.85%
7. Trailer C-4	1,460	4.90%	707,652	16.42%
TOTAL	30,507	100.00%	3,315,642	100.00%
VALOR ESTÁNDAR	29,579		3,014,806	
% VARIACIÓN TOTAL	103.14%		109.98%	

Tabla 4.4

ESTACIÓN: 901		VARIACIÓN VEHÍCULOS		
		LIVIANOS	PESADOS	
TIPO: "B"		100%	125%	
Tipo de vehículo	TPDA 2007 (+25% pesado)	%	No de ESALs diseño	%
		Tipo de vehículo		ESALs
1. Automóvil	8,720	22.70%	318	0.01%
2. Pickup	10,462	30.20%	5,537	0.13%
3. Camión C-2	3,888	11.90%	1,640,324	37.03%
4. Camión C-3	3,783	14.00%	1,105,925	37.54%
5. Microbús	1,120	6.40%	593	0.03%
6. Autobús	2,268	9.90%	210,048	8.85%
7. Trailer C-4	1,659	4.90%	804,150	16.42%
TOTAL	31,899	100.00%	3,766,895	100.00%
VALOR ESTÁNDAR	29,579		3,014,806	
% VARIACIÓN TOTAL	107.84%		124.95%	

Tabla 4.5

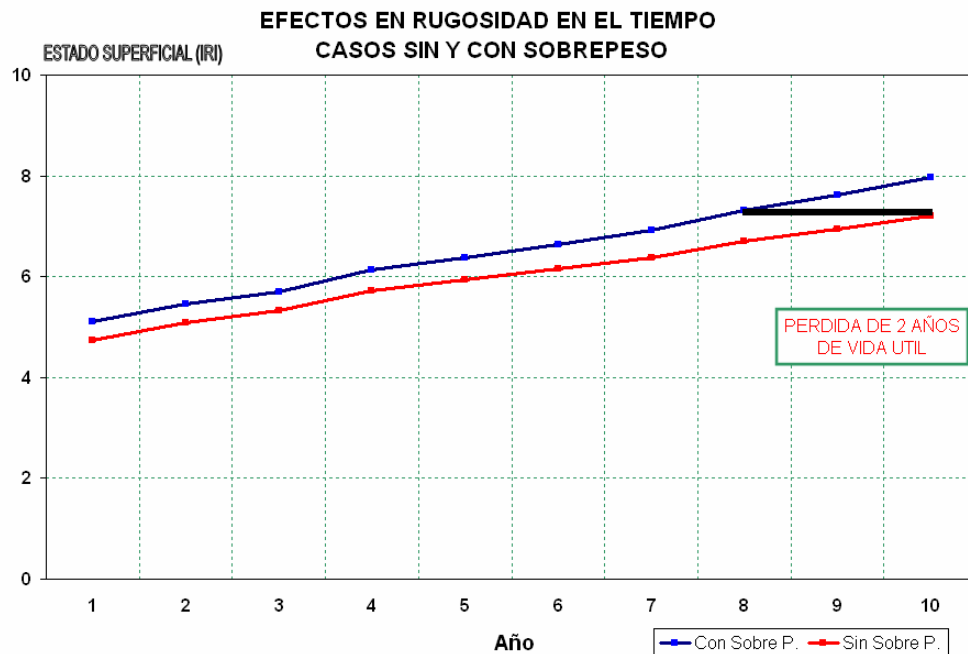
Las tablas anteriores indican que una variación en más o en menos del 10% y del 25% del volumen del transporte pesado, afecta en forma casi igual el valor del ESAL en un 9.98% y 24.95% respectivamente de variación y en menor cantidad la capacidad de la carretera, ya que genera un incremento del 3% y 8% del TPDA respectivamente, sin embargo un aumento de vehículos pesados requiere carriles adicionales en los tramos con pendientes fuertes, para evitar largas colas.

El valor del ESAL también puede incrementarse sin que se modifique el TPDA, debido al exceso de carga que puedan transportar los vehículos pesados, ya que de acuerdo con la fórmula del Método AASHTO el valor del factor equivalente de carga LEF, incide directamente en el valor ESAL. En el capítulo 3, sección 3.4.1 se vió que el efecto del incremento del LEF, al aumentar la carga transportada un 25% sobre el máximo permisible autorizado en camiones, es del orden de 2.44 veces o sea 144%.

De los datos anteriores se deduce que la tasa de incremento del transporte pesado incide proporcionalmente en el incremento del valor ESAL, lo que indica que de darse las condiciones económicas que impulsen un crecimiento del mismo, el valor de los ejes equivalentes se incrementará en la misma proporción con el consiguiente deterioro de la estructura, por lo que el mantenimiento de la carretera será cada vez más frecuente e intenso, con los consiguientes inconvenientes a los usuarios y el aporte económico del estado, el cual de no atenderse puede llegar a reducir el Índice de Serviciabilidad de la ruta y dificultar la circulación por la misma. Actualmente se ha reconstruido el Tramo I de la ruta y se han iniciado los trabajos del Tramo II con pavimento de concreto hidráulico y doble pista en cada sentido, lo que vendrá a proporcionar un alto grado de comodidad a los usuarios.

Otra forma de variar el comportamiento del ESAL es debida al sobrepeso del transporte de carga, según se vió en el Capítulo 2, 2.5, página 40, una sobre carga del 25% incrementa la carga equivalente sobre el pavimento en 144%, mientras que una del 50% aumenta la carga en 400% y una extrema del 75% la incrementaría en más de 800% o sea 9 veces, transmitiendo dicho aumento en forma directa al valor ESAL.

El efecto del sobrepeso sobre el pavimento puede ocasionar una pérdida de 2 años de un período de vida útil de 10 años, una reducción del 20%, según se aprecia al comparar los comportamientos del Índice de Rugosidad del Pavimento en el tiempo con y sin sobrepeso. (Gráfica proporcionada por el Ing. Marco T. Ordóñez C.).



Gráfica 4.6

4.4 Comportamiento del NE al variar el ESAL

En la siguiente tabla se presentan los resultados de realizar incrementos y decrementos del ESAL y sus respectivos espesores o NE requeridos en 10% y 25%, durante los períodos de diseño en las cinco Estaciones de Conteo representativas de cada tramo, generando posteriormente gráficas con los resultados obtenidos.

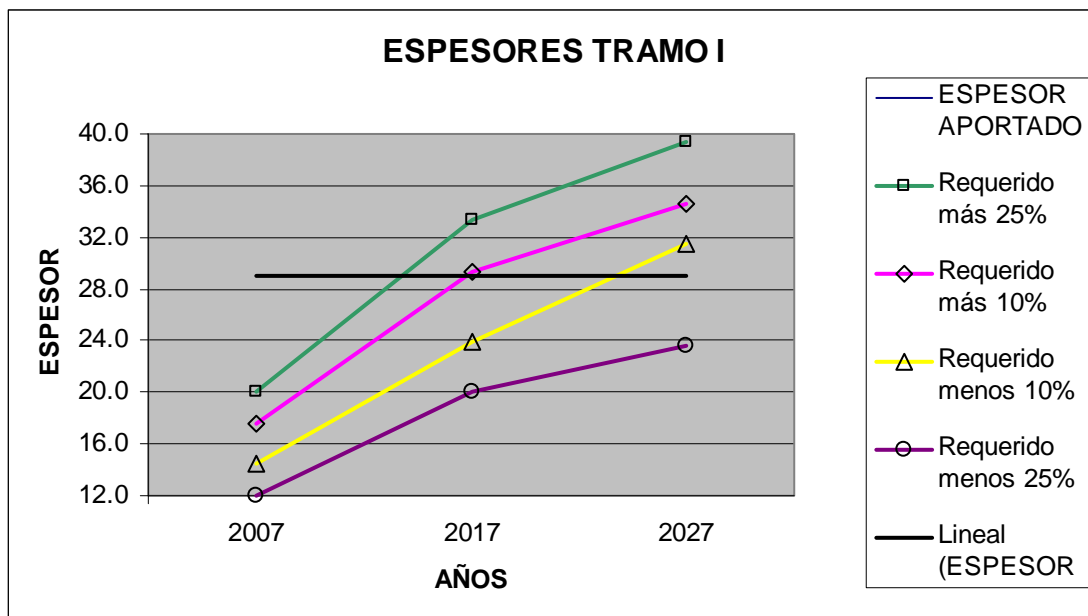
	VARIACIÓN +/- 10%			VARIACIÓN +/- 25%		
ESTACIÓN 901	ESAL 2007	ESAL 2017	ESAL 2027	ESAL 2007	ESAL 2017	ESAL 2027
TOTAL PROYECTADO MÁS %	3,316,286	42,275,592	113,505,919	3,768,507	48,040,445	128,983,999
TOTAL PROYECTADO MENOS %	2,713,325	34,589,120	92,868,479	2,261,104	28,824,267	77,390,400
ESPESOR REQUERIDO MÁS %	17.6	29.3	34.6	20.0	33.3	39.3
ESPESOR REQUERIDO MENOS %	14.4	24.0	31.5	12.0	20.0	23.6
ESPESOR APORTADO	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
ESTACIÓN 903	ESAL 2007	ESAL 2017	ESAL 2027	ESAL 2007	ESAL 2017	ESAL 2027
TOTAL PROYECTADO MÁS %	2,410,739	31,104,491	84,630,987	2,739,476	35,346,013	96,171,576
TOTAL PROYECTADO MENOS %	1,972,423	25,449,129	69,243,535	1,643,686	21,207,608	57,702,946
NE REQUERIDO MÁS %	3.5	5.0	5.7	3.9	5.7	6.5
NE REQUERIDO MENOS %	2.8	4.1	5.2	2.4	3.4	3.9
NE APORTADO	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11
ESTACIÓN 907	ESAL 2007	ESAL 2017	ESAL 2027	ESAL 2007	ESAL 2017	ESAL 2027
TOTAL PROYECTADO MÁS %	1,995,069	26,709,787	76,430,920	2,267,124	30,352,031	86,853,318
TOTAL PROYECTADO MENOS %	1,632,329	21,853,462	62,534,389	1,360,274	18,211,218	52,111,991
NE REQUERIDO MÁS %	3.4	4.9	5.7	3.8	5.5	6.4
NE REQUERIDO MENOS %	2.7	4.0	5.1	2.3	3.3	3.9
NE APORTADO	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81
ESTACIÓN 909	ESAL 2007	ESAL 2017	ESAL 2027	ESAL 2007	ESAL 2017	ESAL 2027
TOTAL PROYECTADO MÁS %	1,997,492	26,256,337	73,305,154	2,269,877	29,836,747	83,301,311
TOTAL PROYECTADO MENOS %	1,634,312	21,482,458	59,976,944	1,361,926	17,902,048	49,980,787
NE REQUERIDO MÁS %	3.4	4.9	5.6	3.8	5.6	6.4
NE REQUERIDO MENOS %	2.7	4.0	5.1	2.3	3.3	3.8
NE APORTADO	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7
	VARIACIÓN +/- 10%			VARIACIÓN +/- 25%		

ESTACIÓN 916	ESAL 2007	ESAL 2017	ESAL 2027	ESAL 2007	ESAL 2017	ESAL 2027
TOTAL PROYECTADO MÁS %	2,142,761	28,404,634	80,339,144	2,434,956	32,277,993	91,294,482
TOTAL PROYECTADO MENOS %	1,753,168	23,240,155	65,732,027	1,460,974	19,366,796	54,776,689
NE REQUERIDO MÁS %	3.4	4.9	5.7	3.9	5.6	6.5
NE REQUERIDO MENOS %	2.8	4.0	5.2	2.3	3.4	3.9
NE APORTADO	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19

Tabla 4.6

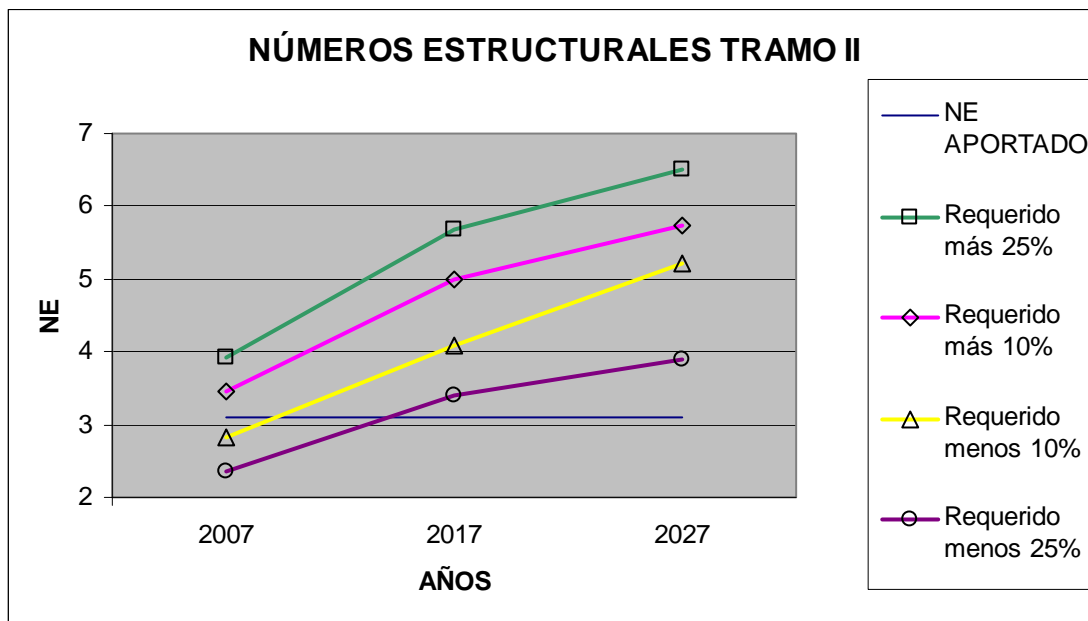
De los datos de la tabla anterior se observa que para una variación de más y menos el 25% del ESAL en el tramo I de la ruta, que es el que tiene los mayores volúmenes de tránsito, se obtiene una variación del 100% en los valores del espesor para el período de diseño de 20 años. En el caso de la estación 903 representativa del Tramo II con pavimento flexible, es la segunda en obtener el mayor ESAL al incrementarlo en 25%. Las dos estaciones de conteo de los Tramos III y IV, tienen los menores valores de ESAL proyectados.

A continuación se presentan las gráficas con los valores obtenidos.



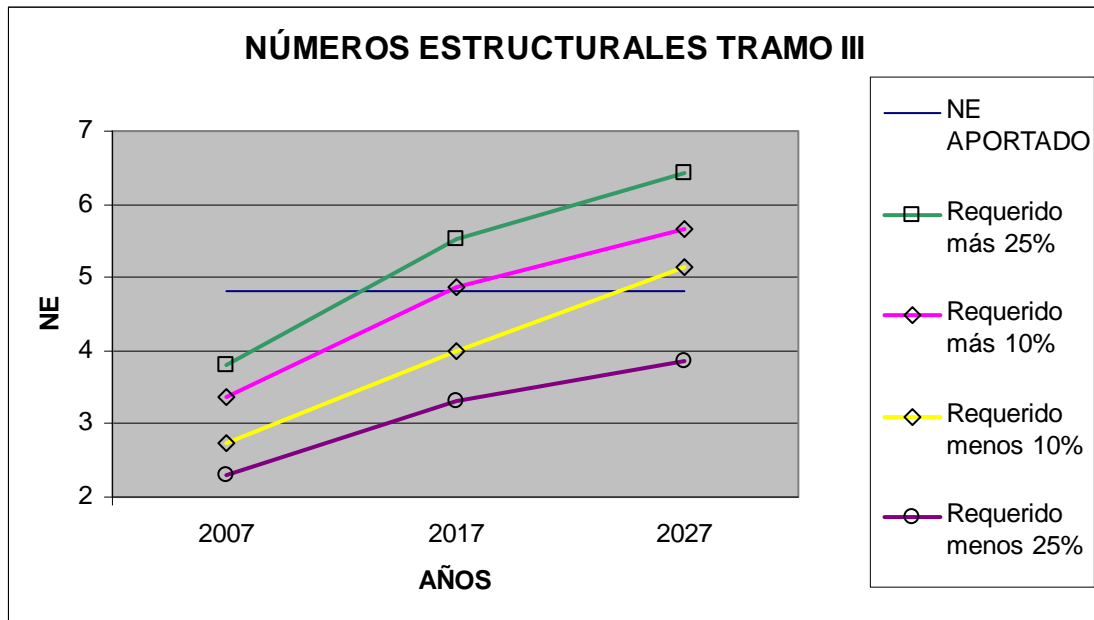
Gráfica 4.7

En el Tramo I, estación de conteo 903, se observa que de ocurrir incrementos de 25% y 10%, el espesor requerido igualará al espesor aportado antes del año 2017 y para el año 2025 con la variación de menos 10%, en el caso del menos 25% el requerido no llegará a igualar al aportado en los próximos 20 años.

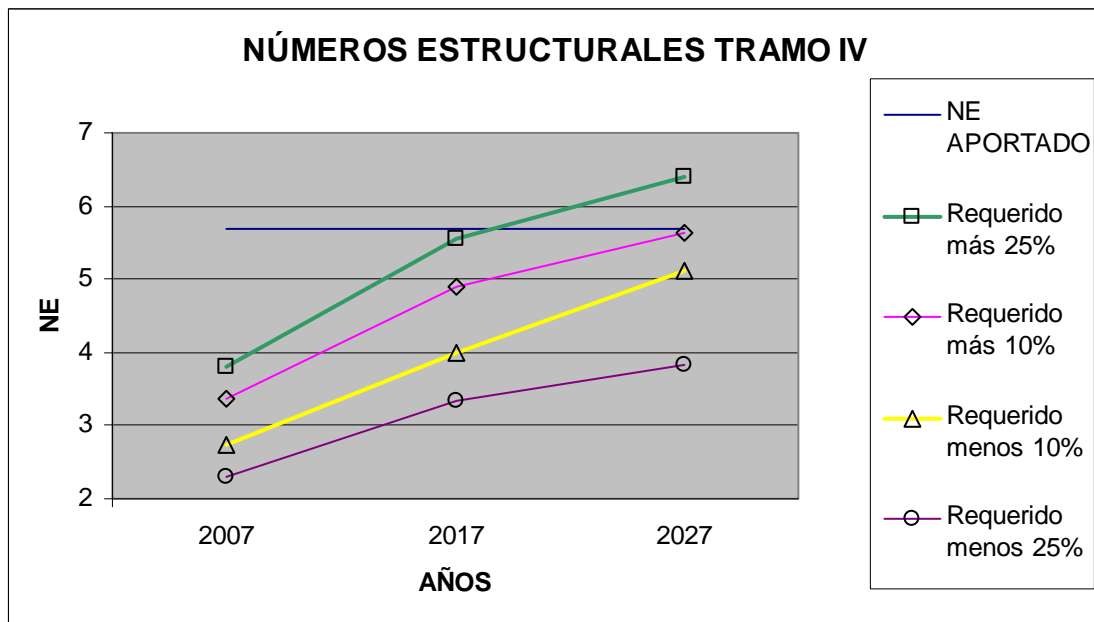


Gráfica 4.8

En el caso del Tramo II, estación de conteo 903, de la gráfica anterior, se puede deducir que en cualquiera de los casos el aporte del NE de la estructura de pavimento flexible actual, no es suficiente para seguir resistiendo el volumen de tránsito, solamente considerando las condiciones más favorables de un decremento del 25% del crecimiento.

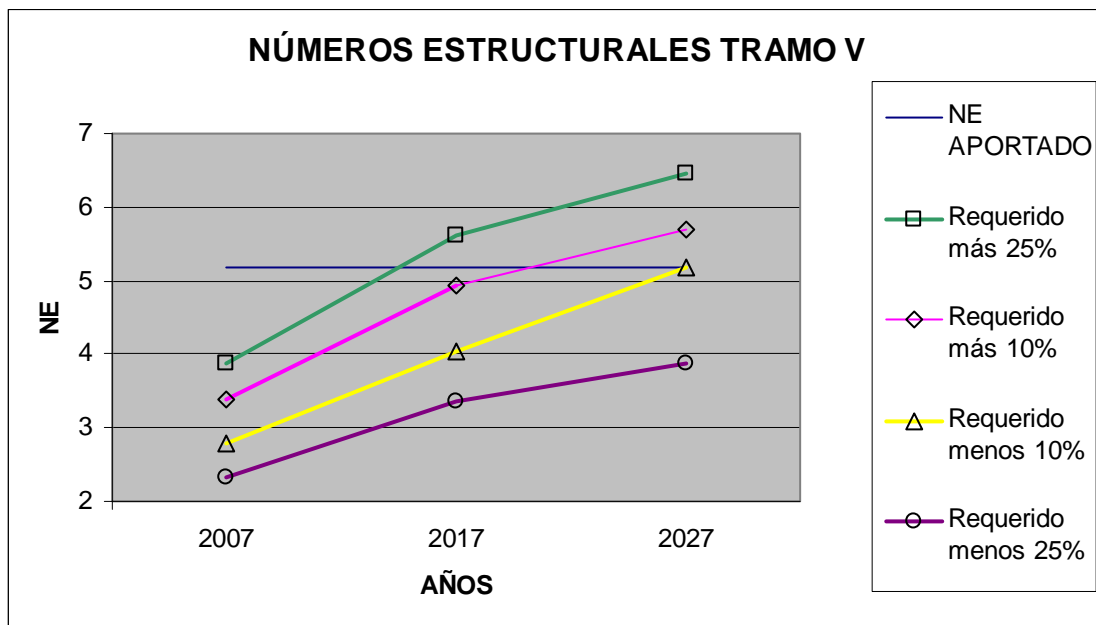


Gráfica 4.9



Gráfica 4.10

Para los Tramos III y IV, Estaciones de Conteo 907 y 909, las gráficas indican que en todos los casos el aporte del NE de la estructura de pavimento flexible actual resistirá el volumen de tránsito más allá del año 2017, llegando a su vida útil el Tramo III a partir de esa fecha y en el caso del IV, éste puede llegar a resistir los 20 años en todos los casos, con excepción de un incremento del crecimiento de 25%.



Gráfica 4.11

En el del Tramo V, estación de conteo 916, se puede observar que en el aporte del NE de la estructura de pavimento flexible actual, es suficiente para seguir resistiendo el volumen de tránsito hasta el año 2015 con un incremento del 25% del valor ESAL y hasta el año 2020 con aumento del 10%, en los casos restantes la estructura resistirá los 20 años.

Los resultados del análisis de ESAL requerido y aportado por la estructura de pavimento rígido del Tramo I del presente estudio, del Puente Rodriguitos al

Puente Agua Caliente, Km. 8.4 a Km. 30.3, indican que el ESAL aportado por la ampliación recientemente realizada en concreto hidráulico, será suficiente para resistir al proyectado, en condiciones normales por los próximos 15 años y que será a partir de esa fecha cuando se necesitará una nueva rehabilitación.

En el Tramo II el remanente del NE aportado sobre el requerido, es negativo en ambos períodos de diseño, lo que significa que esa estructura de pavimento no está capacitada para resistir la carga vehicular que en ella circula, sin embargo se tiene planificada su restitución con concreto hidráulico, con diseños de la Dirección General de Caminos, lo que la dará varios años más de vida útil.

En el caso de los Tramos III, IV y V la estructura actual resiste el período de 10 años en condiciones normales y favorables y en el III llega a 20 años. Considerando que éstos tienen más de 10 años de servicio, requieren de trabajos de mantenimiento preventivo continuo.

El resultado de las gráficas obtenidos al evaluar los distintos escenarios para el incremento del Número Estructural Requerido, como consecuencia del volumen de tránsito, en un período de diseño de 20 años, se observa que el Número Estructural Aportado es alcanzado al transcurrir los primeros diez años en los Tramos I, III, IV y V, al considerar el escenario de mayor crecimiento. Al haber una variación menor a la esperada la vida útil se prolonga en los mismos trayectos, pudiendo llegar a resistir el período de 20 años en el caso de un crecimiento del 25% menor al proyectado.

En el caso del Tramo II, el cual ya ha alcanzado su vida útil, coincidiendo con el proyecto de reconstrucción de la ruta con pavimento de concreto hidráulico

y doble pista en cada sentido, el cual se encuentra finalizado hasta el kilómetro 30.3, Puente Agua Caliente y proyectado en el corto plazo hacia Sanarate, Km. 58.6, con vistas a llegar hasta El Rancho, Km. 87.8, vendrá a proporcionar un período de satisfacción a los usuarios del mismo.

El incremento de la tasa del transporte pesado incide en forma directa en el incremento del valor ESAL, lo que indica que de darse las condiciones económicas que impulsen un crecimiento del mismo, el valor de los ejes equivalentes se incrementará en la misma proporción con el consiguiente deterioro de la estructura, por lo que el mantenimiento de la carretera será cada vez mas frecuente e intenso, con los consiguientes inconvenientes a los usuarios y el aporte económico del estado, el cual de no atenderse puede llegar a reducir el nivel de servicio de la ruta, con dificultad de circulación por la misma a partir del año 2017.

CONCLUSIONES

1. El valor ESAL por ser producto del tránsito vehicular puede ser estimado con exactitud, a través del Método AASHTO, siempre que se cuente con datos confiables del TPDA y de la carga vehicular, permitiendo conocer el NE requerido para determinar los espesores adecuados de las capas que forman la estructura del pavimento.
2. El conocimiento del estado actual de la estructura del pavimento, junto con un conteo de tránsito confiable y seguro, permiten monitorear y predecir con bastante exactitud la situación futura del Índice de Serviciabilidad del pavimento en las rutas del país.
3. Al suponer constante la tasa de crecimiento vehicular, el valor ESAL en condiciones de diseño, llega a triplicarse en dos períodos de 10 años, lo que indica un crecimiento de 3 veces su valor original en un lapso de 2 veces el tiempo. Si circulan vehículos con sobre carga, un incremento de ESAL significa un decremento del tiempo de vida útil, con sus respectivos costos para los usuarios y el gobierno.
4. Se observó que para un incremento del 25% del TPDA corresponde uno del valor ESAL del 24.95%, por lo que la relación de incrementos es proporcional.
5. Un valor de sobre carga de los vehículos pesados del 25% sobre el valor máximo permitido, incrementa el factor de carga equivalente,

LEF, 2.44 veces, significando un incremento de carga sobre el pavimento de 144%.

6. Los resultados de los valores ESAL y NE encontrados, indican que la ampliación de la Ruta al Atlántico en el tramo I se realizó en el momento oportuno y debe continuar en el tramo II, ya que el Nivel de Servicio mejora al aumentar la velocidad de circulación.
7. Los Tramos I, III, IV y V tienen un período de vida útil de su estructura de 10 años en condiciones de mantenimiento rutinario normal.
8. La inversión pública y privada en construcción y mantenimiento rutinario preventivo de la infraestructura del transporte en forma escalonada con el tiempo, es necesaria para tener y mantener el nivel de serviciabilidad vial adecuado y no provocar incrementos en los costos de los usuarios y el transporte de carga.
9. El control de pesos por medio de las estaciones de básculas, implica un ahorro en la conservación de carreteras y ayuda a mantener la vida útil de la carretera, sin reducir el tiempo de su período de diseño. En caso contrario se pudo reducir la duración del tramo hasta en un 10% de su vida útil.

RECOMENDACIONES

1. Planificar la ampliación de la carretera y la habilitación de vías alternas que permitan absorber el crecimiento del transporte pesado, ya que de no satisfacer el valor ESAL que éste implica, mediante la estructura de pavimento adecuada, se deteriorará afectando la industria del país y la generación de empleo.
2. El aumento del transporte de carga implica incrementos en los costos de mantenimiento y rehabilitación del pavimento, con frecuencias mayores de reparación que causan molestias y atrasos a los conductores. La construcción de un ferrocarril de carga circulando a alta velocidad en trocha ancha permitirá mover la carga en tiempos establecidos mejorando la seguridad de la carretera y disminuyendo su gasto de mantenimiento.
3. Dada la incidencia del transporte pesado sobre los ESAL, se debe de vigilar este tipo de transporte para que no exceda las cargas permitidas y proponiendo soluciones viables de infraestructura para hacer frente a su crecimiento, pues los gastos de mantenimiento y reconstrucción de la carretera y de sus puentes se incrementan con el ESAL. Ya existe una Estación de Control de Pesos, pero no en toda la ruta ni en los dos sentidos.
4. Se debe abordar el problema de las paradas de buses en distintos puntos de la ruta, a manera de dar un servicio satisfactorio al público

sin interferir con el flujo vehicular. Es necesario construir pasarelas y desvíos o by-pass en las poblaciones.

5. La elaboración de estudios de investigación permite predecir el comportamiento futuro, por lo que son fundamentales para el desarrollo del país, al determinar los períodos críticos en la vida de la estructura del pavimento.
6. El ferrocarril del Atlántico tiene la capacidad, pero no la logística, para el transporte de contenedores. El transporte de carga por trocha ancha (1,435 mm), podría considerarse como una opción en el largo plazo pues requiere de una fuerte inversión económica, con una velocidad de 200 km/h en una vía cercada con sus respectivos pasos a nivel, lo que permitirá mover un mayor volumen de carga, aliviando así la Ruta CA-9N.

REFERENCIAS

1. Aguilar Girón, José Leonel. Ingeniero Civil. Información y datos de pavimento de la ruta CA-09 Norte.
2. Banco de Guatemala, www.banquat.gob.gt.
3. Compañía Bananera Independiente de Guatemala S.A., www.cobigua.
4. De León Maldonado, Edgar Daniel. Ingeniero Civil. Colaboración en la elaboración del presente trabajo.
5. Empresa Portuaria Quetzal, www.empornac.
6. Monzón Gámez, José Santos. Ingeniero Civil, Maestría en Ingeniería. Asesoría en la elaboración del presente trabajo.
7. Sociedad de Geografía e Historia. Fascículos de Historia de Guatemala.
8. Zona Libre de Industria y Comercio de Santo Tomás de Castilla, www.zolic.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO. **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**. USA, 2001, 905pp.
2. Dirección General de Caminos, DGC. **Reglamento para el Control de Pesos y Dimensiones de Vehículos Automotores y sus Combinaciones**. Guatemala, 1992, 16pp.
3. Coronado Iturbide, Jorge et. al. **Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos**. Guatemala: Secretaría de Integración Económica Centroamericana, 2002. 228pp.
4. Godoy Arriaza, Francisco Javier. **La problemática de la ciencia y la tecnología desde el punto de vista del sector transporte**. Revista Ingeniería (Guatemala): 22.1980.
5. Transportation Research Board, TRB. **Highway Capacity Manual**. National Research Council. Washington D.C., 2000.
6. Maldonado, Jorge, et. al. **Acuerdo Centroamericano sobre Circulación por Carretera**. Guatemala: Secretaría de Integración Económica Centroamericana, 2000. 31pp.
7. McShane, William R. et al. **Traffic Engineering**. Second ed. USA.
8. Koontz, Harold y Cyril O'Donnell. **Curso de Administración Moderna**. 6ª ed. Colombia: Editorial Carrera, 1979. 914pp.
9. Kraemer, Carlos, et. al. **Ingeniería de Carreteras**. (Volumen I y II). España: McGraw-Hill, 2003. 485 pp., 555pp.

ANEXO I

CUADROS Y MAPAS

- I.1 Guía kilométrica de la ruta CA-09N
- I.2 Listado de las Estaciones de Conteo
- I.3 Lista de tramos utilizados en el estudio con sus Estaciones de Conteo representativas
- I.4 Análisis de los datos de las Estaciones de Conteo 901, 903, 907, 909 y 916 en los tramos estudiados
 - a. Determinación de la tasa de crecimiento de cada vehículo a partir de los datos históricos del TPDA de los años 1967 a 1998 de la Estación de Conteo representativa de cada tramo
 - b. Gráficas de las tasas de crecimiento vehicular
 - c. Cálculo del TPDA para el año 2007
 - d. Cálculo de ESALs para períodos de diseño de 10 y 20 años
 - e. Cálculo del Espesor Requerido o Número Estructural representativo de cada tramo.

MAPAS

- I.5 Mapa de la Ruta al Atlántico mostrando los cinco tramos
- I.6 Mapas de ubicación de las estaciones de conteo representativas de cada tramo

I.1 Guía kilométrica de la ruta CA-09N

Guía kilométrica de la ruta CA-09N

KILÓMETRO	PKE	LADO	DESCRIPCIÓN
8.476			PUENTE Rodriguitos
16.152		Izquierdo	Báscula DGC.
16.300		Izquierdo	Turicentro San Carlos
16.610		Derecho	Gasolinera y Garita de Policía Nacional
16.610			Estación de Conteo de Tránsito No. 900
17.150		Derecho	Lotificación Santa Delfina
17.300		Derecho	Beneficio de Arroz La Castalia
18.178		Izquierdo	A San José El Golfo (RD GUAT-7)
18.652	18		Poste de kilometraje existente
19.289		Derecho	A Palencia (RD GUAT-6)
19.714	19		Poste de kilometraje existente
20.793	20		Poste de kilometraje existente
21.005			PUENTE El Chato
21.260		Izquierdo	A San José del Golfo (RD GUAT-7)
21.838	21		Poste de kilometraje existente
22.851	22		Poste de kilometraje existente
23.913	23		Poste de kilometraje existente
24.175		Derecho	Aldea Azacualpilla
24.250		Derecho	Lotificación San Mauricio
24.943	24		Poste de kilometraje existente
26.021	25		Poste de kilometraje existente
26.705		Izquierdo	INNAISA
26.785		Derecho	Yesera
28.230	27		Poste de kilometraje existente
29.011	28		Poste de kilometraje existente
30.286			Límite Departamental GUATEMALA / EL PROGRESO
30.286	29		Poste de kilometraje existente
30.335			PUENTE Agua Caliente (Corozal)
30.580		Izquierdo	IRTRA
31.658		Izq. Der.	Aldea Agua Caliente
31.818		Izquierdo	Artesanía
32.246	31		Poste de kilometraje existente
33.325	32		Poste de kilometraje existente
33.570		Derecho	Finca Esperanza
34.321	33		Poste de kilometraje existente
35.318	34		Poste de kilometraje existente
37.442	36		Poste de kilometraje existente
37.524		Izquierdo	A Aldea Santo Domingo Los Ocotes
37.818		Derecho	A San Antonio la Paz (RD PRO-17)
38.228		Izquierdo	Comedor La Paz
38.341		Derecho	Gasolinera
38.455	37		Poste de kilometraje existente
39.778	38		Poste de kilometraje existente
40.595	39		Poste de kilometraje existente
41.527	40		Poste de kilometraje existente
42.589	41		Poste de kilometraje existente
43.502	42		Poste de kilometraje existente
46.036		Izquierdo	Aldeas Sinaca y El Chile
46.036	44		Poste de kilometraje existente
46.722	45		Poste de kilometraje existente
47.670			PUENTE El Carrizo
47.768		Izquierdo	Aldea Tierra Blanca
47.768	46		Poste de kilometraje existente
47.997			PUENTE Punta Gorda
48.000			Estación de Conteo de Tránsito No. 902
48.144		Izquierdo	A Cementos Progreso
48.683			Aldea El Cobano
50.889	49		Poste de kilometraje existente
51.935	50		Poste de kilometraje existente
52.980	51		Poste de kilometraje existente
54.712		Derecho	Gasolinera

KILÓMETRO	PKE	LADO	DESCRIPCIÓN
54.745		Derecho	A Sanarate (RN-19)
56.755		Izquierdo	A Aldea Amatillo
56.884		Derecho	Aldea Tunas
57.343		Izquierdo	A Aldea Las Ilusiones
57.780	55		Poste de kilometraje existente
58.127	56		Poste de kilometraje existente
58.328		Izquierdo	Comedor Mariela II
58.634		Derecho	A Sanarate (RD PRO-16)
58.764		Derecho	Gasolinera
59.140			Estación de Conteo de Tránsito No. 903
59.189	57		Poste de kilometraje existente
60.218	58		Poste de kilometraje existente
61.280	59		Poste de kilometraje existente
61.509		Izq. Der.	Aldea Agua Salobrega
62.065		Derecho	A Aldea Subinal (RD PRO-11)
62.310	60		Poste de kilometraje existente
63.454	61		Poste de kilometraje existente
64.385	62		Poste de kilometraje existente
64.649			Fábrica Colito (Piedrín etc.)
65.071		Izq. Der.	Aldea Jutiapilla
65.512	63		Poste de kilometraje existente
67.545	65		Poste de kilometraje existente
68.747	66		Poste de kilometraje existente
70.855	68		Poste de kilometraje existente
72.228		Derecho	Gasolinera
72.848		Izquierdo	A Aldeas Tierra Blanca y Los Morales (RD PRO-11)
73.894			PUENTE Benque Viejo
74.286		Derecho	Aldea Barrial
74.760	72		Poste de kilometraje existente
74.858		Izquierdo	A Tierra Blanca (RD PRO-11)
74.858		Derecho	Aldea El Chilar
75.038		Derecho	Escuela Aldea Casas Viejas
75.169		Derecho	Aldea Casas Viejas
75.740	73		Poste de kilometraje existente
75.992		Derecho	Garita de Policía Nacional
75.992		Derecho	A Guastatoya
76.819	74		Poste de kilometraje existente
77.864	75		Poste de kilometraje existente
78.835	76		Poste de kilometraje existente
79.972	77		Poste de kilometraje existente
82.080	79		Poste de kilometraje existente
83.093	80		Poste de kilometraje existente
84.086			Estación de Conteo de Tránsito No. 904
84.189	81		Poste de kilometraje existente
84.286		Derecho	A Aldea El Rancho
84.286		Derecho	A El Júcaro (RD PRO-1)
85.184	82		Poste de kilometraje existente
86.197	83		Poste de kilometraje existente
86.884			PUENTE Chetumal
87.161	84		Poste de kilometraje existente
87.815		Izquierdo	A Salamá y Cobán (CA-14)
88.093		Derecho	Gasolinera
88.191	85		Poste de kilometraje existente
88.301		Derecho	Policía Nacional
88.256		Derecho	Gasolinera
88.321		Derecho	A Aldea El Rancho
88.481		Derecho	Taller mecánico
89.236	86		Poste de kilometraje existente
91.197		Izquierdo	A San Agustín Acasaguastlán (RD PRO-3)
91.197		Derecho	A El Rancho
91.230	88		Poste de kilometraje existente
91.700			Estación de Conteo de Tránsito No. 905
93.713			PUENTE El Hato

KILÓMETRO	PKE	LADO	DESCRIPCIÓN
94.116		Derecho	Balneario Malena
94.484		Izquierdo	Gasolinera
94.612		Derecho	Aldea Magdalena
95.298	92		Poste de kilometraje existente
96.311	93		Poste de kilometraje existente
97.324	94		Poste de kilometraje existente
97.602		Izq. Der.	Aldea Chaguities
98.337	95		Poste de kilometraje existente
99.169	97		Poste de kilometraje existente
100.065	97		Poste de kilometraje existente
101.343	98		Poste de kilometraje existente
101.621		Derecho	A El Jícaro (2 Kms.)
102.405	99		Poste de kilometraje existente
102.781		Izquierdo	A Aldea Estancia de la Virgen
102.847		Izquierdo	Gasolinera y Restaurante
103.288			PUENTE Guisajo
103.386	100		Poste de kilometraje existente
103.925		Derecho	A San Cristóbal Acasaguastlán
104.039		Derecho	A San Cristóbal Acasaguastlán
104.284		Izquierdo	Cementerio
105.494	102		Poste de kilometraje existente
107.176		Derecho	Aldea Manzanotal
107.520	104		Poste de kilometraje existente
108.160		Derecho	Aserradero
108.500	105		Poste de kilometraje existente
109.921			PUENTE Huyus
109.987		Izquierdo	Finca Trujillo
110.395	107		Poste de kilometraje existente
111.359			Límite Departamental EL PROGRESO / ZACAPA
111.359			LÍMITE ZONA VIAL 1/8
111.588	108		Poste de kilometraje existente
113.663	110		Poste de kilometraje existente
113.745		Derecho	A Aldea Guijo (1 Km.)
114.594			PUENTE Guijo
114.692	111		Poste de kilometraje existente
115.395		Derecho	Aserradero El Alto
115.411		Izquierdo	A Aldea El Jute (RD PRO-11) (5 Kms.)
115.460		Derecho	Fábrica de Cajas
115.526		Derecho	A Uzumatlán (RD ZAC-18) (2 Kms.)
115.852		Izquierdo	Hacienda Nueva
116.026			Estación de Conteo de Tránsito No. 906
119.708			PUENTE Palmilla
120.002		Izquierdo	Caserío Pueblo Nuevo
120.248		Derecho	Finca Las Marias
120.966	117		Poste de kilometraje existente
121.006		Derecho	Aldea Palmilla
121.326		Derecho	Finca Santa Rita
121.538			PUENTE Chiquito
121.571			Límite Municipal USUMATLÁN / TECULUTÁN
121.979	118		Poste de kilometraje existente
122.045		Izquierdo	Finca Manantial
123.499		Izq. Der.	Aldea Arco
123.662		Derecho	Gasolinera
123.662		Derecho	A Aldea La Vega del Cobano
123.842			PUENTE Teculután
123.888		Izquierdo	Balneario
123.907		Derecho	A Teculután
124.773		Derecho	A Teculután
124.855		Izquierdo	Gasolinera, Restaurante y Piscina
125.035			PUENTE Quebrada de Agua
125.198		Izquierdo	Hotel
125.231		Derecho	Gasolinera y Comedor
125.313		Izquierdo	Cooperativa Carval
125.394		Derecho	Restaurante y Hotel

KILÓMETRO	PKE	LADO	DESCRIPCIÓN
125.411		Derecho	Taller mecánico
125.558		Derecho	Taller electromecánico
125.672		Izquierdo	Restaurante
125.705		Izquierdo	Colonia Loma del Milagro
126.113		Derecho	Colegio San José
126.440		Izquierdo	Embotelladora del Atlántico
127.633			Límite Municipal TECULUTÁN / RIO HONDO
128.058		Izquierdo	A Aldea Monte Grande
129.022		Izquierdo	Finca Maria del Rosario
129.250	125		Poste de kilometraje existente
129.381		Derecho	Alcosa
130.639		Derecho	Restaurante
130.639		Izquierdo	Motel Pasabien
130.753		Izquierdo	Restaurante Pasabien
130.753		Izquierdo	Desvió a Aldea Santa Cruz y Balneario Pasabien
130.786		Derecho	Gasolinera
130.786		Derecho	A Huité (RN-20)
130.868		Izquierdo	Restaurante
130.868		Derecho	Hotel y Restaurante
131.335		Izquierdo	Industria Licorera Zacapeneca
131.335		Izquierdo	Tabacos Maya
132.175		Derecho	Cervecería Zúniga
132.371	128		Poste de kilometraje existente
132.453		Izquierdo	A Aldea Ojo de Agua
132.469		Izquierdo	Licorera Zacapeneca, S.A.
133.253			PUENTE Cayo (Zunzapote)
133.253			Estación de Conteo de Tránsito No. 907
133.793			PUENTE Quebrada Blanca
134.021		Derecho	Aldea Nuevo Zunzapote
134.021		Derecho	Aldea Lo de Mejía
135.088		Derecho	Gallero Guayacán
135.345			Puente Quebradas Las Anonas
136.113			Puente Quebrada Sucia
138.073		Derecho	Aldea Casas de Pinto
138.185		Derecho	Puesto de Control Regional (DIGESEPE)
139.581		Izquierdo	Taller Ceiba
140.263		Derecho	Mecánica Oriental (Taller Nufio)
140.361		Derecho	Gasolinera
140.377		Derecho	Restaurante y Motel
140.459		Derecho	A Zacapa y Chiquimula (CA-10)
140.835		Derecho	A Zacapa y Chiquimula (CA-10)
141.080			PUENTE Stan Creek (Río Hondo)
141.390		Izquierdo	Gasolinera
141.455		Izquierdo	RIO HONDO
144.021		Izquierdo	A Aldea La Palma
144.021		Derecho	Restaurante La Cabañita
144.772		Derecho	A Aldea La Pepesca (RD ZAC-22) (3 Kms.)
146.455		Derecho	A Aldea La Pepesca (RD ZAC 22)
147.811			PUENTE Piedras de Afilar
147.844		Derecho	Industrias de Cal
147.991	143		Poste de kilometraje existente
148.203		Izquierdo	Aldea Jones (RD ZAC-7)
148.203		Derecho	Aldea Las Pozas
149.756		Derecho	Aldea Jumuzna
149.821		Izquierdo	Chorro de Agua
150.213		Izquierdo	Aldea Jesús María
150.752			PUENTE Jones
151.144		Derecho	Chorro de Agua
151.455		Izquierdo	Aldea Llano Verde
151.455		Derecho	Aldea El Pelón
153.040		Izq. Der.	Aldea Pata Galana
154.040			Estación de Conteo de Tránsito No. 908
155.572		Izquierdo	Vivero DIGEBOS
155.572		Derecho	Cooperativa El Rosario

KILÓMETRO	PKE	LADO	DESCRIPCIÓN
155.687		Izquierdo	Escuela Regional
156.716		Izquierdo	Comedor
158.268			PUENTE Tempisque
158.399	153		Poste de kilometraje existente
158.464		Izquierdo	Aldea Santiago Arriba
159.543			PUENTE Santiago
159.869		Derecho	Aldea Manzanotal
161.536			PUENTE Los Cedros
161.684		Izquierdo	Finca Juan Ponce
161.964		Izquierdo	Gasolinera
162.606		Derecho	Comedor
164.561			PUENTE Achiotés
164.730			Aldea Los Achiotés
167.808		Izquierdo	Centro Maderero La Unión
167.972		Izquierdo	Aldea El Arenal
168.104			PUENTE Arenal
170.096			PUENTE Mayuelas
170.968		Derecho	Campamento de Caminos Mayuelas
171.018		Izquierdo	Restaurante Palomino
171.051		Derecho	A Gualán (RD ZAC-5)
171.100		Izquierdo	Restaurante y Hotel
171.281		Derecho	Comedor
173.849		Derecho	Gasolinera
173.849	168		Poste de kilometraje existente
174.096		Izq. Der.	Aldea Zarzal
176.467		Izquierdo	Caserío El Chupadero
178.047		Izquierdo	Caserío Samaría
179.166		Izq. Der.	Aldea El Lobo
179.216		Derecho	Cafetería El Lobo
180.000			Estación de Conteo de Tránsito No. 909
180.105			PUENTE El Lobo
180.187		Derecho	Refresquería Los Almendros
180.681		Derecho	Comedor Revalsita
182.096			Aldea Encinitos
183.808			Puente Matasano
183.970		Izquierdo	Llano Largo
184.434		Izquierdo	Finca San Antonio
186.228		Izquierdo	Aserradero El Sauce
187.166			Aldea Doña María
187.397			PUENTE Dona María
187.413		Izquierdo	Posada Dona María
187.413		Derecho	Comedor Dona María
189.833		Izquierdo	A Aldea Tecolotes
189.899			PUENTE El Mestizo
190.426	184		Poste de kilometraje existente
191.644		Derecho	Aserradero
191.677			PUENTE Juilín
191.907		Izq. Der.	Aldea García
192.368			Limite Departamental ZACAPA / IZABAL
192.580	186		Poste de kilometraje existente
193.010		Izquierdo	Comedor La Bendición
195.776		Derecho	Campamento de Caminos, Grupo 3
196.089		Izq. Der.	Aldea Juan de Paz
196.418			PUENTE Juan de Paz
197.241			PUENTE Calzada
197.510			Estación de Conteo de Tránsito No. 910
197.834		Derecho	Finca La Unión
197.998			Aldea La Palmilla
198.755	192		Poste de kilometraje existente
199.644		Derecho	Finca Santa Elena
199.809			PUENTE Manacal
199.842		Izq. Der.	Finca San Antonio Manacal
206.111		Derecho	Gasolinera
206.127		Izquierdo	Destacamento Militar

KILÓMETRO	PKE	LADO	DESCRIPCIÓN
206.262		Derecho	A Aldea El Rico (RD IZAB-3)
207.365		Izquierdo	Destacamento Militar
207.381		Derecho	Garita Municipal LOS AMATES
207.398		Derecho	A Los Amates
207.558		Izquierdo	Puesto de Salud
207.661		Izquierdo	Instituto de Educación Básica José Milla y Vidaurre
208.048		Derecho	Comedor
208.073	201		Poste de kilometraje existente
208.616		Derecho	Instalaciones planta INDE
208.896		Derecho	Campamento de Caminos
209.008			PUENTE Quiriguá
211.184	204		Poste de kilometraje existente
211.859		Derecho	Gasolinera
212.204		Derecho	A ruinas de Quiriguá (RD IZAB-1)
213.093		Derecho	A Aldea Los Planes
213.686		Derecho	Puesto de Salud Guacamayas
214.756		Derecho	Finca Nuevos Horizontes
215.530		Izquierdo	Finca San Francisco
215.925		Derecho	Hacienda La Bendición
216.386	209		Poste de kilometraje existente
216.945		Derecho	Aldea Guacamayo
217.680		Derecho	Finca Guadalupe
218.460		Derecho	ICTA
219.480	212		Poste de kilometraje existente
219.694		Izq. Der	Aldea Cristina
219.941		Derecho	A Aldea Chifinola
220.320			PUENTE San Francisco
221.439			PUENTE El Jute
221.439		Izquierdo	Comedor El Jute
221.695			Beneficio de Arroz Marzol
221.752		Izquierdo	Aserradero El Pilar
222.968		Izquierdo	Comedor Tere
223.168		Derecho	Finca San Francisco
225.818			PUENTE Trincheras
226.032		Izquierdo	A Mariscos (RD IZAB-4)
229.637			Aldea Río Blanco
229.719		Derecho	Comedor Marinita
230.460			PUENTE Río Blanco
230.888		Izquierdo	Farmacia La Providencia
231.497		Izq. Der.	Aldea Cacao
231.547		Derecho	A Aldea Los Andes
232.172		Derecho	Finca Pacayal
232.494		Derecho	Finca Bruno
232.567			PUENTE Bruno
233.077		Izq. Der.	Aldea Piedras de Sangre
233.802		Derecho	Finca Cacao
235.003		Izq. Der.	Aldea Gran Cañón
235.520			Estación de Conteo de Tránsito No. 912
236.897		Derecho	Finca Estanzuela
237.275		Izquierdo	Campamento Militar
238.329		Izquierdo	Finca Las Tres Marías
238.839			PUENTE Virginia
239.678		Izquierdo	Finca El Prado
239.794		Derecho	Finca Esperanza
239.991		Izquierdo	Escuela Aldea El Cruce
240.057		Izquierdo	Finca Las Américas
240.222		Izq. Der.	A Aldea Virginia (RD IZAB-6)
240.386		Izq. Der.	Parcelamiento Virginia
240.469		Izq. Der.	Finca El Gran Chaparral
241.127		Izq. Der.	Aldea Mojaca
241.868		Izquierdo	Hacienda Fuente del Norte
241.983		Derecho	Escuela Rural Mixta Zoila Oliva Ponce
242.609		Derecho	A Aldea York (RD IZAB-19)
242.691			PUENTE Mojaca

KILÓMETRO	PKE	LADO	DESCRIPCIÓN
244.123			PUENTE de Oro
244.568		Derecho	Parcelamiento San Gil
244.979		Izquierdo	Finca Luisa Jannett
245.210		Derecho	Finca Monterrey
245.819		Derecho	Finca Nolbal
245.901			PUENTE Presa I
246.082		Derecho	Finca San Cristóbal
246.345	238		Poste de kilometraje existente
246.082		Izq. Der.	Aldea Valle Nuevo
246.922		Derecho	Finca Valle Nuevo
247.382	239		Poste de kilometraje existente
247.382			PUENTE Semeca
247.876		Izquierdo	Finca Livia
248.403		Derecho	Hacienda El Rejon
249.506			PUENTE Presa II
249.687		Derecho	Finca Cortes
249.687		Derecho	Hacienda Don Meme
250.280		Izquierdo	Hacienda Mayela
250.482	242		Poste de kilometraje existente
252.239		Derecho	Gasolinera
252.255		Derecho	A Morales (CA-13 "A")
252.287		Derecho	Restaurante Cruce del Norte
252.518		Derecho	Hacienda Taboga
252.551		Izquierdo	Hacienda La Ruidosa
253.424		Izquierdo	A Campamento La Ruidosa D.G.C.
253.671		Izquierdo	A Río dulce y Petén, Ruta CA-13
254.543		Derecho	Finca Ceiba
255.021		Izquierdo	Finca Sendero
255.284		Izquierdo	Finca Loma Linda
256.272		Izquierdo	Finca Corralitos
256.848		Izquierdo	Escuela Aldea Santa Rosa Las Flores
257.539		Izq. Der.	Aldea Santa Rosa Las Flores
257.891		Izquierdo	Finca El Recuerdo
258.807	250		Poste de kilometraje existente
260.239		Derecho	Aldea Darmouth (RD IZAB-7)
261.227		Izq. Der.	Aldea Quebrada Grande
261.352		Derecho	Finca M. Horizonte
262.543		Izquierdo	Finca Bonanza
262.609			PUENTE Quebrada Grande (Quebrada seca)
263.004		Izquierdo	A Aldea El Naranjito
263.169		Derecho	Escuela Rural Mixta 15 de Septiembre de 1821
263.482		Derecho	Hacienda El Retiro
263.729		Izq. Der.	Aldea Villa Nueva
263.872		Izquierdo	Finca Ilusiones
264.420		Izquierdo	Hacienda Henfabiana
265.474		Izquierdo	Finca Los Ángeles
266.598		Derecho	Vivero Cacao
266.807		Derecho	Finca Tunaja
267.284		Derecho	Proyectos Cítricos
267.465			PUENTE Las Cucharas
267.663		Izquierdo	DIGESA
267.828		Izquierdo	A Aldea Navajoa (RD IZAB-8)
267.828		Izquierdo	Centro de Capacitación Agrícola
268.780			Estación de Conteo de Tránsito No. 914
269.227	260		Poste de kilometraje existente
269.276		Derecho	A Aldea Cayuga (RD IZAB-9)
269.737		Izquierdo	Cuevas del Silvino
270.264	261		Poste de kilometraje existente
270.445		Derecho	Finca San Luis
270.988		Izquierdo	A Aldea Guaitán
271.153		Derecho	A Aldea Picuatz (RD IZAB-10)
271.581		Derecho	Centro Administrativo Navajoa
272.272		Izq. Der.	Aldea Pimienta
272.338		Izquierdo	Parcelamiento Macondo

KILOMETRO	PKE	LADO	DESCRIPCION
272.568		Derecho	Parcelamiento Pimienta
274.066		Derecho	Finca El Milagro
275.169		Derecho	Escuela Nacional Aldea El Satélite
276.503		Derecho	Finca El Arroyo
277.392	268		Poste de kilometraje existente
277.622		Derecho	Finca San Francisco II
277.968		Derecho	Finca Bella Isabel
278.593		Izquierdo	Aldea El Cimarrón
279.400			PUENTE Tenedores
279.515		Izquierdo	Campamento D.G.C. Tenedores
281.705	272		Poste de kilometraje existente
281.886		Izquierdo	Parcela Los Angelitos
284.355			PUENTE San Francisco
284.404		Izquierdo	Escuela Aldea San Francisco
284.832	275		Poste de kilometraje existente
285.606			PUENTE Creek Negro
286.133		Izquierdo	Finca El Bambú
286.133		Derecho	A Parcelamiento Champona (RD IZAB-14)
286.478		Izquierdo	Centro Administrativo Pto. Santo Tomás de Castilla
287.003		Derecho	INTA Región III
287.351		Izquierdo	Estación Pecuaria SANTO TOMAS DE CASTILLA
287.453		Izquierdo	DIGESEPE
287.565		Derecho	Finca San José
287.795		Derecho	Finca El Jacalito
288.404			A Finca La Vega
289.406			PUENTE Machacas
289.227			Escuela Mario R. Granados
289.277		Derecho	Finca Itzagual
289.639		Derecho	A Fincas Cerrito del Carmen y Tecún Umán
289.886		Izquierdo	Finca Rancho Grande
290.116			PUENTE Veracruz
290.923		Derecho	Finca San Antonio
292.125			PUENTE Limones
293.359		Derecho	A Aldea Entre Ríos
295.400		Derecho	A Aldea El Pitero
296.125		Derecho	Escuela Piedra Parada
296.262		Derecho	Iglesia
296.701		Izquierdo	Finca El Búcaro
297.392		Izquierdo	Finca Roca
297.903		Izquierdo	Finca San Luís
298.512			Estación de Conteo de Tránsito No. 915
298.512		Izquierdo	Báscula D.G.C.
299.730		Izquierdo	Finca Marinita
300.207			PUENTE Agua Caliente I
300.487		Izquierdo	Balneario El Zarco
301.129		Derecho	Gasolinera
301.129		Izquierdo	Taller de Mecánica
301.327		Izquierdo	Cerro Bruto
301.327		Izquierdo	Balneario Los Chorros
301.936		Izquierdo	Fertilasa
302.183		Izquierdo	A Aldea Cerro Bruto
302.545		Derecho	Gasolinera
302.594	262		Poste de kilometraje existente
302.627		Izquierdo	Garita Policía Nacional Puerto Barrios
302.627		Izquierdo	A Puerto Santo Tomás de Castilla (CA-9 NORTE "A")
302.825		Izquierdo	A Puerto Santo Tomás de Castilla (CA-9 NORTE "A")
302.890		Derecho	Gasolinera
302.940		Izquierdo	Aserradero del Caribe
303.000			Estación de Conteo de Tránsito No. 916
303.039		Izquierdo	Maderas Tropicales
303.203			PUENTE Cacao (El Derrumbe)
303.500		Derecho	Refinería Guatcal
303.681			PUENTE Piedras Negras
303.878		Derecho	Garita Municipal Puerto Barrios

KILÓMETRO	PKE	LADO	DESCRIPCIÓN
304.240		Derecho	A Instalaciones del INDE
304.619		Derecho	Cementerio General de Puerto Barrios
304.718		Derecho	Taller Mecánico
304.981			PUENTE Quebrada seca
305.294		Derecho	Hospital I.G.S.S.
305.623		Izquierdo	Hotel Costa Grande
306.314		Derecho	Escuela Experimental Luís Pasteur
306.583		Derecho	Gasolinera
306.775		Derecho	Puesto de Salud
306.808		Derecho	Agencia BANVI
306.989		Izquierdo	TELGUA
307.335		Derecho	Parque Municipal
307.697		Derecho	Municipalidad de PUERTO BARRIOS
307.796		Derecho	Capitanía General de Puerto Barrios

Cuadro I.1

I.2 Listado de Estaciones de Conteo

ESTACIONES DE CONTEO VEHICULAR			
No.	KILÓMETRO	TRAMO	DESCRIPCIÓN
1	8+.476	I	Estación de Conteo de Tránsito No. 901
2	16+.610	I	Estación de Conteo de Tránsito No. 900
3	48+.000	I	Estación de Conteo de Tránsito No. 902
4	59+.140	II	Estación de Conteo de Tránsito No. 903
5	84+.086	II	Estación de Conteo de Tránsito No. 904
6	91+.700	III	Estación de Conteo de Tránsito No. 905
7	116+.026	III	Estación de Conteo de Tránsito No. 906
8	133+.253	III	Estación de Conteo de Tránsito No. 907
9	154+.040	IV	Estación de Conteo de Tránsito No. 908
10	180+.000	IV	Estación de Conteo de Tránsito No. 909
11	197+.510	IV	Estación de Conteo de Tránsito No. 910
12	226+.000	IV	Estación de Conteo de Tránsito No. 911
13	235+.520	IV	Estación de Conteo de Tránsito No. 912
14	252+.000	IV	Estación de Conteo de Tránsito No. 913
15	268+.780	V	Estación de Conteo de Tránsito No. 914
16	298+.512	V	Estación de Conteo de Tránsito No. 915
17	303+.000	V	Estación de Conteo de Tránsito No. 916

Cuadro I.2

Nota: Las estaciones sombreadas son las representativas de cada tramo estudiado.

I.3 Lista de tramos utilizados en el estudio con estaciones representativas

LISTADO DE TRAMOS UTILIZADOS				
TRAMO	DE KM	A KM	LONGITUD	
I	08+476	30+335	21+859	Puente Rodriguitos – Puente Agua Caliente
II	30+335	84+286	53+951	Puente Agua Caliente- Entrada Sanarate - Entrada Guastatoya - El Rancho
III	84+286	140+835	56+549	El Rancho - San Cristóbal Acasaguastlán-Teculután - Río Hondo
IV	140+835	253+671	112+836	Río Hondo - Mayuelas - Doña María - Los Amates - Mariscos - Virginia - La Ruidosa
V	253+671	307+796	54+125	La Ruidosa - Champona - Puerto Barrios - Desvío a Puerto Santo Tomás de Castilla
	TOTALES		299+320	

Cuadro I.3

I.4 Análisis de datos de las Estaciones de Conteo 901, 903, 907, 909 y 916 en los tramos estudiados.

- a. Determinación de la tasa de crecimiento de cada vehículo
- b. Gráficas de las tasas de crecimiento vehicular
- c. Cálculo del TPDA para el año 2007
- d. Cálculo de ESALs para períodos de diseño de 10 y 20 años
- e. Cálculo del Número Estructural representativo de cada tramo

ESTACIÓN DE CONTEO 901

- a. Determinación de la tasa de crecimiento de cada vehículo
- b. Gráficas de las tasas de crecimiento vehicular
- c. Cálculo del TPDA para el año 2007
- d. Cálculo de ESALs para períodos de diseño de 10 y 20 años
- e. Cálculo del Espesor Requerido representativo de cada tramo

LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE. CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
TASA DE CRECIMIENTO HISTÓRICA DEL TPDA

ESTACIÓN: 901
TIPO: "B"

RUTA: CA-9 NORTE
KILÓMETRO: 8.00
Tramo: Puente Belice - Lo de Rodríguez

Total de cada tipo de vehículo en base a datos de conteo diario

AÑO	TIPO DE VEHÍCULO						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1,967	2,040	595	340	662	152	135
2	1,968	2,196	546	317	738	178	71
3	1,969	2,013	598	346	563	183	67
4	1,970	2,438	739	442	781	208	57
5	1,971	2,915	843	616	843	215	46
6	1,972	3,177	927	631	901	250	67
7	1,973	3,251	974	727	933	214	90
8	1,974	3,637	942	804	1,164	258	92
9	1,975	3,826	1,023	873	1,034	315	133
10	1,976	5,177	1,243	1,329	1,402	466	196
11	1,977	6,528	1,462	1,784	1,770	616	259
12	1,978	6,103	1,387	1,936	1,478	536	347
13	1,979	5,790	1,234	1,823	1,581	440	260
14	1,980	5,542	1,210	1,746	1,418	542	215
15	1,981	4,916	1,152	1,529	1,204	372	209
16	1,982	4,844	1,161	1,588	1,177	427	111
17	1,983	5,726	1,596	1,760	1,138	346	314
18	1,984	6,023	1,626	1,856	1,277	362	283
19	1,985	5,383	1,303	1,587	1,279	414	178
20	1,986	6,124	1,616	1,800	1,347	447	204
21	1,987	6,436	1,717	2,013	1,301	548	205
22	1,988	6,747	1,819	2,227	1,254	649	205
23	1,989	7,059	1,920	2,440	1,208	750	206
24	1,990	7,329	2,050	2,480	1,238	827	193
25	1,991	7,599	2,180	2,519	1,268	904	179
26	1,992	8,495	2,452	2,796	1,429	968	262
27	1,993	10,149	2,802	3,261	1,529	1,134	269
28	1,994	11,589	3,479	3,779	1,632	1,187	370
29	1,995	11,938	3,480	3,782	1,758	1,318	446
30	1,996	12,270	3,482	3,784	1,884	1,448	522
31	1,997	12,601	3,483	3,787	2,010	1,579	597
32	1,998	12,933	3,484	3,789	2,136	1,709	673

NOMENCLATURA de 1995 en adelante

- 1 Automóviles, Paneles y Jeeps
- 2 Pick-ups
- 3 Camiones medianos, de 2 ejes
- 4 Vehículos de 3 Ejes
- 5 Microbuses
- 6 Buses
- 7 Vehículos de 4 ó más ejes

VEHÍCULOS PESADOS: TIPO: 3 + 4 + 6 + 7

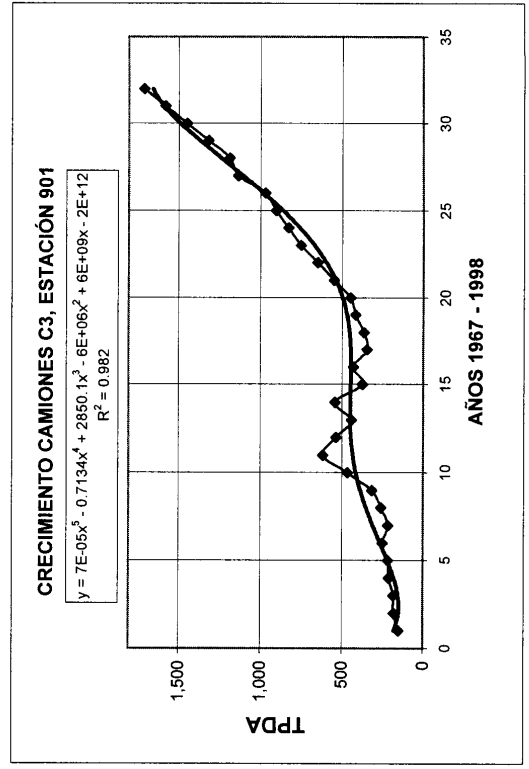
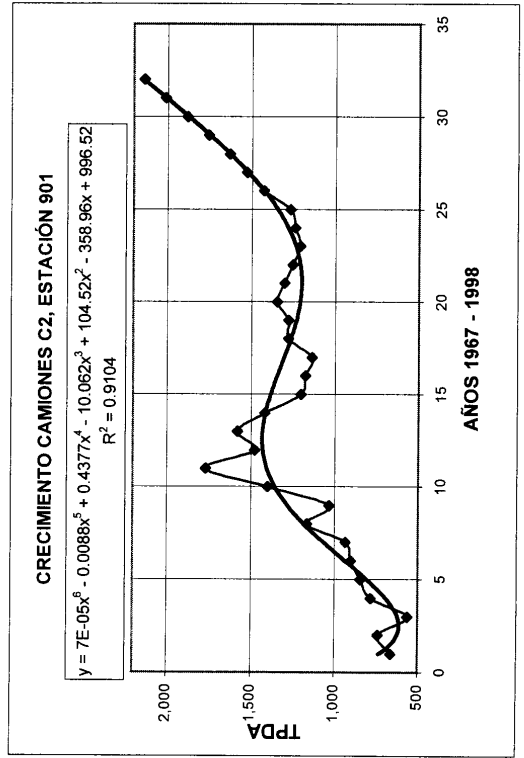
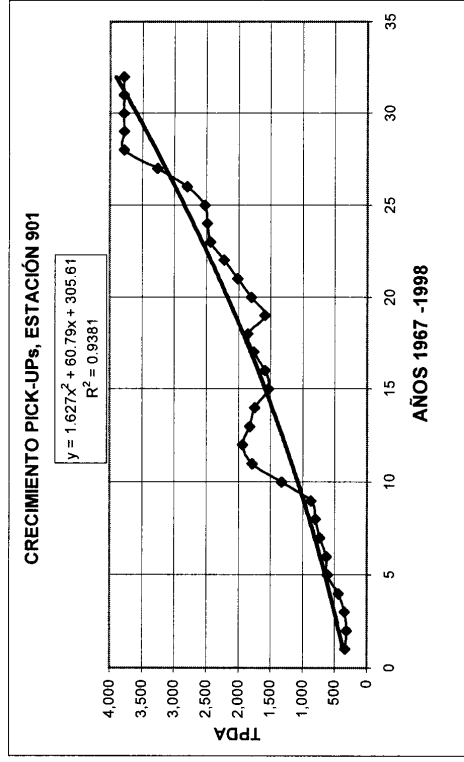
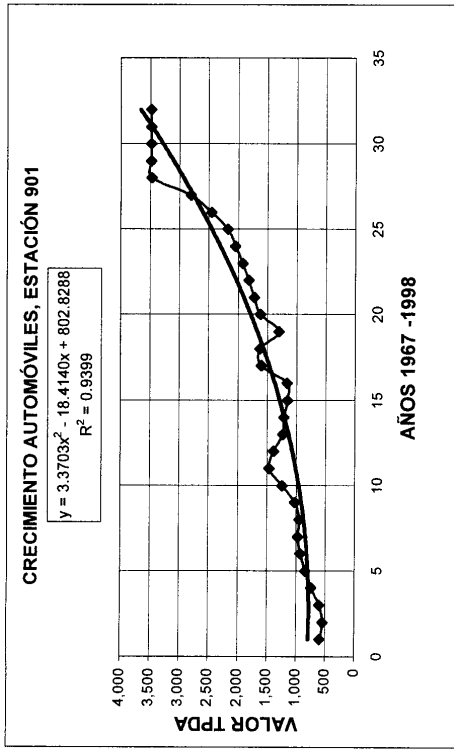
Cálculo tasas de crecimiento por tipo de vehículo

1	2	3	4	5	6	7
Autos	Pickup	Camion C-2	Camion C-3	Micro buses	Buses	Camion 4 ó más
-8.2%	-6.8%	11.5%	17.1%	-47.4%	121.8%	
9.5%	9.1%	-23.7%	2.8%	-5.6%	-26.0%	
23.6%	27.7%	38.7%	13.7%	-14.9%	-17.6%	
14.1%	39.4%	7.9%	3.4%	-19.3%	66.6%	
10.0%	2.4%	6.9%	16.3%	45.7%	13.8%	
5.1%	15.2%	3.6%	-14.4%	34.3%	-21.9%	
-3.3%	10.6%	24.8%	20.6%	2.2%	20.4%	
8.6%	8.6%	-11.2%	22.1%	44.6%	18.8%	
21.5%	52.2%	35.6%	47.8%	47.4%	21.1%	
17.7%	34.3%	26.2%	32.3%	32.1%	17.4%	
-5.1%	8.5%	-16.5%	-13.0%	34.0%	-34.2%	
-11.0%	-5.8%	7.0%	-17.9%	-25.1%	7.9%	
-1.9%	-4.2%	-10.3%	23.2%	-17.3%	-9.1%	
-4.8%	-12.4%	-15.1%	-31.4%	-2.8%	9.5%	
0.8%	3.9%	-2.2%	14.8%	-46.9%	-15.6%	
37.5%	10.8%	-3.3%	-19.0%	182.9%	50.5%	
1.9%	5.5%	12.2%	4.6%	-9.9%	8.2%	
-19.9%	-14.5%	0.2%	14.4%	-37.1%	0.5%	
24.0%	13.4%	5.3%	8.0%	14.6%	14.1%	
6.3%	11.9%	-3.4%	22.6%	0.3%	-8.2%	
5.9%	10.6%	-3.6%	18.4%	0.3%	-9.0%	
5.6%	9.6%	-3.7%	15.6%	0.3%	-8.8%	
6.8%	1.6%	2.5%	10.3%	-6.6%	1.3%	
6.3%	1.6%	2.4%	9.3%	-7.0%	1.3%	
12.5%	11.0%	12.7%	7.1%	46.4%	7.1%	
14.3%	16.6%	7.0%	17.1%	10.3%	92.9%	
24.2%	15.9%	6.7%	4.7%	28.0%	0.7%	
0.04%	0.07%	7.7%	11.0%	20.5%	-0.6%	16.2%
0.04%	0.07%	7.2%	9.9%	17.0%	-0.6%	13.9%
0.04%	0.07%	6.7%	9.0%	14.5%	-0.6%	12.2%
0.04%	0.07%	6.3%	8.3%	12.7%	-0.6%	10.9%

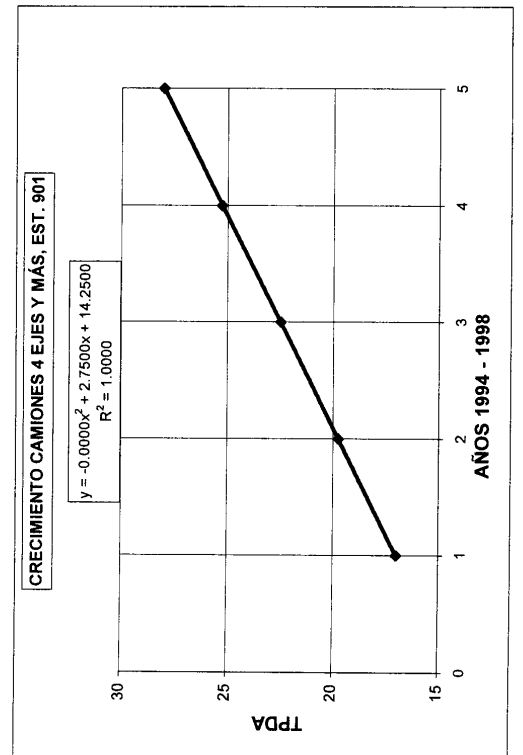
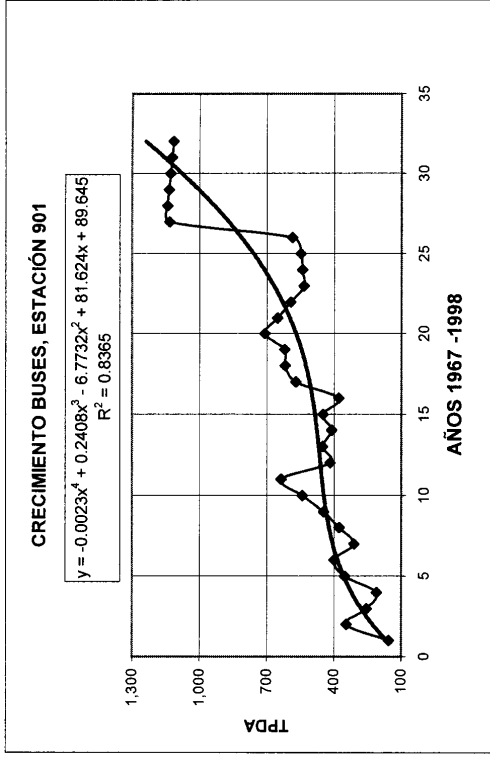
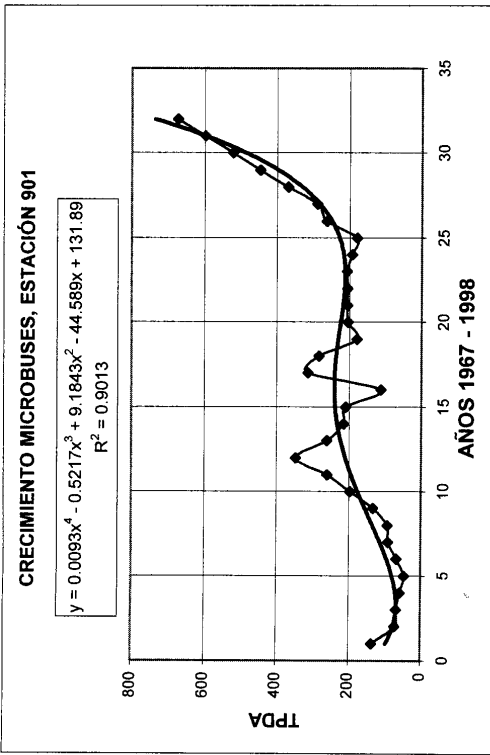
TASA HISTÓRICA DE CRECIMIENTO PROMEDIO ANUAL	6.5%	8.9%	4.7%	9.3%	11.2%	10.3%	13.3%
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL VEHÍCULOS IMPORTADOS	15.0%	15.0%					
TASA VARIACIÓN ANUAL DEL PIB			3.9%	3.9%	2.7%	3.9%	3.9%
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DE LA POBLACIÓN							
TASA ANUAL DE CARGA MOVILIZADA EN PUERTOS DEL ATLÁNTICO							
TASA ANUAL DE CARGA MOVILIZADA EN PUERTOS DEL ATLÁNTICO							
TASA PONDERADA DE CRECIMIENTO PROMEDIO ANUAL	10.8%	12.0%	4.3%	6.6%	5.9%	5.6%	5.2%

Los datos de los años 1976, 1987, 1988, 1990, 1995, 1996 y 1997 fueron extrapolados, por no estar disponibles.

LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE. CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
GRÁFICAS DE TASAS DE CRECIMIENTO VEHICULAR



LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE. CASO RUTA DEL ATLANTICO
GRÁFICAS DE TASAS DE CRECIMIENTO VEHICULAR



LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
CÁLCULO DEL TPDA PARA EL AÑO 2007

ESTACIÓN: 901
TIPO: "B"

KILÓMETRO: 8.00
Tramo: Puente Belice - Lo de Rodríguez

VOLUMEN DIARIO DE TRÁNSITO

Proyección del TPDA al año 2007 utilizando datos de 1998, (período n= 9 años)

Tipo de vehículo	TPDA 1998	% Tipo de vehículo	Tasa crecimiento anual (g)	TPDA 2007	TPDA 2007 V. PESADOS
1. Automóvil	3,484	26.9%	10.8%	8,720	
2. Pickup	3,789	29.3%	12.0%	10,462	
3. Camión C-2	2,136	16.5%	4.3%	3,110	3,110
4. Camión C-3	1,709	13.2%	6.6%	3,026	3,026
5. Microbús	673	5.2%	5.9%	1,120	
6. Autobús	1,114	8.6%	5.6%	1,814	1,814
7. Trailer C-4	28	0.2%	5.2%	1,327	1,327
TPDA	12,933	100.0%		29,579	9,278

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR DIRECCIÓN O SENTIDO (DD):

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR PISTA O CARRIL (LD):

FACTOR DE CAMIÓN (Truck Factor, TF):

FACTOR DE CRECIMIENTO (Growing Factor, GF):

$$GF = \frac{(1+g)^n - 1}{g}$$

fórmula de la AASHTO

n: número de años

g: tasa anual crecimiento

0.5
1.0
1.0

FACTORES EQUIVALENTES POR EJE

Pavimento flexible AASHTO

Tipo de vehículo	Eje 1	Eje 2	Eje 3	F.E. TOTAL
1. Automóvil	0.0001	0.0001		0.0002
2. Pickup	0.0011	0.0018		0.0029
3. Camión C-2	0.2220	2.0900		2.3120
4. Camión C-3	0.2220	1.3800		1.6020
5. Microbús	0.0011	0.0018		0.0029
6. Autobús	0.3005	0.2070		0.5075
7. Trailer C-4	0.1084	1.2740	1.2740	2.6564

Pt = 2.5

NE = 4.0

LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE: CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
CÁLCULO ESAL AASHTO 93

ESTACIÓN: 901
 TIPO: "B"

KILÓMETRO: 8.00
 Tramo: Puente Belice - Lo de Rodríguez

Cálculo del total de ESAL para cada tipo de vehículo, período de diseño de 10 años

Tipo de vehículo	A	Tasa crecimiento anual (g)	B	C=A*B ³⁶⁵	D	E	F	G	A*365*D*E*F*G	C*D*E*F*G	% ESALS	% Tipo de vehículo
	TPDA 2007		Factor de crecimiento	Tránsito de diseño a 10 años	D. D.	L. D.	Factor Equivalente	Factor de Camión	ESAL 2007	ESAL 2017		
1. Automóvil	8,720	10.75%	16.52	52,594,852	0.50	1.00	0.0002	1.0000	318	5,259	0.01%	29.5%
2. Pickup	10,462	11.97%	17.52	66,903,502	0.50	1.00	0.0029	1.0000	5,537	97,010	0.25%	35.4%
3. Camión C-2	3,110	4.30%	12.18	13,822,983	0.50	1.00	2.3120	1.0000	1,312,259	15,979,368	41.58%	10.5%
4. Camión C-3	3,026	6.60%	13.56	14,978,113	0.50	1.00	1.6020	1.0000	884,740	11,997,469	31.22%	10.2%
5. Microbús	1,120	5.94%	13.15	5,371,972	0.50	1.00	0.0029	1.0000	593	7,789	0.02%	3.8%
6. Autobús	1,814	5.65%	12.96	8,584,861	0.50	1.00	0.5075	1.0000	168,039	2,178,409	5.67%	6.1%
7. Trailer C-4	1,327	5.20%	12.70	6,148,982	0.50	1.00	2.6564	1.0000	643,320	8,167,052	21.25%	4.5%
	29,579			461,384								
TOTAL ESALS PARA PERÍODO DE DISEÑO DE 10 AÑOS										38,432,356	100.0%	100.0%
PORCENTAJE ESAL VEHÍCULOS PESADOS										99.7%		

Cálculo del total de ESAL para cada tipo de vehículo, período de diseño de 20 años

Tipo de vehículo	A	Tasa crecimiento anual (g)	B	C=A*B ³⁶⁵	D	E	F	G	A*365*D*E*F*G	C*D*E*F*G	% ESALS	% Tipo de vehículo
	TPDA 2007		Factor de crecimiento	Tránsito de diseño a 20 años	D. D.	L. D.	Factor Equivalente	Factor de Camión	ESAL 2007	ESAL 2027		
1. Automóvil	8,720	10.75%	62.41	198,648,447	0.50	1.00	0.0002	1.0000	318	19,865	0.02%	29.5%
2. Pickup	10,462	11.97%	71.77	274,068,743	0.50	1.00	0.0029	1.0000	5,537	397,400	0.39%	35.4%
3. Camión C-2	3,110	4.30%	30.74	34,891,322	0.50	1.00	2.3120	1.0000	1,312,259	40,334,368	39.09%	10.5%
4. Camión C-3	3,026	6.60%	39.26	43,368,802	0.50	1.00	1.6020	1.0000	884,740	34,738,410	33.67%	10.2%
5. Microbús	1,120	5.94%	36.57	14,942,093	0.50	1.00	0.0029	1.0000	593	21,666	0.02%	3.8%
6. Autobús	1,814	5.65%	35.42	23,453,318	0.50	1.00	0.5075	1.0000	168,039	5,951,279	5.77%	6.1%
7. Trailer C-4	1,327	5.20%	33.77	16,356,129	0.50	1.00	2.6564	1.0000	643,320	21,724,211	21.05%	4.5%
	29,579			1,659,531								
TOTAL ESALS PARA PERÍODO DE DISEÑO DE 20 AÑOS										103,187,199	100.0%	100.0%
PORCENTAJE ESAL VEHÍCULOS PESADOS										99.6%		

LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
 CÁLCULO NÚMERO ESTRUCTURAL

ESTACIÓN: 901
 TIPO: "B"

KILÓMETRO: 8.00
 Tramo: Puente Belice - Lo de Rodríguez

Cálculo del espesor de concreto requerido para el período de diseño

PERÍODO DE DISEÑO	ESAL DISEÑO	CONFIABILIDAD R	DESVIACIÓN ESTANDAR NORMAL So	MODULO RUPTURA	MODULO ELASTICIDAD
10 AÑOS	38,432,356	85.00	0.35	600	3,000,000
20 AÑOS	103,187,199	85.00	0.35	600	3,000,000

TRANSFERENCIA CARGA J	MODULO REACCIÓN SUBRASANTE	COEFICIENTE DRENAJE	INDICE SERVICIABILIDAD INICIAL Po	INDICE SERVICIABILIDAD FINAL Pt	ESPESOR REQUERIDO (cm)
2.80	500	1.0	4.2	2.0	26.6
2.80	500	1.0	4.2	2.0	31.4

ESTACIÓN DE CONTEO 903

- a. Determinación de la tasa de crecimiento de cada vehículo
- b. Gráficas de las tasas de crecimiento vehicular
- c. Cálculo del TPDA para el año 2007
- d. Cálculo de ESALs para períodos de diseño de 10 y 20 años
- e. Cálculo del Número Estructural representativo de cada tramo

LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE. CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
TASA DE CRECIMIENTO HISTÓRICA DEL TPDA

ESTACION: 903 RUTA: CA-9 NORTE
TIPO: "B" KILÓMETRO: 59.00

Tramo: Entrada Sanarate - Entrada Guastatoya
Total de cada tipo de vehículo en base a datos de conteo diario

AÑO	TIPO DE VEHICULO						
	1	2	3	4	5	6	7
1968	1,199	261	413	174	57	125	
1969	1,397	321	410	228	33	174	
1970	1,562	356	512	220	39	177	
1971	1,755	438	509	234	29	204	
1972	1,729	510	349	454	162	206	
1973	1,896	458	378	581	59	211	
1974	2,486	421	508	970	293	69	225
1975	2,225	446	503	703	259	82	232
1976	1,922	368	538	614	170	42	190
1977	1,661	301	489	514	183	41	133
1978	3,105	672	984	809	275	90	275
1979	3,750	619	1,176	1,149	384	115	307
1980	3,348	671	1,022	991	330	86	248
1981	3,402	635	1,095	909	414	75	274
1982	3,391	768	903	914	438	73	295
1983	3,331	869	1,060	689	266	163	284
1984	3,183	779	969	734	305	85	311
1985	3,669	852	1,045	777	343	279	373
1986	3,198	719	894	759	302	176	348
1987	3,469	778	980	714	376	259	362
1988	3,472	540	1,130	736	395	316	355
1989	3,785	835	1,295	718	457	78	402
1990	3,803	802	1,232	681	458	254	376
1991	3,774	788	1,167	710	500	246	363
1992	4,331	926	1,334	850	646	214	361
1993	4,887	1,063	1,501	999	792	182	359
1994	5,330	1,281	1,546	1,000	730	292	481
1995	5,624	1,351	1,701	891	915	289	469
1996	5,933	1,490	1,716	1,013	917	314	472
1997	6,644	1,548	1,817	1,142	1,049	394	684
1998	7,355	1,606	1,918	1,271	1,180	473	895

TASA DE CRECIMIENTO PROMEDIO ANUAL	8.8%	10.2%	5.7%	8.9%	23.3%	9.0%	15.5%
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL VEHICULOS IMPORTADOS	15.0%	15.0%					
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DE LA POBLACION							
TASA ANUAL DE CARGA MOVILIZADA EN PUERTOS DEL ATLANTICO	11.9%	12.6%	4.8%	6.4%	10.0%	5.2%	5.6%

Los datos de los años 1992 y 1997 fueron extrapolados, por no ser confiables o no estar disponibles.

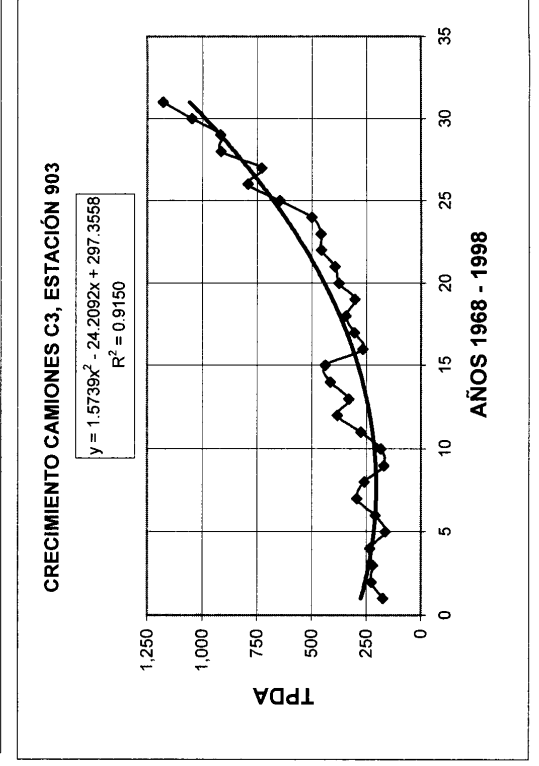
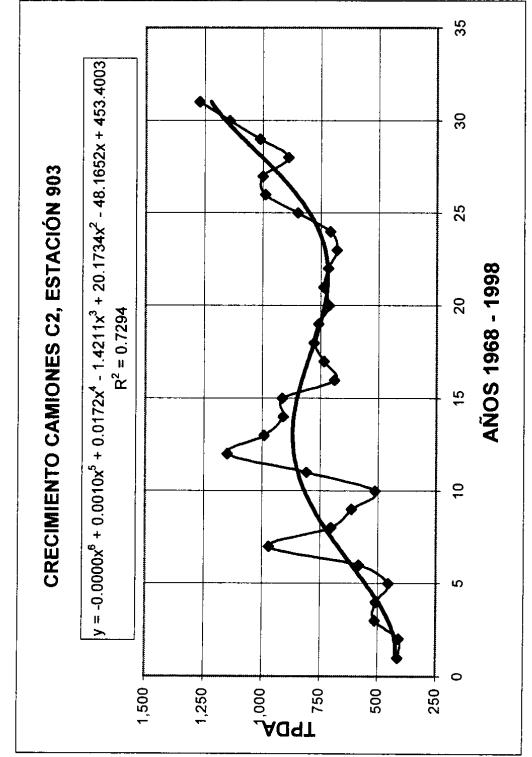
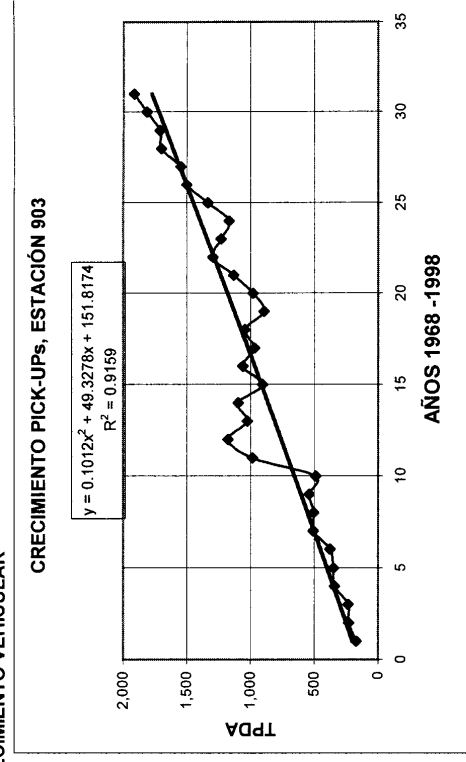
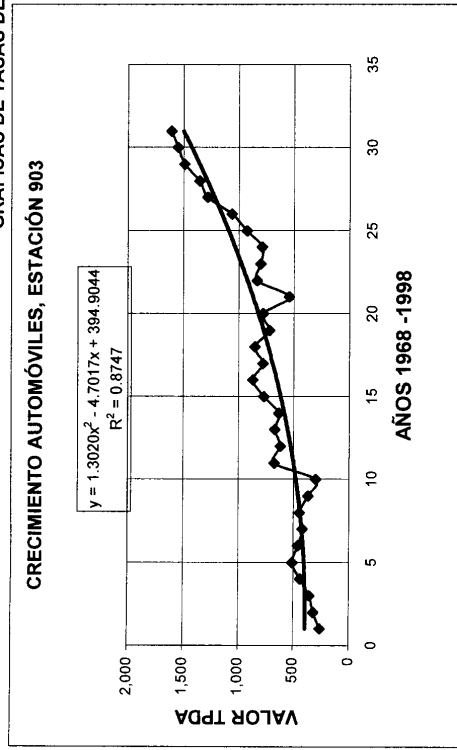
NOMENCLATURA de 1995 en adelante

- 1 Automóviles, Panelos y Jeeps
- 2 Pick-ups
- 3 Camiones medianos, de 2 ejes
- 4 Vehículos de 3 Ejes
- 5 Microbuses
- 6 Buses
- 7 Vehículos de 4 ó más ejes

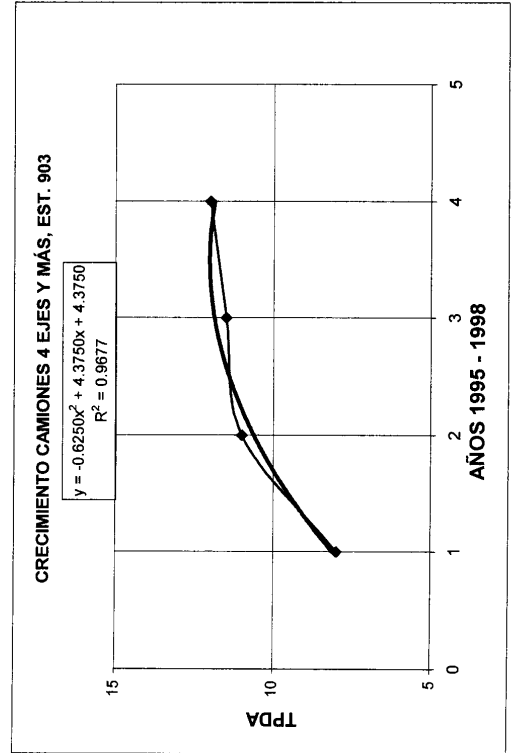
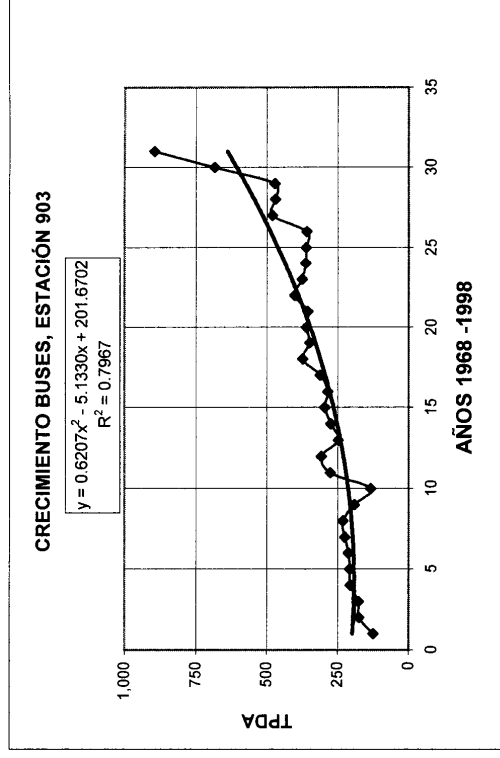
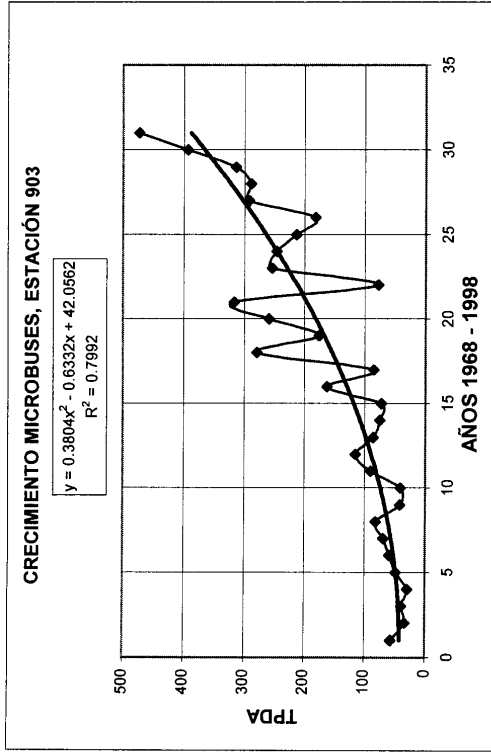
VEHICULOS PESADOS : TIPO: 3 + 4 + 6 + 7
Cálculo tasas de crecimiento por tipo de vehículo

1	2	3	4	5	6	7
Autos	Pickup	Camión C-2	Camión C-3	Micro buses	Buses	Camion C-4 ó más
23.0%	36.7%	-0.7%	31.0%	-42.1%	39.2%	
10.9%	2.2%	24.9%	-3.5%	18.2%	1.7%	
23.0%	44.5%	-0.6%	6.4%	-25.6%	15.3%	
16.4%	2.3%	-10.6%	-30.8%	65.5%	1.0%	
-10.2%	8.3%	28.0%	29.0%	22.9%	2.4%	
-8.1%	34.4%	67.0%	40.2%	16.9%	6.6%	
5.9%	-1.0%	-27.5%	-11.6%	18.8%	3.1%	
-17.5%	7.0%	-12.7%	-34.4%	-48.8%	-18.1%	
-18.2%	-9.1%	-16.3%	7.6%	-2.4%	-30.0%	
123.3%	101.2%	57.4%	50.3%	119.5%	106.8%	
-7.9%	19.5%	42.0%	39.6%	27.8%	11.6%	
8.4%	-13.1%	-13.8%	-14.1%	-25.2%	-19.2%	
-5.4%	7.1%	-8.3%	25.5%	-12.8%	-10.5%	
20.9%	-17.5%	0.6%	5.8%	-2.7%	7.7%	
13.2%	17.4%	-24.6%	-39.3%	123.3%	-3.7%	
-10.4%	-8.6%	6.5%	14.7%	-47.9%	9.5%	
9.4%	7.8%	5.9%	12.5%	228.2%	19.9%	
-15.6%	-14.4%	-2.3%	-12.0%	-36.9%	-6.7%	
8.2%	9.6%	-5.9%	24.5%	47.2%	4.0%	
-30.6%	15.3%	3.1%	5.1%	22.0%	-1.9%	
54.6%	14.6%	-2.4%	15.7%	-75.3%	13.2%	
-4.0%	-4.9%	-5.2%	9.2%	225.6%	-6.5%	
-1.7%	-5.3%	4.3%	9.2%	-3.1%	-3.5%	
17.4%	14.3%	19.7%	29.2%	-13.0%	-0.6%	
14.9%	12.5%	16.5%	22.8%	-15.0%	-0.6%	
20.5%	3.0%	1.0%	-7.8%	60.4%	34.0%	
5.5%	10.0%	-10.9%	25.3%	-1.0%	-2.6%	
10.3%	0.9%	13.7%	0.2%	8.7%	0.6%	
3.9%	5.9%	12.7%	14.3%	25.3%	44.8%	
3.7%	5.6%	11.3%	12.5%	20.2%	30.9%	

LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
GRÁFICAS DE TASAS DE CRECIMIENTO VEHICULAR



LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE; CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
 GRÁFICAS DE TASAS DE CRECIMIENTO VEHICULAR



LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
CÁLCULO DEL TPDA PARA EL AÑO 2007

ESTACION: 903
TIPO: "B"

KILÓMETRO: 59.00
Tramo: Entrada Sanarate - Entrada Guastatoya

VOLUMEN DIARIO DE TRÁNSITO

Proyección del TPDA al año 2007 utilizando datos de 1998, (período n= 9 años)

Tipo de vehículo	TPDA 1998	% Tipo de vehículo	Tasa crecimiento anual (g)	TPDA 2007	TPDA 2007 V. PESADOS
1. Automóvil	1,606	21.8%	11.9%	4,401	
2. Pickup	1,918	26.1%	12.6%	5,566	
3. Camión C-2	1,271	17.3%	4.8%	1,931	10.9%
4. Camión C-3	1,180	16.0%	6.4%	2,053	11.6%
5. Microbús	473	6.4%	10.0%	1,097	
6. Autobús	895	12.2%	5.2%	1,400	7.9%
7. Trailer C-4	12	0.2%	5.6%	1,327	7.5%
TPDA	7,355	100.0%		17,775	37.8%

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR DIRECCIÓN O SENTIDO (DD):

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR PISTA O CARRIL (LD):

FACTOR DE CAMIÓN (Truck Factor, TF):

FACTOR DE CRECIMIENTO (Growing Factor, GF):

fórmula de la AASHTO

n: número de años

g: tasa anual crecimiento

$$GF = \frac{(1+g)^n - 1}{g}$$

0.5
1.0
1.0

FACTORES EQUIVALENTES POR EJE

Pavimento flexible AASHTO

Pt = 2.5

NE = 4.0

Tipo de vehículo	Eje 1	Eje 2	Eje 3	F.E. TOTAL
1. Automóvil	0.0001	0.0001		0.0002
2. Pickup	0.0011	0.0018		0.0029
3. Camión C-2	0.2220	2.0900		2.3120
4. Camión C-3	0.2220	1.3800		1.6020
5. Microbús	0.0011	0.0018		0.0029
6. Autobús	0.3005	0.2070		0.5075
7. Trailer C-4	0.1084	1.2740	1.2740	2.6564

LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
CÁLCULO ESAL AASHTO 93

ESTACION: 903
TIPO: "B"

KILÓMETRO: 59.00
Tramo: Entrada Sanarate - Entrada Guastatoya

Cálculo del total de ESAL para cada tipo de vehículo, período de diseño de 10 años

Tipo de vehículo	A	Tasa crecimiento anual (g)	B	C=A*B ³⁶⁵	D	E	F	G	A*365*D*E*F*G	C*D*E*F*G	% ESALS	% Tipo de vehículo
	TPDA 2007		Factor de crecimiento	Tránsito de diseño a 10 años	D. D.	L. D.	Factor Equivalente	Factor de Camión	ESAL 2007	ESAL 2017		
1. Automóvil	4,401	11.90%	17.46	28,055,910	0.50	1.00	0.0002	1.0000	161	2,806	0.01%	24.8%
2. Pickup	5,566	12.60%	18.07	36,708,470	0.50	1.00	0.0029	1.0000	2,946	53,227	0.19%	31.3%
3. Camión C-2	1,931	4.82%	12.48	8,791,491	0.50	1.00	2.3120	1.0000	814,657	10,162,963	35.94%	10.9%
4. Camión C-3	2,053	6.42%	13.44	10,072,626	0.50	1.00	1.6020	1.0000	600,213	8,068,173	28.53%	11.5%
5. Microbús	1,097	9.96%	15.91	6,371,757	0.50	1.00	0.0029	1.0000	581	9,239	0.03%	6.2%
6. Autobús	1,400	5.20%	12.69	6,488,629	0.50	1.00	0.5075	1.0000	129,703	1,646,490	5.82%	7.9%
7. Trailer C-4	1,327	5.63%	12.95	6,274,591	0.50	1.00	2.6564	1.0000	643,320	8,333,912	29.47%	7.5%
TOTAL ESALS PARA PERÍODO DE DISEÑO DE 10 AÑOS										28,276,810	100.0%	100.0%
17,775										99.8%	99.8%	

PORCENTAJE ESAL VEHICULOS PESADOS

Cálculo del total de ESAL para cada tipo de vehículo, período de diseño de 20 años

Tipo de vehículo	A	Tasa crecimiento anual (g)	B	C=A*B ³⁶⁵	D	E	F	G	A*365*D*E*F*G	C*D*E*F*G	% ESALS	% Tipo de vehículo
	TPDA 2007		Factor de crecimiento	Tránsito de diseño a 20 años	D. D.	L. D.	Factor Equivalente	Factor de Camión	ESAL 2007	ESAL 2027		
1. Automóvil	4,401	11.90%	71.22	114,417,077	0.50	1.00	0.0002	1.0000	161	11,442	0.01%	24.8%
2. Pickup	5,566	12.60%	77.30	157,024,384	0.50	1.00	0.0029	1.0000	2,946	227,685	0.30%	31.3%
3. Camión C-2	1,931	4.82%	32.46	22,873,875	0.50	1.00	2.3120	1.0000	814,657	26,442,200	34.37%	10.9%
4. Camión C-3	2,053	6.42%	38.48	28,834,596	0.50	1.00	1.6020	1.0000	600,213	23,096,512	30.02%	11.5%
5. Microbús	1,097	9.96%	57.05	22,845,617	0.50	1.00	0.0029	1.0000	581	33,126	0.04%	6.2%
6. Autobús	1,400	5.20%	33.76	17,258,168	0.50	1.00	0.5075	1.0000	129,703	4,379,260	5.69%	7.9%
7. Trailer C-4	1,327	5.63%	35.36	17,126,213	0.50	1.00	2.6564	1.0000	643,320	22,747,036	29.57%	7.5%
TOTAL ESALS PARA PERÍODO DE DISEÑO DE 20 AÑOS										76,937,261	100.0%	100.0%
17,775										99.8%	99.6%	

PORCENTAJE ESAL VEHICULOS PESADOS

LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
CÁLCULO NÚMERO ESTRUCTURAL

ESTACION: 903
 TIPO: "B"

KILÓMETRO: 59.00
 Tramo: Entrada Sanarate - Entrada Guastatoya

Cálculo del Número Estructural requerido

PERÍODO DE DISEÑO	ESAL DISEÑO	CONFIABILIDAD R	DESVIACIÓN ESTANDAR NORMAL So	MODULO RESILENCIA SUBRASANTE	ÍNDICE SERVICIABILIDAD INICIAL Po	ÍNDICE SERVICIABILIDAD FINAL Pt	NE REQUERIDO
10 AÑOS	28,276,810	85.00	0.35	10,000	4.2	2.0	4.55
20 AÑOS	76,937,261	85.00	0.35	10,000	4.2	2.0	5.21

Cálculo del Número Estructural aportado

CAPAS	COEFICIENTE CAPA a(i)	COEFICIENTE DRENAJE Cd	ESPESOR CAPA t"	ESPESOR CAPA CMS.	NE APORTADO a(i) * Cd * t	NE REQUERIDO	NE REMANENTE
ASFALTO	0.40	1.0	3.15	8.00	1.26		
BASE	0.14	0.9	6.69	17.00	0.84		
SUB BASE	0.10	0.9	11.81	30.00	1.00		
			21.65	55.00	3.11		
					DISEÑO 10 AÑOS	4.55	-1.44
					DISEÑO 20 AÑOS	5.21	-2.10

ESTACIÓN DE CONTEO 907

- a. Determinación de la tasa de crecimiento de cada vehículo
- b. Gráficas de las tasas de crecimiento vehicular
- c. Cálculo del TPDA para el año 2007
- d. Cálculo de ESALs para períodos de diseño de 10 y 20 años
- e. Cálculo del Número Estructural representativo de cada tramo

LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE. CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
TASA DE CRECIMIENTO HISTÓRICA DEL TPDA

ESTACION: 907
TIPO: "B"

RUTA: CA-9 NORTE
KILÓMETRO: 133.00
Tramo: Teculután - Río Hondo

Total de cada tipo de vehículo en base a datos de conteo diario

AÑO	TIPO DE VEHICULO						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1,967	762	141	220	127	52	68
2	1,968	1,106	229	287	274	43	112
3	1,969	805	188	127	224	147	25
4	1,970	1,250	310	236	372	176	33
5	1,971	1,544	388	341	423	217	36
6	1,972	1,514	387	365	376	182	51
7	1,973	1,655	431	377	460	180	39
8	1,974	1,744	386	395	559	207	54
9	1,975	1,795	368	452	519	263	54
10	1,976	1,843	421	486	509	236	44
11	1,977	2,040	400	578	570	286	57
12	1,978	2,363	387	852	560	302	74
13	1,979	2,513	434	855	590	352	93
14	1,980	2,887	541	939	667	326	227
15	1,981	2,855	570	912	611	343	217
16	1,982	2,823	599	884	555	360	207
17	1,983	2,541	490	786	589	284	204
18	1,984	2,543	464	865	591	220	199
19	1,985	2,503	527	839	502	209	201
20	1,986	2,719	575	815	527	364	182
21	1,987	2,653	521	933	490	346	144
22	1,988	2,792	515	989	530	382	147
23	1,989	2,894	503	1,096	540	366	154
24	1,990	2,995	490	1,202	549	349	160
25	1,991	3,244	671	1,081	620	468	136
26	1,992	3,694	749	1,288	634	569	153
27	1,993	4,008	831	1,475	714	577	166
28	1,994	4,264	918	1,482	755	670	171
29	1,995	4,590	1,023	1,547	796	772	182
30	1,996	4,916	1,129	1,611	837	875	192
31	1,997	5,252	1,237	1,678	879	980	203
32	1,998	5,748	1,245	2,004	884	1,062	274

NOMENCLATURA de 1,995 en adelante

- 1 Automóviles, Paneles y Jeeps
- 2 Pick-ups
- 3 Camiones medianos, de 2 ejes
- 4 Vehículos de 3 Ejes
- 5 Microbuses
- 6 Buses
- 7 Vehículos de 4 ó más ejes

VEHICULOS PESADOS : TIPO: 3 + 4 + 6 + 7

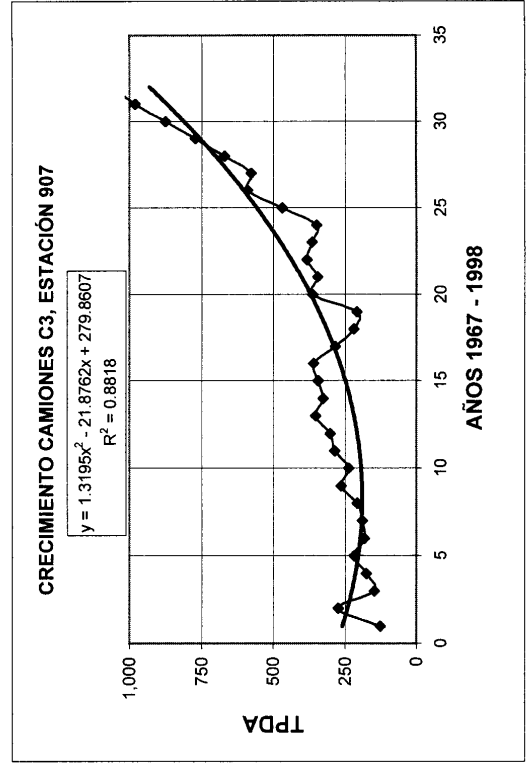
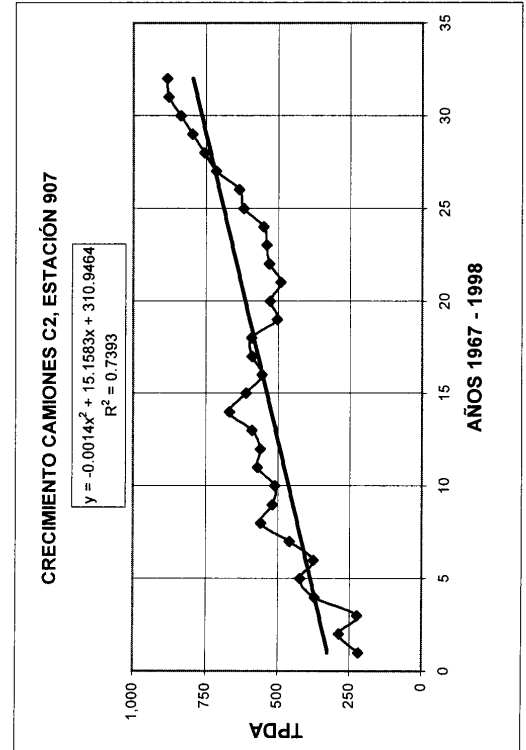
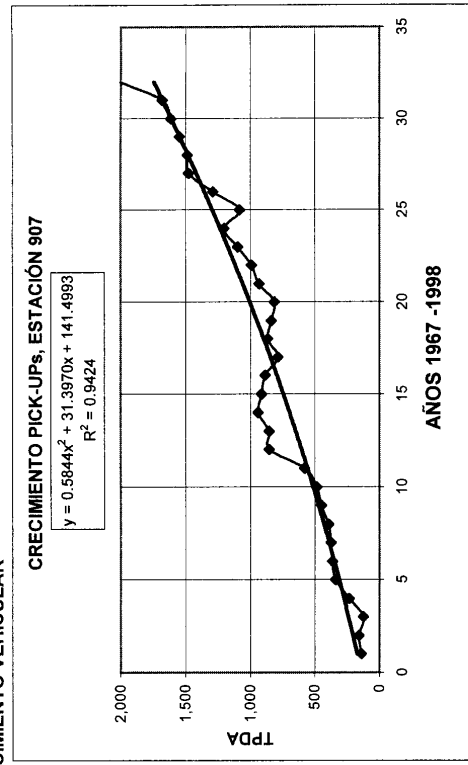
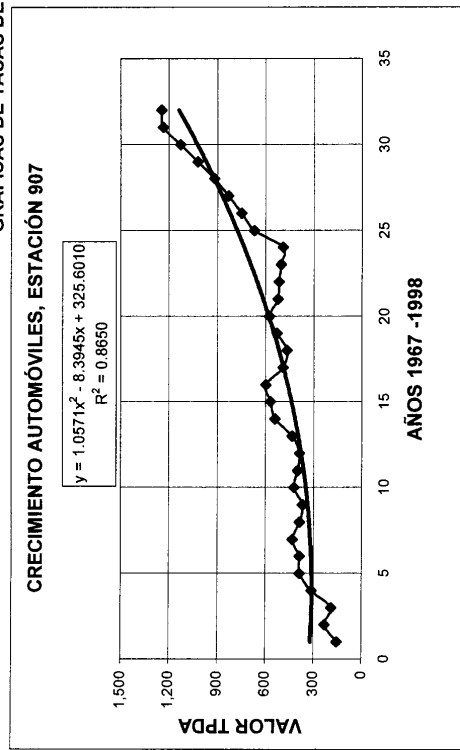
Cálculo tasas de crecimiento por tipo de vehículo

1	2	3	4	5	6	7
Autos	Pickup	Camión C-2	Camión C-3	Micro buses	Buses	Camión C-4 ó más
48.7%	14.2%	30.5%	115.7%	-17.3%	64.7%	
-17.9%	-21.1%	-22.0%	-46.4%	-41.9%	-16.1%	
64.9%	85.8%	66.1%	18.7%	32.0%	30.9%	
25.2%	44.5%	13.7%	23.3%	9.1%	13.0%	
-0.3%	7.0%	-11.1%	-16.1%	41.7%	10.1%	
11.4%	3.3%	22.3%	4.4%	-23.5%	3.3%	
-10.4%	4.8%	21.5%	8.9%	38.5%	-9.5%	
-4.7%	14.4%	-7.2%	27.1%	0.0%	-2.8%	
14.4%	7.5%	-1.9%	-10.3%	-18.5%	5.8%	
-5.0%	18.9%	12.0%	21.2%	29.5%	1.4%	
-3.3%	47.4%	-1.8%	5.6%	29.8%	26.2%	
12.1%	0.4%	5.4%	16.6%	25.7%	0.5%	
24.7%	9.8%	13.1%	-7.4%	144.1%	-1.1%	
5.1%	-3.0%	-8.4%	5.2%	-4.4%	8.3%	
-18.2%	-11.1%	6.1%	-21.1%	-1.4%	-13.8%	
-5.3%	10.1%	0.3%	-22.5%	-2.5%	8.5%	
13.6%	-3.0%	-15.1%	-5.0%	1.0%	10.3%	
9.1%	-2.9%	5.0%	74.2%	-9.5%	13.8%	
-9.4%	14.5%	-7.0%	-4.9%	-20.9%	-14.5%	
-1.2%	6.0%	8.2%	10.4%	2.1%	4.6%	
-2.4%	10.8%	1.6%	-4.3%	4.4%	3.5%	
-2.5%	9.7%	1.8%	-4.5%	4.2%	3.4%	
36.9%	-10.1%	12.9%	34.1%	-15.0%	9.4%	
11.6%	19.1%	2.3%	25.9%	12.5%	1.1%	
10.9%	14.5%	12.6%	-2.0%	8.5%	-9.6%	
10.5%	0.5%	5.7%	16.1%	3.0%	7.8%	
11.5%	4.4%	5.4%	15.3%	6.2%	0.5%	24.8%
10.3%	4.2%	5.1%	13.2%	5.8%	0.5%	19.8%
9.6%	4.1%	5.0%	12.1%	5.7%	0.5%	17.1%
0.6%	19.4%	0.6%	8.4%	35.0%	0.7%	28.6%

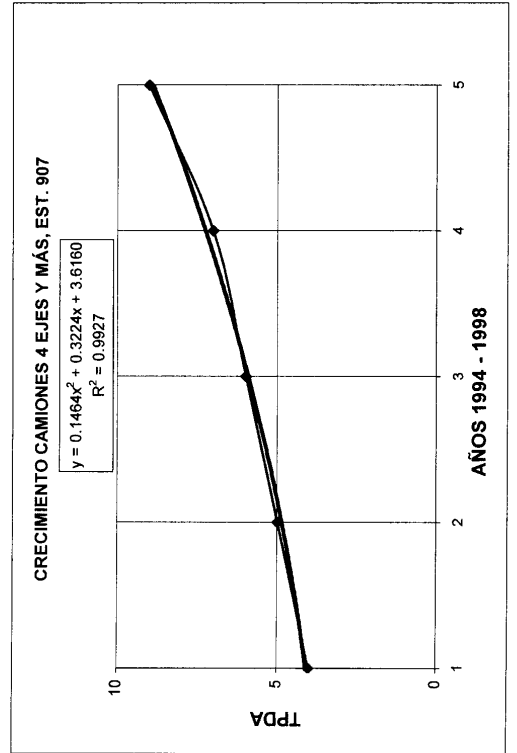
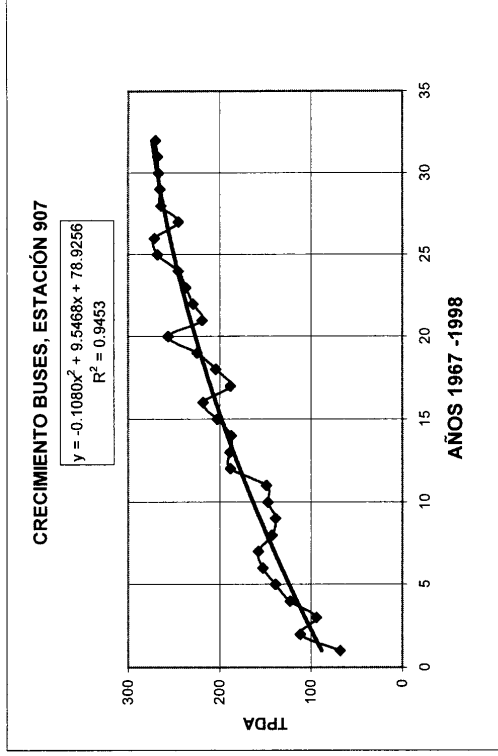
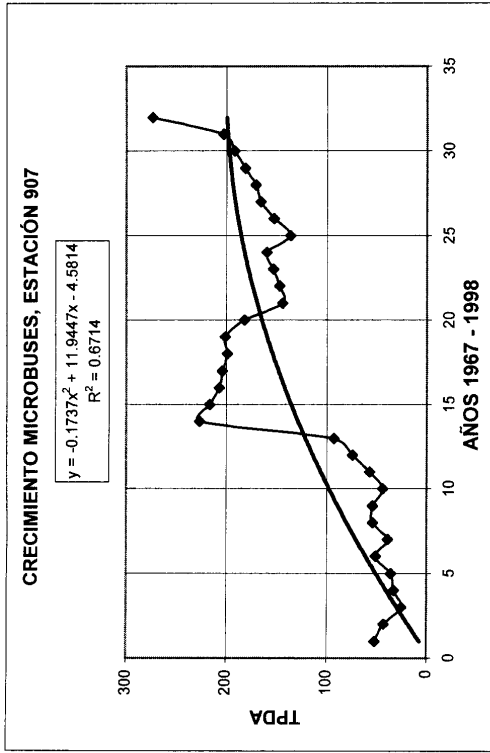
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL	8.3%	10.4%	5.6%	10.2%	9.0%	5.5%	22.6%
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL VEHICULOS IMPORTADOS	15.0%	15.0%					
TASA VARIACION ANUAL DEL PIB	3.9%						
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DE LA POBLACION	3.9%						
TASA DE CRECIMIENTO TPDA 2004 -2006							
CRECIMIENTO DE CONTENEDORES MOVILIZADOS EN PUERTOS DEL ATLANTICO							
TASA ANUAL DE CARGA MOVILIZADA EN PUERTOS DEL ATLANTICO	11.6%	12.7%	4.8%	7.1%	5.2%	4.0%	7.0%
TASA PONDERADA DE CRECIMIENTO PROMEDIO ANUAL	11.6%	12.7%	4.8%	7.1%	5.2%	4.0%	7.0%

Los datos de los años 1989, 1995 y 1996 y 1997 fueron extrapolados, por no estar disponibles.

LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
 GRÁFICAS DE TASAS DE CRECIMIENTO VEHICULAR



LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE. CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
 GRÁFICAS DE TASAS DE CRECIMIENTO VEHICULAR



LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
CÁLCULO DEL TPD A PARA EL AÑO 2007

ESTACION: 907
TIPO: "B"

KILÓMETRO: 133.00
Tramo: Teculután - Río Hondo

VOLUMEN DIARIO DE TRÁNSITO

Proyección del TPD A al año 2007 utilizando datos de 1998, (periodo n= 9 años)

Tipo de vehículo	TPDA 1998	% Tipo de vehículo	Tasa crecimiento anual (g)	TPDA 2007	TPDA 2007 V. PESADOS
1. Automóvil	1,245	21.7%	11.6%	3,335	
2. Pickup	2,004	34.9%	12.7%	5,852	
3. Camión C-2	884	15.4%	4.8%	1,331	9.12%
4. Camión C-3	1,062	18.5%	7.1%	1,952	13.38%
5. Microbús	274	4.8%	5.2%	421	
6. Autobús	270	4.7%	4.0%	374	2.56%
7. Trailer C-4	9	0.2%	7.0%	1,327	9.09%
TPDA	5,748	100.0%		14,591	34.2%

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR DIRECCIÓN O SENTIDO (DD): 0.5

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR PISTA O CARRIL (LD): 1.0

FACTOR DE CAMIÓN (Truck Factor, TF): 1.0

FACTOR DE CRECIMIENTO (Growing Factor, GF):

fórmula de la AASHTO

n: número de años

g: tasa anual crecimiento

$$GF = \frac{(1+g)^n - 1}{g}$$

FACTORES EQUIVALENTES POR EJE

Pavimento flexible AASHTO

Pt = 2.5

NE = 4.0

Tipo de vehículo	Eje 1	Eje 2	Eje 3	F.E. TOTAL
1. Automóvil	0.0001	0.0001		0.0002
2. Pickup	0.0011	0.0018		0.0029
3. Camión C-2	0.2220	2.0900		2.3120
4. Camión C-3	0.2220	1.3800		1.6020
5. Microbús	0.0011	0.0018		0.0029
6. Autobús	0.3005	0.2070		0.5075
7. Trailer C-4	0.1084	1.2740	1.2740	2.6564

LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
CÁLCULO ESAL AASHTO 93

ESTACION: 907
 TIPO: "B"

KILÓMETRO: 133.00
 Tramo: Teculután - Río Hondo

Cálculo del total de ESAL para cada tipo de vehículo, período de diseño de 10 años

Tipo de vehículo	A		B		C=A*B*365		D	E	F	G	A*365*D*E*F*G		% ESALS	% Tipo de vehículo
	TPDA 2007	Tasa crecimiento anual (g)	Factor de crecimiento	Tránsito de diseño a 10 años	D. D.	L. D.					Factor de Camión	ESAL 2007		
1. Automóvil	3,335	11.63%	17.24	20,979,676	0.50	1.00	0.0002	1.0000	122	2,098	0.01%	22.9%		
2. Pickup	5,852	12.68%	18.14	38,741,243	0.50	1.00	0.0029	1.0000	3,097	56,175	0.23%	40.1%		
3. Camión C-2	1,331	4.75%	12.43	6,041,935	0.50	1.00	2.3120	1.0000	561,713	6,984,477	28.76%	9.1%		
4. Camión C-3	1,952	7.07%	13.86	9,876,472	0.50	1.00	1.6020	1.0000	570,600	7,911,054	32.58%	13.4%		
5. Microbús	421	5.20%	12.70	1,950,341	0.50	1.00	0.0029	1.0000	223	2,828	0.01%	2.9%		
6. Autobús	374	4.02%	12.02	1,639,550	0.50	1.00	0.5075	1.0000	34,625	416,036	1.71%	2.6%		
7. Trailer C-4	1,327	7.05%	13.85	6,707,542	0.50	1.00	2.6564	1.0000	643,320	8,908,957	36.69%	9.1%		
TOTAL ESALS PARA PERÍODO DE DISEÑO DE 10 AÑOS											1,813,699	24,281,624	100.0%	100.0%
PORCENTAJE ESAL VEHÍCULOS PESADOS											99.8%	99.7%		

Cálculo del total de ESAL para cada tipo de vehículo, período de diseño de 20 años

Tipo de vehículo	A		B		C=A*B*365		D	E	F	G	A*365*D*E*F*G		% ESALS	% Tipo de vehículo
	TPDA 2007	Tasa crecimiento anual (g)	Factor de crecimiento	Tránsito de diseño a 20 años	D. D.	L. D.					Factor de Camión	ESAL 2007		
1. Automóvil	3,335	11.63%	69.02	84,012,024	0.50	1.00	0.0002	1.0000	122	8,401	0.01%	22.9%		
2. Pickup	5,852	12.68%	77.99	166,591,882	0.50	1.00	0.0029	1.0000	3,097	241,558	0.35%	40.1%		
3. Camión C-2	1,331	4.75%	32.22	15,655,204	0.50	1.00	2.3120	1.0000	561,713	18,097,415	26.05%	9.1%		
4. Camión C-3	1,952	7.07%	41.33	29,438,707	0.50	1.00	1.6020	1.0000	570,600	23,580,404	33.94%	13.4%		
5. Microbús	421	5.20%	33.78	5,189,177	0.50	1.00	0.0029	1.0000	223	7,524	0.01%	2.9%		
6. Autobús	374	4.02%	29.83	4,070,439	0.50	1.00	0.5075	1.0000	34,625	1,032,874	1.49%	2.6%		
7. Trailer C-4	1,327	7.05%	41.22	19,962,715	0.50	1.00	2.6564	1.0000	643,320	26,514,477	38.16%	9.1%		
TOTAL ESALS PARA PERÍODO DE DISEÑO DE 20 AÑOS											1,813,699	69,482,654	100.0%	100.0%
PORCENTAJE ESAL VEHÍCULOS PESADOS											99.8%	99.6%		

LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
 CÁLCULO NÚMERO ESTRUCTURAL

ESTACION: 907
 TIPO: "B"

KILÓMETRO: 133.00
 Tramo: Teculután - Río Hondo

Cálculo del Número Estructural requerido

PERÍODO DE DISEÑO	ESAL DISEÑO	CONFIABILIDAD R	DESVIACIÓN ESTANDAR NORMAL S _o	MODULO RESILENCIA SUBRASANTE	ÍNDICE SERVICIABILIDAD INICIAL P _o	ÍNDICE SERVICIABILIDAD FINAL P _t	NE REQUERIDO
10 AÑOS	24,281,624	85.00	0.35	10,000	4.2	2.0	4.43
20 AÑOS	69,482,654	85.00	0.35	10,000	4.2	2.0	5.14

Cálculo del Número Estructural aportado

CAPAS	COEFICIENTE CAPA a(i)	COEFICIENTE DRENAJE Cd	ESPOR CAPA t"	ESPOR CAPA CMS.	NE APORTADO Cd * t	a(i) *	NE REQUERIDO	NE REMANENTE
ASFALTO	0.40	1.0	7.87	20.00	3.15			
BASE	0.14	0.9	7.87	20.00	0.99			
SUB BASE	0.10	0.9	7.87	20.00	0.67			
			23.62	60.00	4.81			
					DISEÑO 10 AÑOS		4.43	0.38
					DISEÑO 20 AÑOS		5.14	-0.33

ESTACIÓN DE CONTEO 909

- a. Determinación de la tasa de crecimiento de cada vehículo
- b. Gráficas de las tasas de crecimiento vehicular
- c. Cálculo del TPDA para el año 2007
- d. Cálculo de ESALs para períodos de diseño de 10 y 20 años
- e. Cálculo del Número Estructural representativo de cada tramo

LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE. CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
TASA DE CRECIMIENTO HISTÓRICA DEL TPDA

ESTACION: 909
TIPO: SUMARIA

RUTA: CA-9 NORTE
KILÓMETRO: 180.00

Tramo: Mayuelas - Doña María

Total de cada tipo de vehículo en base a datos de conteo diario

MES	TIPO DE VEHÍCULO						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1,967	601	237	147	28	40	
2	1,968	868	126	196	32	91	
3	1,969	872	132	224	36	77	
4	1,970	941	175	260	59	97	
5	1,971	895	173	266	132	20	113
6	1,972	1,051	207	282	159	15	126
7	1,973	1,314	255	348	191	33	135
8	1,974	1,602	241	333	247	41	181
9	1,975	1,438	196	403	217	15	141
10	1,976	1,493	228	321	488	276	32
11	1,977	1,510	248	425	403	218	69
12	1,978	1,436	164	346	442	320	47
13	1,979	1,703	276	369	499	401	45
14	1,980	1,588	259	393	495	303	16
15	1,981	1,875	270	505	528	393	36
16	1,982	2,162	280	616	560	483	55
17	1,983	1,581	273	367	464	318	34
18	1,984	1,403	248	372	339	330	33
19	1,985	1,510	261	423	330	328	138
20	1,986	1,502	272	352	362	331	34
21	1,987	1,717	292	481	382	366	43
22	1,988	1,933	312	609	402	402	52
23	1,989	2,155	332	742	422	438	62
24	1,990	2,288	373	788	406	511	59
25	1,991	2,441	413	834	390	583	56
26	1,992	2,588	455	881	373	658	53
27	1,993	2,722	415	769	483	819	49
28	1,994	2,964	516	865	516	812	50
29	1,995	3,220	557	910	535	939	73
30	1,996	3,476	597	955	554	1,065	97
31	1,997	3,740	639	1,001	573	1,196	121
32	1,998	4,147	683	1,114	688	1,416	129

TASA DE CRECIMIENTO PROMEDIO ANUAL	9.5%	12.2%	4.5%	9.6%	16.4%	5.9%	17.5%
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL VEHÍCULOS IMPORTADOS	15.0%	15.0%					
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DE LA POBLACIÓN			3.9%	3.9%	2.7%	3.9%	3.9%
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DE LA POBLACIÓN							
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DE LA POBLACIÓN							
TASA ANUAL DE CARGA MOVILIZADA EN PUERTOS DEL ATLÁNTICO							
TASA ANUAL DE CARGA MOVILIZADA EN PUERTOS DEL ATLÁNTICO							
TASA PONDERADA DE CRECIMIENTO PROMEDIO ANUAL	12.3%	13.6%	4.2%	6.8%	7.7%	4.2%	6.0%

CRECIMIENTO DE CONTENEDORES MOVILIZADOS EN PUERTOS DEL ATLÁNTICO
TASA ANUAL DE CARGA MOVILIZADA EN PUERTOS DEL ATLÁNTICO

Los datos de los años 1981, 1987, 1988, 1990, 1991, 1995 y 1996 fueron extrapolados, por no estar disponibles.

NOMENCLATURA de 1,995 en adelante

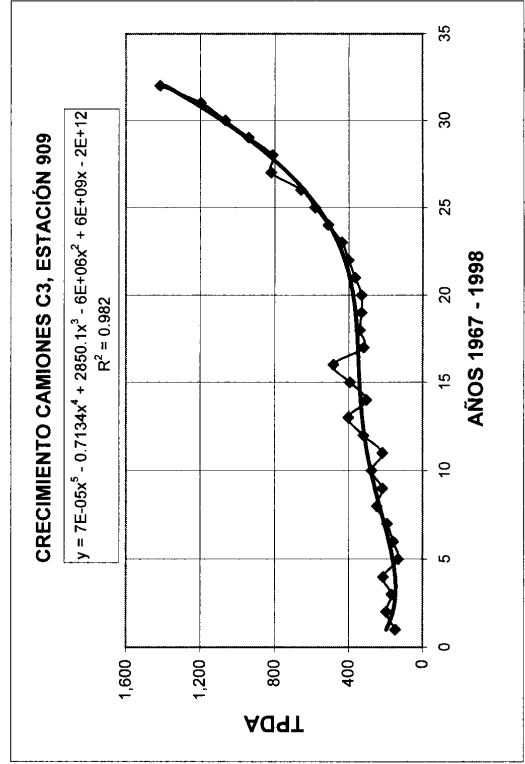
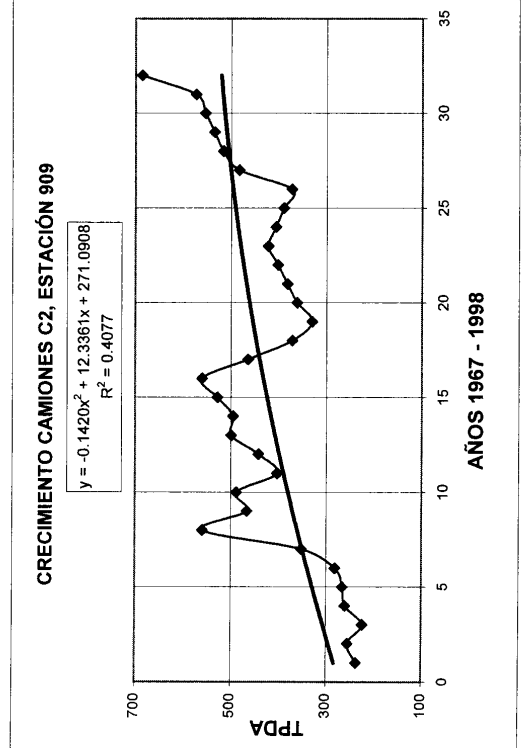
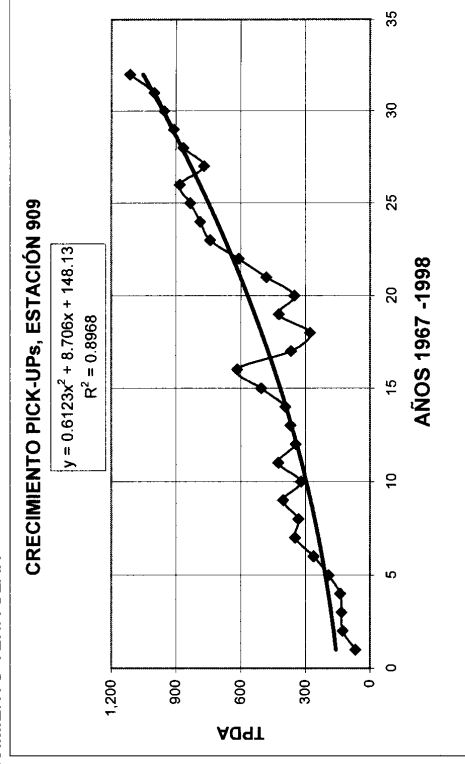
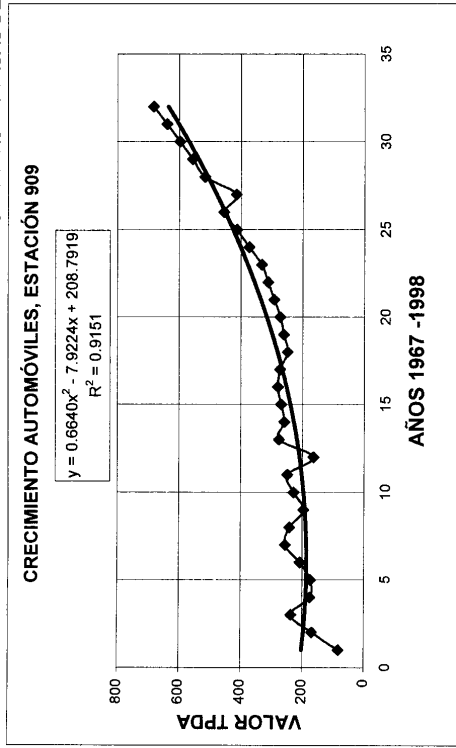
- 1 Automóviles, Paneles y Jeeps
- 2 Pick-ups
- 3 Camiones medianos, de 2 ejes
- 4 Vehículos de 3 Ejes
- 5 Microbuses
- 6 Buses
- 7 Vehículos de 4 ó más ejes

VEHÍCULOS PESADOS : TIPO: 3 + 4 + 6 + 7

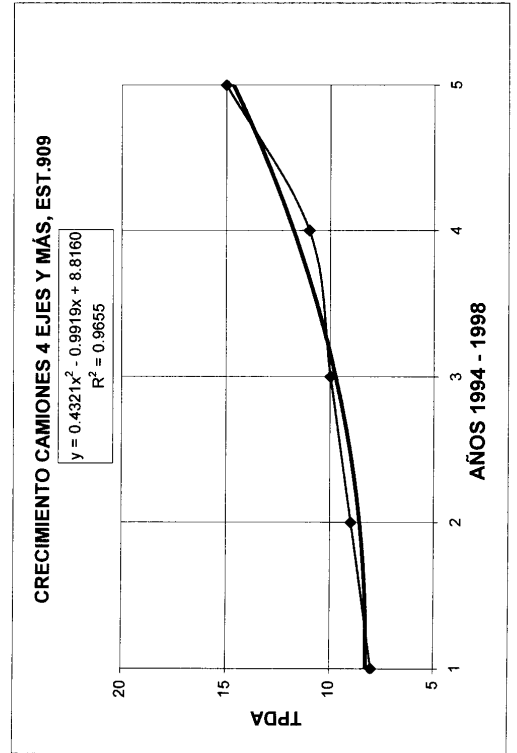
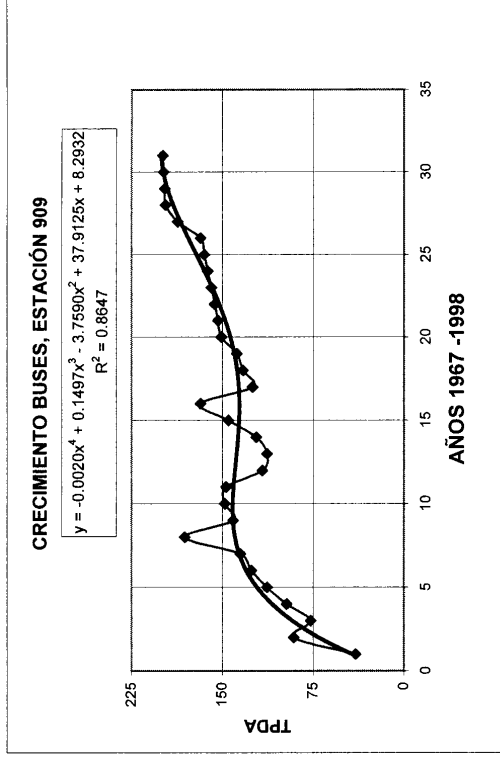
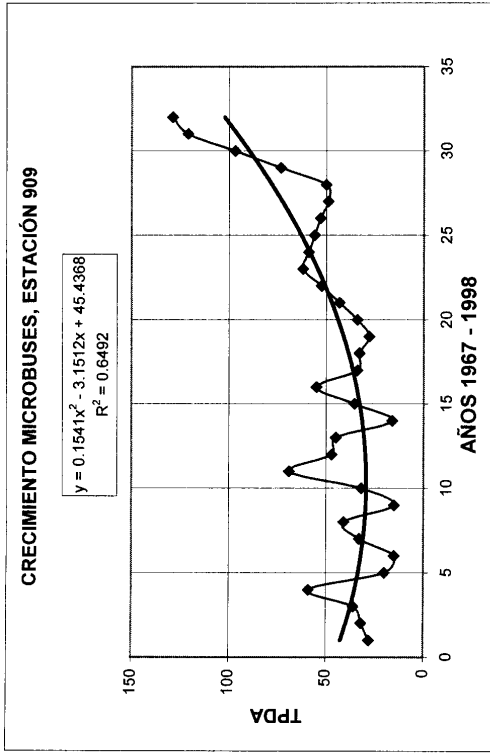
Cálculo tasas de crecimiento por tipo de vehículo

1	2	3	4	5	6	7
Autos	Pickup	Camión C-2	Camión C-3	Micro buses	Buses	camion C-4 ó más
104.9%	88.1%	7.6%	33.3%	14.3%	127.5%	
40.5%	4.8%	-12.2%	-14.8%	12.5%	-15.4%	
-25.8%	3.8%	16.1%	27.5%	63.9%	26.0%	
-1.1%	39.4%	2.3%	-38.0%	-66.1%	16.5%	
19.7%	37.2%	6.0%	20.5%	-25.0%	11.5%	
23.2%	32.8%	24.8%	20.1%	120.0%	7.1%	
-5.5%	-4.3%	58.8%	29.3%	24.2%	34.1%	
-18.7%	21.0%	-16.6%	-12.1%	-63.4%	-22.1%	
16.3%	-20.3%	4.7%	27.2%	113.3%	5.0%	
8.8%	32.4%	-17.4%	-21.0%	115.6%	-0.7%	
-33.9%	-18.6%	9.7%	48.8%	-31.9%	-20.4%	
68.3%	6.6%	12.9%	25.3%	-4.3%	-3.4%	
4.1%	28.4%	6.6%	28.7%	-64.4%	8.0%	
3.9%	22.1%	6.2%	22.9%	54.9%	15.9%	
-2.5%	-40.4%	-17.1%	-34.2%	-38.2%	-25.6%	
5.2%	52.2%	-11.3%	-2.7%	-15.2%	3.8%	
4.2%	-16.8%	9.7%	0.3%	21.4%	9.4%	
7.3%	36.6%	5.5%	10.7%	27.2%	1.7%	
6.8%	26.8%	5.2%	9.6%	21.4%	1.7%	
6.5%	21.8%	5.1%	9.1%	18.1%	1.7%	
12.2%	6.2%	-3.8%	16.6%	-4.8%	1.9%	
10.1%	5.7%	-4.0%	14.2%	-5.5%	1.9%	
-8.8%	-12.7%	29.5%	24.5%	-7.5%	11.3%	
24.3%	12.5%	6.8%	2.0%	5.3%	2.0%	
7.9%	5.2%	3.6%	15.6%	46.9%	0.3%	12.4%
7.3%	4.9%	3.5%	13.5%	31.9%	0.3%	11.0%
7.0%	4.8%	3.5%	12.3%	24.9%	0.3%	10.2%
6.9%	11.3%	18.7%	18.4%	6.6%	-47.7%	36.4%

LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
GRÁFICAS DE TASAS DE CRECIMIENTO VEHICULAR



LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
 GRÁFICAS DE TASAS DE CRECIMIENTO VEHICULAR



LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
 CALCULO DEL TPDA PARA EL AÑO 2007

ESTACION: 909
 TIPO: SUMARIA

KILÓMETRO: 180.00
 Tramo: Mayuelas - Doña María

VOLUMEN DIARIO DE TRÁNSITO

Proyección del TPDA al año 2007 utilizando datos de 1998, (período n= 9 años)

Tipo de vehículo	TPDA 1998	% Tipo de vehículo	Tasa crecimiento anual (g)	TPDA 2007	TPDA 2007 V. PESADOS
1. Automóvil	683	16.5%	12.3%	1,916	
2. Pickup	1,114	26.9%	13.6%	3,497	
3. Camión C-2	686	16.5%	4.2%	984	984
4. Camión C-3	1,416	34.1%	6.8%	2,540	2,540
5. Microbús	129	3.1%	7.7%	237	
6. Autobús	104	2.5%	4.2%	139	139
7. Trailer C-4	15	0.4%	6.0%	1,327	1,327
TPDA	4,147	100.0%		10,640	4,990

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR DIRECCIÓN O SENTIDO (DD): 0.5

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR PISTA O CARRIL (LD): 1.0

FACTOR DE CAMIÓN (Truck Factor, TF): 1.0

FACTOR DE CRECIMIENTO (Growing Factor, GF):

fórmula de la AASHTO

n: número de años

g: tasa anual crecimiento

$$GF = \frac{(1+g)^n - 1}{g}$$

FACTORES EQUIVALENTES POR EJE

Pavimento flexible AASHTO

Pt = 2.5

NE = 4.0

Tipo de vehículo	Eje 1	Eje 2	Eje 3	F.E. TOTAL
1. Automóvil	0.0001	0.0001		0.0002
2. Pickup	0.0011	0.0018		0.0029
3. Camión C-2	0.2220	2.0900		2.3120
4. Camión C-3	0.2220	1.3800		1.6020
5. Microbús	0.0011	0.0018		0.0029
6. Autobús	0.3005	0.2070		0.5075
7. Trailer C-4	0.1084	1.2740	1.2740	2.6564

LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
CÁLCULO ESAL AASHTO 93

ESTACION: 909
TIPO: SUMARIA

KILÓMETRO: 180.00
Tramo: Mayuelas - Doña María

Cálculo del total de ESAL para cada tipo de vehículo, período de diseño de 10 años

Tipo de vehículo	A	Tasa crecimiento anual (g)	B	C=A*B*365 Tránsito de diseño a 10 años	D	E	F	G	A*365*D*E*F*G		% Tipo de vehículo
									Factor de crecimiento	Factor de Camión	
1. Automóvil	1,916	12.25%	17.76	12,422,105	0.50	1.00	0.0002	1.0000	70	1,242	18.0%
2. Pickup	3,497	13.62%	18.98	24,226,699	0.50	1.00	0.0029	1.0000	1,851	35,129	32.9%
3. Camión C-2	984	4.21%	12.13	4,353,346	0.50	1.00	2.3120	1.0000	415,003	5,032,468	9.2%
4. Camión C-3	2,540	6.77%	13.67	12,670,216	0.50	1.00	1.6020	1.0000	742,650	10,148,843	23.9%
5. Microbús	237	7.65%	14.25	1,233,708	0.50	1.00	0.0029	1.0000	126	1,789	2.2%
6. Autobús	139	4.17%	12.10	614,297	0.50	1.00	0.5075	1.0000	12,882	155,878	1.3%
7. Trailer C-4	1,327	6.04%	13.20	6,395,157	0.50	1.00	2.6564	1.0000	643,320	8,494,048	12.5%
TOTAL ESALs PARA PERÍODO DE DISEÑO DE 10 AÑOS									1,815,902	23,869,397	100.0%
PORCENTAJE ESAL VEHICULOS PESADOS									99.9%	99.8%	100.0%

Cálculo del total de ESAL para cada tipo de vehículo, período de diseño de 20 años

Tipo de vehículo	A	Tasa crecimiento anual (g)	B	C=A*B*365 Tránsito de diseño a 20 años	D	E	F	G	A*365*D*E*F*G		% Tipo de vehículo
									Factor de crecimiento	Factor de Camión	
1. Automóvil	1,916	12.25%	74.19	51,878,829	0.50	1.00	0.0002	1.0000	70	5,188	18.0%
2. Pickup	3,497	13.62%	87.03	111,075,419	0.50	1.00	0.0029	1.0000	1,851	161,059	32.9%
3. Camión C-2	984	4.21%	30.45	10,931,652	0.50	1.00	2.3120	1.0000	415,003	12,636,990	9.2%
4. Camión C-3	2,540	6.77%	39.97	37,058,382	0.50	1.00	1.6020	1.0000	742,650	29,683,764	23.9%
5. Microbús	237	7.65%	44.03	3,812,343	0.50	1.00	0.0029	1.0000	126	5,528	2.2%
6. Autobús	139	4.17%	30.30	1,538,405	0.50	1.00	0.5075	1.0000	12,882	390,370	1.3%
7. Trailer C-4	1,327	6.04%	36.93	17,887,479	0.50	1.00	2.6564	1.0000	643,320	23,758,150	12.5%
TOTAL ESALs PARA PERÍODO DE DISEÑO DE 20 AÑOS									1,815,902	66,641,049	100.0%
PORCENTAJE ESAL VEHICULOS PESADOS									99.9%	99.7%	100.0%

LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
 CÁLCULO NÚMERO ESTRUCTURAL

ESTACION: 909
 TIPO: "B"

KILÓMETRO: 180.00
 Tramo: Mayuelas - Doña María

Cálculo del Número Estructural requerido

PERÍODO DE DISEÑO	ESAL DISEÑO	CONFIABILIDAD R	DESVIACIÓN ESTANDAR NORMAL So	MODULO RESILENCIA SUBRASANTE	ÍNDICE SERVICIABILIDAD INICIAL Po	ÍNDICE SERVICIABILIDAD FINAL Pf	NE REQUERIDO
10 AÑOS	23,869,397	85.00	0.35	10,000	4.2	2.0	4.44
20 AÑOS	66,641,049	85.00	0.35	10,000	4.2	2.0	5.11

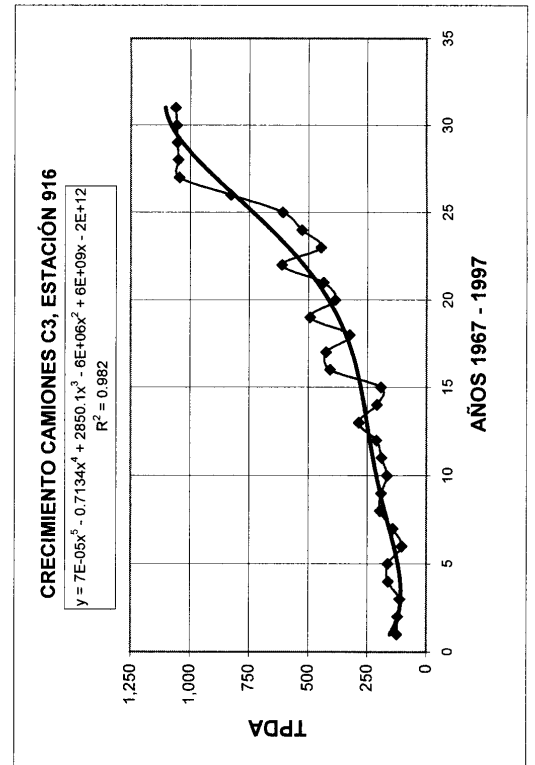
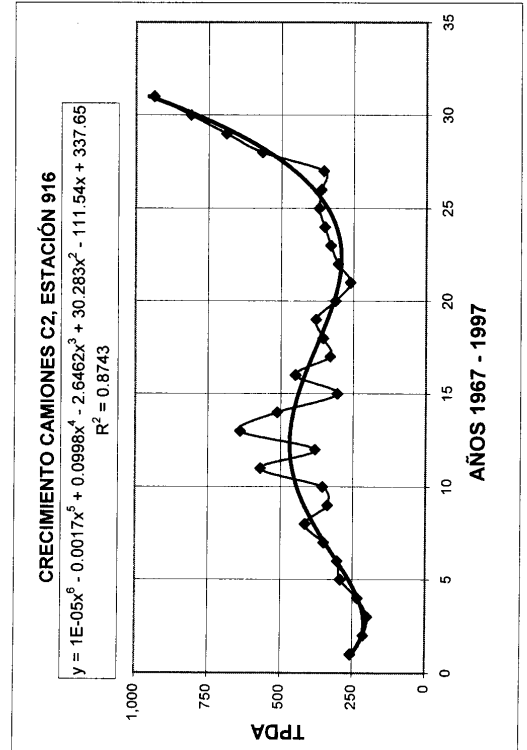
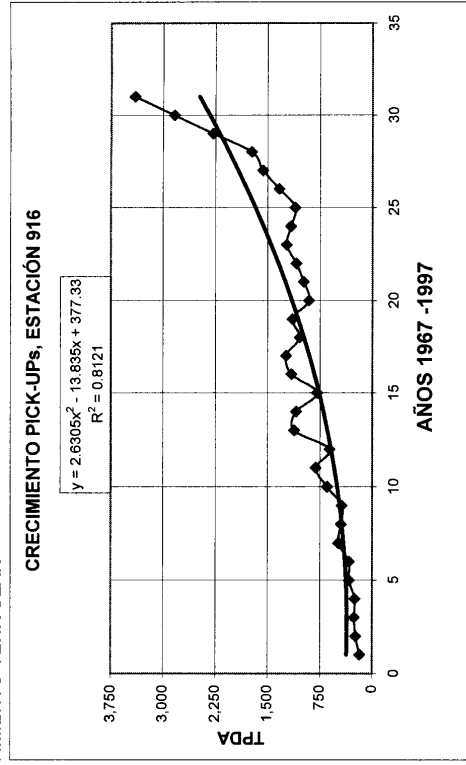
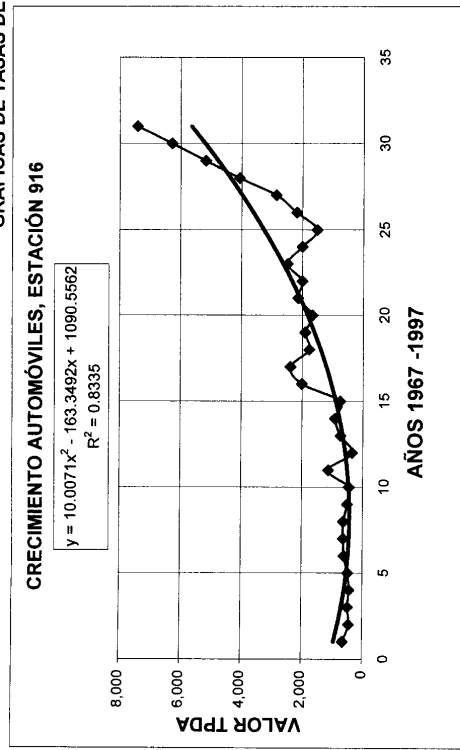
Cálculo del Número Estructural aportado

CAPAS	COEFICIENTE CAPA a(i)	COEFICIENTE DRENAJE Cd	ESPESOR CAPA t"	ESPESOR CAPA CMS.	NE APORTADO Cd * t	NE REQUERIDO	NE REMANENTE
ASFALTO	0.40	1.0	10.73	27.25	4.29		
BASE	0.14	0.9	5.91	15.00	0.74		
SUB BASE	0.10	0.9	7.87	20.00	0.67		
			24.51	62.25	5.70		
					DISEÑO 10 AÑOS	4.44	1.26
					DISEÑO 20 AÑOS	5.11	0.59

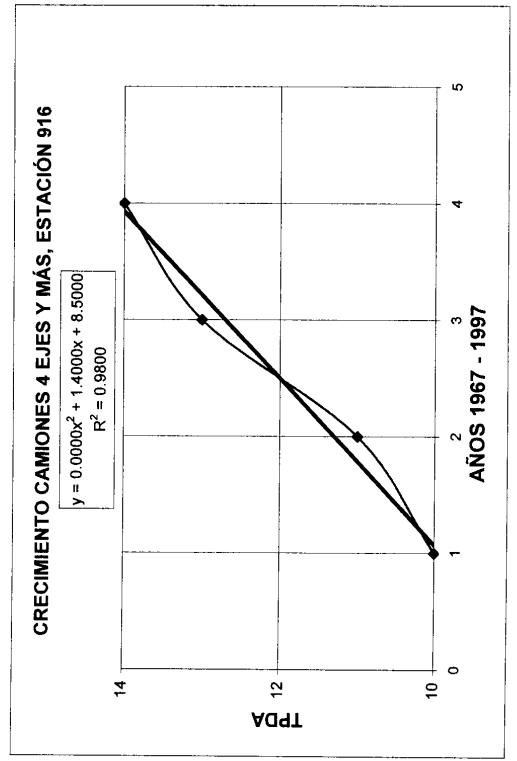
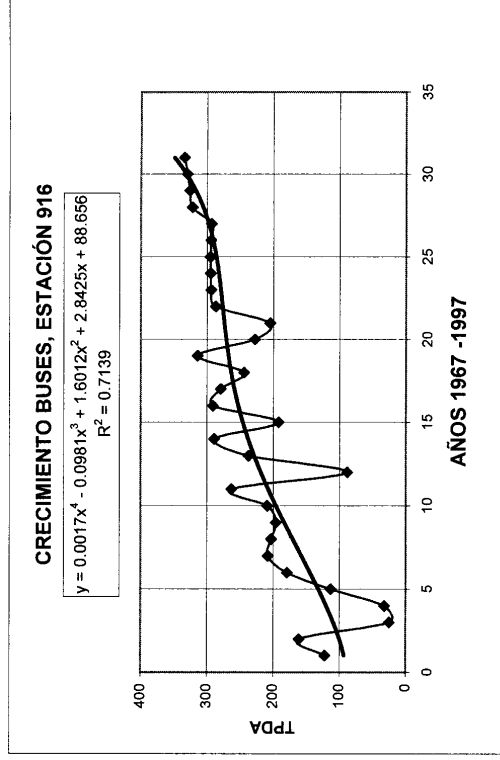
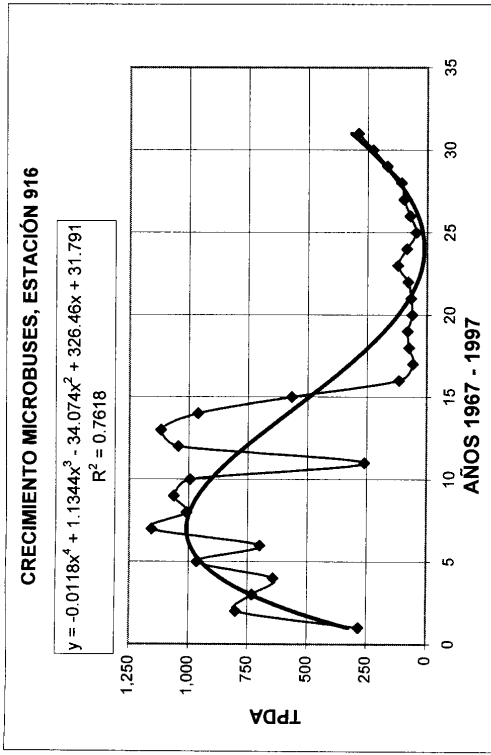
ESTACIÓN DE CONTEO 916

- a. Determinación de la tasa de crecimiento de cada vehículo
- b. Gráficas de las tasas de crecimiento vehicular
- c. Cálculo del TPDA para el año 2007
- d. Cálculo de ESALs para períodos de diseño de 10 y 20 años
- e. Cálculo del Número Estructural representativo de cada tramo

LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
GRÁFICAS DE TASAS DE CRECIMIENTO VEHICULAR



LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE: CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
 GRÁFICAS DE TASAS DE CRECIMIENTO VEHICULAR



LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
CÁLCULO DEL TPDA PARA EL AÑO 2007

ESTACION: 916
TIPO: "B"

KILOMETRO: 303.00
Tramo: a Puerto Santo Tomás de Castilla

VOLUMEN DIARIO DE TRÁNSITO

Proyección del TPDA al año 2007 utilizando datos de 1998, (período n= 9 años)

Tipo de vehículo	TPDA 1997	% Tipo de vehículo	Tasa crecimiento anual (g)	TPDA 2007	TPDA 2007 V. PESADOS
1. Automóvil	7,416	55.1%	16.1%	28,459	
2. Pickup	3,407	25.3%	13.9%	10,976	
3. Camión C-2	938	7.0%	5.7%	1,536	1,536
4. Camión C-3	1,062	7.9%	7.5%	2,018	2,018
5. Microbús	290	2.2%	8.0%	567	
6. Autobús	334	2.5%	7.8%	643	643
7. Trailer C-4	14	0.1%	4.9%	1,327	1,327
TPDA	13,461	100.0%		45,525	5,523

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR DIRECCIÓN O SENTIDO (DD):

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR PISTA O CARRIL (LD):

FACTOR DE CAMIÓN (Truck Factor, TF):

FACTOR DE CRECIMIENTO (Growing Factor, GF):

fórmula de la AASHTO

n: número de años

g: tasa anual crecimiento

$$GF = \frac{(1+g)^n - 1}{g}$$

0.5
1.0
1.0

FACTORES EQUIVALENTES POR EJE

Pavimento flexible AASHTO

Pt = 2.5

NE = 4.0

Tipo de vehículo	Eje 1	Eje 2	Eje 3	F.E. TOTAL
1. Automóvil	0.0001	0.0001		0.0002
2. Pickup	0.0011	0.0018		0.0029
3. Camión C-2	0.2220	2.0900		2.3120
4. Camión C-3	0.2220	1.3800		1.6020
5. Microbús	0.0011	0.0018		0.0029
6. Autobús	0.3005	0.2070		0.5075
7. Trailer C-4	0.1084	1.2740	1.2740	2.6564

LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
CÁLCULO ESAL AASHTO 93

ESTACION: 916
TIPO: "B"

KILOMETRO: 303.00
Tramo: a Puerto Santo Tomás de Castilla

Cálculo del total de ESAL para cada tipo de vehículo, período de diseño de 10 años

Tipo de vehículo	A		B	C=A*B*365 Tránsito de diseño a 10 años	D	E	F	G	A*365*D*E*F*G		% ESALs	% Tipo de vehículo
	TPDA 2007	Tasa crecimiento anual (g)							Factor de crecimiento	L. D.		
1. Automóvil	28,459	16.13%	21.45	222,848,772	0.50	1.00	0.0002	1.0000	1,039	22,285	0.09%	62.5%
2. Pick up	10,976	13.90%	19.25	77,099,735	0.50	1.00	0.0029	1.0000	5,809	111,795	0.43%	24.1%
3. Camión C-2	1,536	5.72%	13.01	7,294,156	0.50	1.00	2.3120	1.0000	648,070	8,432,044	32.65%	3.4%
4. Camión C-3	2,018	7.47%	14.13	10,403,772	0.50	1.00	1.6020	1.0000	589,916	8,333,421	32.27%	4.4%
5. Microbús	567	8.01%	14.49	2,997,283	0.50	1.00	0.0029	1.0000	300	4,346	0.02%	1.2%
6. Autobús	643	7.79%	14.34	3,353,254	0.50	1.00	0.5075	1.0000	59,511	853,426	3.30%	1.4%
7. Trailer C-4	1,327	4.93%	12.54	6,072,186	0.50	1.00	2.6564	1.0000	643,320	8,065,078	31.23%	2.9%
TOTAL ESALs PARA PERÍODO DE DISEÑO DE 10 AÑOS									1,947,965	25,822,394	100.0%	100.0%
									99.6%	99.5%		

PORCENTAJE ESAL VEHÍCULOS PESADOS

Cálculo del total de ESAL para cada tipo de vehículo, período de diseño de 20 años

Tipo de vehículo	A		B	C=A*B*365 Tránsito de diseño a 20 años	D	E	F	G	A*365*D*E*F*G		% ESALs	% Tipo de vehículo
	TPDA 2007	Tasa crecimiento anual (g)							Factor de crecimiento	L. D.		
1. Automóvil	28,459	16.13%	117.13	1,216,657,393	0.50	1.00	0.0002	1.0000	1,039	121,666	0.17%	62.5%
2. Pick up	10,976	13.90%	89.98	360,479,436	0.50	1.00	0.0029	1.0000	5,809	522,695	0.72%	24.1%
3. Camión C-2	1,536	5.72%	35.71	20,020,353	0.50	1.00	2.3120	1.0000	648,070	23,143,528	31.69%	3.4%
4. Camión C-3	2,018	7.47%	43.16	31,784,915	0.50	1.00	1.6020	1.0000	589,916	25,459,717	34.86%	4.4%
5. Microbús	567	8.01%	45.80	9,473,235	0.50	1.00	0.0029	1.0000	300	13,736	0.02%	1.2%
6. Autobús	643	7.79%	44.69	10,482,007	0.50	1.00	0.5075	1.0000	59,511	2,659,809	3.64%	1.4%
7. Trailer C-4	1,327	4.93%	32.82	15,997,029	0.50	1.00	2.6564	1.0000	643,320	21,114,434	28.91%	2.9%
TOTAL ESALs PARA PERÍODO DE DISEÑO DE 20 AÑOS									1,947,965	73,035,585	100.0%	100.0%
									99.6%	99.1%		

PORCENTAJE ESAL VEHÍCULOS PESADOS

LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y EL TRANSPORTE, CASO RUTA DEL ATLÁNTICO
 CÁLCULO NÚMERO ESTRUCTURAL

ESTACION: 916
 TIPO: "B"

KILOMETRO: 303.00
 Tramo: a Puerto Santo Tomás de Castilla

Cálculo del Número Estructural requerido

PERÍODO DE DISEÑO	ESAL DISEÑO	CONFIABILIDAD R	DESVIACIÓN ESTANDAR NORMAL S _o	MODULO RESILENCIA SUBRASANTE	ÍNDICE SERVICIABILIDAD INICIAL P _o	ÍNDICE SERVICIABILIDAD FINAL P _t	NE REQUERIDO
10 AÑOS	25,822,394	85.00	0.35	10,000	4.2	2.0	4.49
20 AÑOS	73,035,585	85.00	0.35	10,000	4.2	2.0	5.17

Cálculo del Número Estructural aportado

CAPAS	COEFICIENTE CAPA a(i)	COEFICIENTE DRENAJE C _d	ESPESOR CAPA t"	ESPESOR CAPA CMS.	NE APORTADO C _d * t	NE REQUERIDO	NE REMANENTE
ASFALTO	0.40	1.0	9.45	24.00	3.78		
BASE	0.14	0.9	5.91	15.00	0.74		
SUB BASE	0.10	0.9	7.87	20.00	0.67		
			23.23	59.00	5.19		
					DISEÑO 10 AÑOS	4.49	0.70
					DISEÑO 20 AÑOS	5.17	0.02

MAPAS

- I.5 Mapa de la Ruta al Atlántico mostrando los cinco tramos



MAPA DE LA RUTA AL ATLÁNTICO CA-09 NORTE

MAPAS

- I.6 Mapas de ubicación de las estaciones de conteo representativas de cada tramo

ESTACIÓN: 901
TIPO: "B"

KILÓMETRO: 8.00, RODRIGUITOS
Tramo I: Puente Belice - Agua Caliente



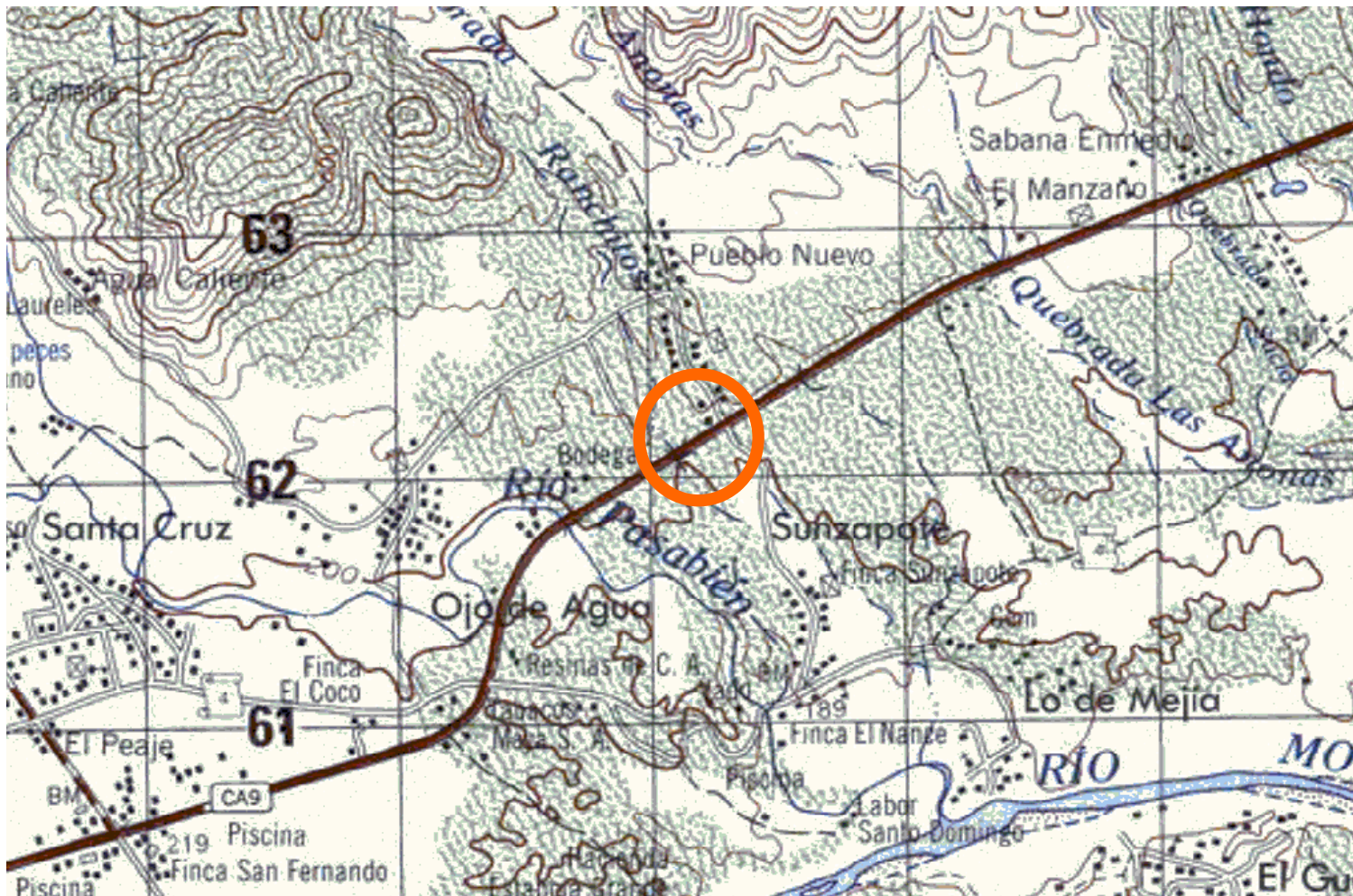
ESTACIÓN: 903
TIPO: "B"

KILÓMETRO: 59.140
Tramo II: Agua Caliente- El Rancho



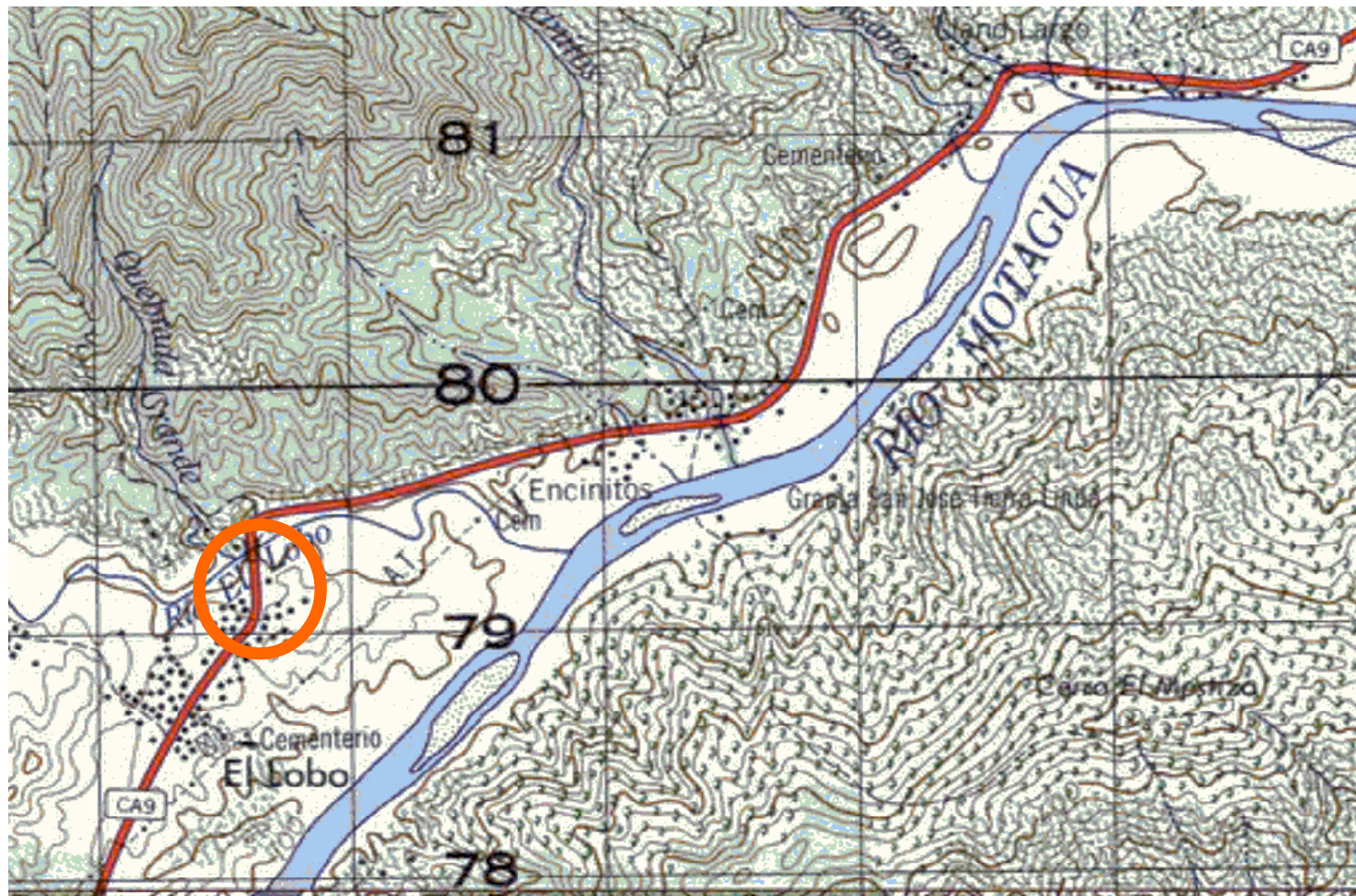
ESTACIÓN: 907
TIPO: "B"

KILÓMETRO: 133.253
Tramo: El Rancho - Rio Hondo



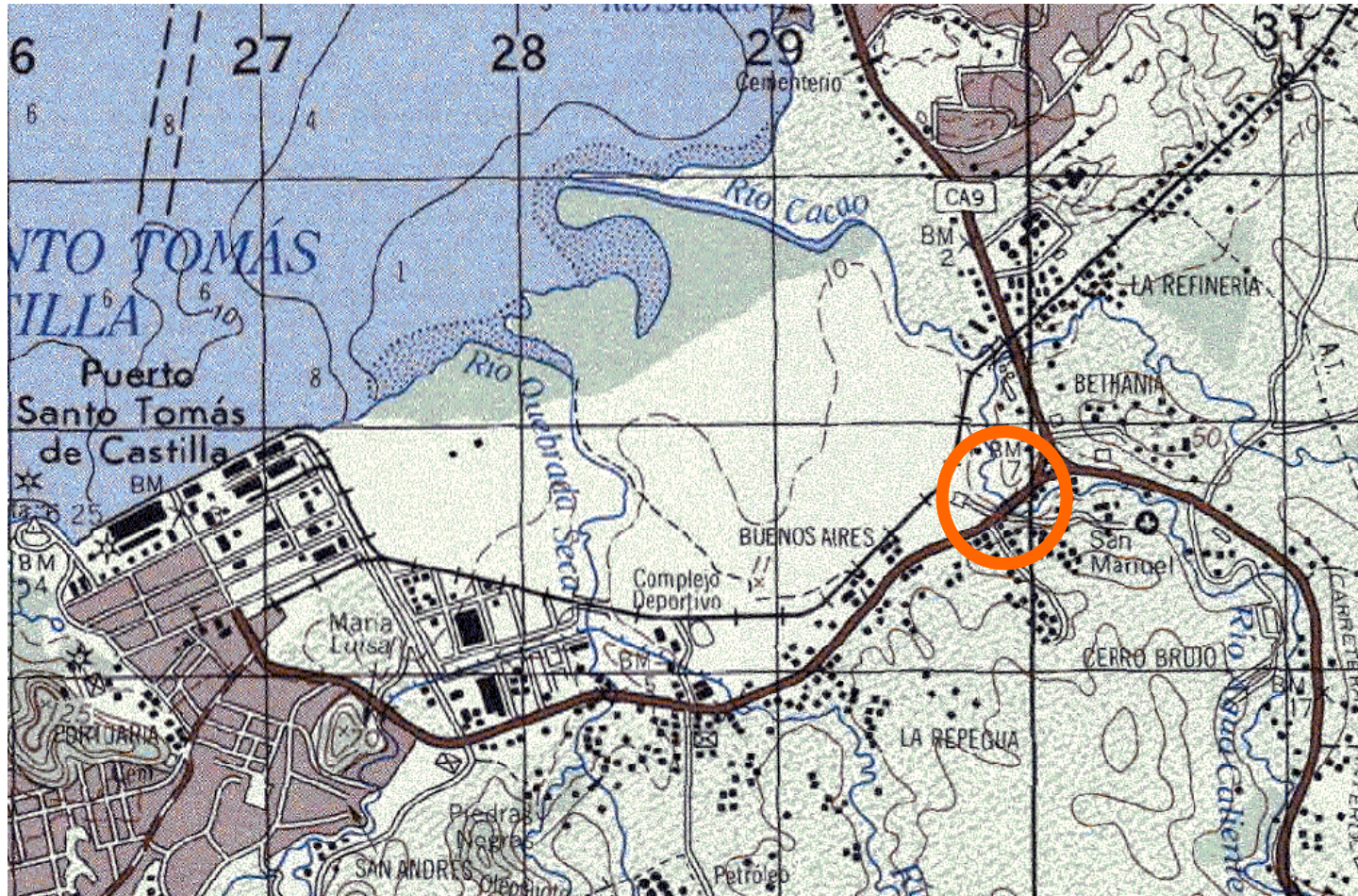
ESTACIÓN: 909
TIPO: "B"

KILÓMETRO: 180.000
Tramo: Rio Hondo - La Ruidosa



ESTACIÓN: 916
TIPO: "B"

KILÓMETRO: 303.000
Tramo: La Ruidosa - Santo Tomás de Castilla



ANEXO II

INFRAESTRUCTURA DE LA RUTA CA-09N

II.1 La carretera al Atlántico

Según descripciones que hacen los cronistas de la Colonia, el principal problema económico de la Capitanía General de Guatemala era la falta de vías de comunicación, especialmente con el Atlántico. Si Alvarado hubiera desembarcado en el Golfo de Amatique e iniciado desde ahí la conquista del país, con la apertura de un camino hacia el norte, nuestra historia habría sido muy diferente en el aspecto económico. La falta de un puerto en el Atlántico y de un camino que uniera ese puerto con el interior, siempre se hizo sentir ya que aunque en esa dirección se encontraban los principales mercados, se debían utilizar obligadamente los puertos del Pacífico.

En 1549 el Rey Carlos I de España, emperador del Sacro Imperio Romano Germánico con el nombre de Carlos V (1516 - 1556), ordenó iniciar la construcción de esta vía con el fin de acortar la distancia entre la capital del Reino y Puerto Caballos, hacia 1615 poco avanzaba la construcción del camino entre Guatemala y Santo Tomás de Castilla. En 1754 se lleva a cabo el reconocimiento de un posible camino desde la capital hasta el puerto de Omoa en Honduras, habiéndolo iniciado en Omoa y en octubre de 1755 se llega al puerto fluvial de Gualán en Zacapa, donde se une con el camino de

herradura que saliendo del norte y por tramos empedrados en la Sierra de Las Minas llegaba a Gualán, de donde la comunicación hacia Guatemala se hacía tomando la ruta fluvial del Río Motagua.

La primera legislación sobre caminos fue promulgada en el gobierno del Licenciado Antonio Rivera Cabezas. Sus cualidades de hombre muy ilustrado, Prócer de la Independencia, lo llevaron a ocupar la jefatura del Estado, durante el período comprendido de marzo de 1830 a febrero de 1831, creó la Dirección de Caminos Departamentales. El Doctor Mariano Gálvez (1831 - 1838) ordenó la construcción de una vía hacia el norte, para incorporar El Petén y El Lacandón. Las instituciones que en aquella época estimularon la hechura de caminos fueron la Sociedad Económica de Amigos del País y el Consulado de Comercio. Durante los períodos del Gobierno del Capitán General José Rafael Carrera (11 diciembre 1844 -16 agosto 1848) (6 de noviembre 1851- 14 de abril 1865), se construye el primer camino carretero hacia el Atlántico. Cometió el error histórico de haber firmado el tratado del 30 de abril de 1859 con el Gobierno Británico, donde cedía el territorio de Belice a Inglaterra, comprometiéndose ellos a realizar las obras necesarias para comunicar la capital de Guatemala con la costa del Atlántico, para aumentar así el comercio con Inglaterra y la prosperidad de la República.

A partir de 1871 el gobierno liberal de los Generales Miguel García Granados (30 junio 1871 – 4 junio 1873) y Justo Rufino Barrios (4 junio 1873 - 2 abril 1885), mostró interés en la obra vial y dió principio a la ruta que aún se utiliza, habiendo intensificado la construcción de la carretera al Golfo, en el tramo de San Agustín Acasaguastlán hacia la Bahía de Amatique, sobre la margen izquierda del río Motagua, tales caminos construidos para las carretas de bueyes, carruajes y diligencias de aquella época, presentaban curvas muy cerradas y fuertes pendientes.

El gobierno del Licenciado Manuel Estrada Cabrera (9 febrero 1,898 - 8 abril 1,920), impulsó el proyecto de la carretera al Atlántico desde la capital pasando por el Fiscal y Agua Caliente, donde se construyó un puente de hierro y madera de 56.20 metros de largo por 3.80 de ancho, para terminar en San Antonio La Paz, porque a partir de ese punto el Ferrocarril del Norte ofrecía un transporte más cómodo.

Después de la Revolución del 20 de Octubre de 1944, la ruta fue concebida como una forma de dotar al país de un medio de transporte independiente del ferrocarril, los gobiernos del Doctor Juan José Arévalo (1945 – 1951), Coroneles Jacobo Arbenz (1951 – 1954) y Carlos Castillo Armas (1954 – 1957), impulsaron los trabajos de pavimentación de los 308 kilómetros que unen la ciudad de Guatemala con la costa Atlántica y que terminarían en un moderno puerto nacional en Santo Tomás. Hasta entonces, las vías de comunicación estaban pensadas con fines estratégicos y no respondían a las necesidades de crecimiento y comunicación en el país. El Gobierno no quería contratar préstamos internacionales para la construcción, por lo que a finales de 1951 fueron depositados Q.3.5 millones a favor de varias empresas norteamericanas para la compra del equipo, el cual por razones políticas fue entregado un año después. En julio de 1951 se iniciaron los trabajos, época en la que nació el diseño y construcción de carreteras y puentes en forma técnica y administrativa en Guatemala. Fue en ese lapso cuando se establecieron las bases para licitar las obras y ejecutarlas por contrato, habiendo preparado las primeras Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes, en la Dirección General de Caminos; se establecieron los sistemas de construcción por contrato a base de precio unitario fijo, se iniciaron los estudios de cimentación para puentes con equipo de perforación, se formó el Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos de la Dirección General de Caminos y se organizaron las supervisoras para los diferentes

tramos de carretera, tanto en construcción de terracería como de puentes y pavimento.

Para la construcción de la obra, se dividió la carretera en tres tramos, el primero de Guatemala a El Rancho, de 85 kilómetros, que atraviesa terreno sumamente escarpado y de difícil construcción por el alto porcentaje de roca; el segundo de El Rancho a Mayuelas, de 80 kilómetros, con terreno ondulado y plano facilitó la construcción y el tercero fue de Mayuelas a Santo Tomás de Castilla, de 133 kilómetros, atraviesa terrenos bajos, que en algunos lados se inundan frecuentemente y tienen, por ello, baja capacidad soporte. En este último la carretera se movió de las partes bajas a las laderas de la Montaña del Mico, con el resultado de que requería un mayor movimiento de tierras, en material muy susceptible al deslizamiento. Una vez terminada la obra, su longitud fue de 305 kilómetros, tiene 72 puentes cuyas luces suman 2,521 metros, siendo el más importante el Puente Belice con longitud de 275 metros. Su inauguración tuvo lugar el 29 de noviembre de 1955 y su costo final fue de Q.46,882,000.00.

A finales de la década de 1970 se reconstruyó el tramo Rodriguitos – El Rancho. En el período 1984 – 1994 se rehabilitaron los tramos de El Rancho a Gualán y de Gualán a Puerto Barrios. La sección típica de la ruta es la Tipo A, con dos pistas de 3.60 metros de ancho de rodadura cada una, en los últimos años se ha construido un tercer carril en varios segmentos con pendientes prolongadas.

En el año 2006 se inició la construcción de 4 carriles a partir del km 8.5, Puente Rodriguitos, hasta el km 19 con fondos nacionales y de este punto al km 30.3, Puente Agua Caliente, con rodadura de concreto hidráulico de 4,000 PSI sobre la antigua estructura de pavimento flexible.

En el Anexo I, del presente trabajo, se muestra la Guía Kilométrica de los 308 kilómetros de recorrido de la Ruta CA-09N, el listado de las Estaciones de Conteo y la lista de tramos utilizados en el estudio con las Estaciones de Conteo representativas.

II.2 Las paradas de buses

Éstas constituyen otro factor que incide en la duración del pavimento ya que las maniobras de los mismos generan fuerzas adicionales. Ubicadas en ambos lados del derecho de vía con el objeto de satisfacer las necesidades de transporte de las poblaciones urbanas asentadas a lo largo de la ruta, por lo que la planificación de estos servicios forma parte del proyecto de diseño de la carretera. Debido a que muchas poblaciones han surgido después de su construcción, no cuentan con espacios de maniobra fuera del derecho de vía y en algunos casos tampoco dentro del mismo.

Las paradas de buses sobre el derecho de vía de la carretera aceleran el deterioro del pavimento a inmediación de las mismas, ya que se ocasionan mayores presiones de carga sobre su estructura debidas al frenado total de buses que paran y desaceleración parcial del resto de transporte de carga que circula, muchas veces en pasos angostos entre buses por la falta de una infraestructura adecuada que les proporcione comodidad y seguridad a los usuarios.

La operación de subir y bajar pasajeros es causa de congestionamiento sobre todo en los principales cruceos y entradas a poblaciones importantes, mismos que de acuerdo con la cantidad de tránsito circulando aumentan el riesgo de accidentes, poniendo en peligro vidas humanas.

Las principales estaciones de pasajeros identificándolas por tramo, se presentan en la siguiente tabla.

PRINCIPALES ESTACIONES DE PARADA DEL TRANSPORTE EXTRAURBANO RUTA CA-9 NORTE		
TRAMO	KILÓMETRO	DESCRIPCIÓN
I	8+.476	PUENTE Rodriguitos
I / II	48+.144	A Cementos Progreso
II	54+.745	A Sanarate (RN-19)
II	75+.992	A Guastatoya
II / III	84+.286	A Aldea El Rancho y El Júcaro (RD PRO-1)
III	87+.815	A Salamá y Cobán (CA-14)
III	91+.197	A San Agustín Acasaguastlán (RD PRO-3)
III	101+.621	A El Júcaro (2 Km.)
III	103+.925	A San Cristóbal Acasaguastlán
III	123+.907	Teculután
III	130+.786	A Huité (RN-20)
III / IV	140+.835	A Zacapa y Chiquimula (CA-10)
IV	141+.455	RIO HONDO
IV	171+.051	A Gualán (RD ZAC-5)
IV	207+.398	A Los Amates
IV	212+.204	A Ruinas de Quiriguá (RD IZAB-1)
IV	226+.032	A Mariscos (RD IZAB-4)
IV	252+.255	A Morales (CA-13 "A")
IV / V	253+.671	A Río Dulce y Petén, Ruta CA-13
V / VI	302+.825	A Puerto Santo Tomás de Castilla
VI	307+.335	PUERTO BARRIOS

Tabla II.1

En la tabla II.1 se muestran 21 estaciones principales de parada de autobuses para recoger y dejar pasajeros y carga, de las cuales 11 son identificadas como las de mayor movimiento. De estas últimas pocas tienen carriles laterales para que los buses puedan reducir su velocidad y accionar las señales luminosas respectivas para realizar las maniobras de divergencia al salir de la carretera y de convergencia al ingresar nuevamente a la ruta, para lo cual deben cumplir los requisitos como distancias adecuadas a los tiempos de maniobra y a la cantidad de buses que utilizan las paradas, interfiriendo

con el nivel de servicio de la circulación de vehículos en la vía. Estas instalaciones deben contar con los servicios mínimos de una terminal de transporte moderna, ofreciendo comodidad y seguridad a los usuarios, con áreas de descarga fuera de la pista de circulación.

Con paradas de autobuses adecuadas se reducen los tiempos utilizados en detenerse, descargar, cargar y continuar su recorrido. Sin embargo los pasajeros pueden sufrir retrasos al movilizarse por rampas y aceras. Deben tipificarse para construirse de acuerdo con las probabilidades de interferencia entre vehículos para varios rangos de tránsito y diferentes composiciones de buses pullman y autobuses de segunda.

Se deberá diseñar una estación que satisfaga a los usuarios de los distintos buses sin alterar el comportamiento del transporte liviano y pesado de manera significativa.

II.3 El ferrocarril

Nacido en el siglo XIX como la solución moderna del transporte, dejando atrás la época en que las caravanas de carretas haladas por mulas eran la única forma de transportar mercadería y personas, tuvo su inicio en el país durante el gobierno del Mariscal de Campo Vicente Cerna (24 de abril 1865 - 29 de junio 1871), cuando se introdujo el telégrafo al país y se hicieron los primeros estudios para su introducción.

A raíz del triunfo de la Revolución Liberal de 1871, cobró vigencia la necesidad de una vía de comunicación entre la capital y el Océano Atlántico. En el año 1883 se emitió el decreto No. 297 declarando que la República construiría el ferrocarril que uniría a Guatemala con el Puerto Santo Tomás. Para poder llevar a cabo la obra, el Gobierno levantó una suscripción obligatoria de 4 pesos anuales durante un decenio, que deberían satisfacer todos los guatemaltecos que por razón de oficio, jornal, o emolumento tuvieran un ingreso mayor de 8 pesos al mes, dándoles a cambio la calidad de accionistas del Ferrocarril del Norte. El 22 de julio de 1892 se celebró el contrato con el ingeniero Silvano Miller para la construcción del primer tramo, partiendo desde la orilla del mar en Puerto Barrios, hasta Tenedores en la milla 20, celebrando posteriormente otros tres contratos con el mismo ingeniero para construir los tramos de Tenedores a Los Amates (millas 20 a 61), de Los Amates a Gualán (millas 61 a 82), y de Gualán hasta Zacapa (millas 82 a 103), habiendo llegado el tren a esta última población el 22 de noviembre de 1896.

Durante los gobiernos de los Generales Manuel Lisandro Barillas (6 abril 1885 -15 marzo 1892) y José María Reyna Barrios (15 marzo 1892 - 8 febrero 1898), ya se consideraba al ferrocarril como el mejor medio de transporte, fue el General Reyna Barrios quién construyó el quinto tramo, de Zacapa al

Rancho de San Agustín (millas 103 a 136) y su sucesor el Licenciado Manuel Estrada Cabrera, después de haber hecho algunas tentativas para traer la línea hasta la capital de Guatemala, otorgó a favor del Sr. Mynor C. Keith, el contrato con fecha 12 de enero de 1904, más conocido con el nombre de “Contrato Farquhar-Flamenco”, por medio del cual se concedía al contratista el derecho de construir, mantener y explotar un ferrocarril entre el Rancho y la ciudad de Guatemala (millas 136 a 197), a cambio de entregar la parte construida hasta esa fecha, entre el Rancho y Puerto Barrios. El 19 de enero de 1908 fue colocado el último clavo de vía en San José del Golfo, donde permanece olvidado entre la maleza un majestuoso monumento que recuerda que ese día el Ferrocarril del Norte llegó a la ciudad de Guatemala, donde fue decretada más de una semana de festejos, que incluyeron juegos pirotécnicos, veladas artísticas en el Teatro Colón, carreras hípcas, encuentros deportivos y bailes nocturnos.

La concesión del ferrocarril fue adquirida en 1912 por la International Railways of Central America, IRCA, conocida como Ferrocarriles Internacionales de Centro América, cuyo principal negocio fue transportar banano. Se dió mantenimiento a la vía y los talleres podían fundir varias piezas necesarias para las locomotoras de vapor y equipo, se realizaron inyecciones de capital al ferrocarril siempre que fue necesario, lo que mantuvo el negocio a flote. A raíz de la Revolución del 20 de Octubre de 1944, se planteó la necesidad de modernizar el país, en infraestructura era necesario contar con una red de carreteras y producción de energía. El Coronel Jacobo Arbenz al llegar a la presidencia en 1951, impulsó la construcción de la carretera del Atlántico, lo que rompió el monopolio del transporte y precipitó la decadencia del ferrocarril.

Finalmente en 1968, durante el gobierno del Lic. Julio César Méndez Montenegro (1 julio 1966 - 1 julio 1970), la IRCA que estaba empeñada con el

estado guatemalteco, entregó la concesión como forma de cancelar su deuda, de esta manera nació la Empresa de Ferrocarriles de Guatemala, FEGUA. Durante esta época se construyó el ramal hacia Santo Tomás de Castilla.

La gestión de la empresa pública terminó de hundir el negocio, que en 1993 perdía Q.150.00 por tonelada de carga transportada, en enero de 1996 cesó operaciones, habiendo quedado FEGUA como propietaria de los bienes ferroviarios, los cuales fueron llevados a un proceso de concesión del servicio por medio de la convocatoria a una licitación pública internacional.

En octubre de 1997, Compañía Desarrolladora Ferroviaria, Ferrovías Guatemala, suscribió el contrato de concesión con el gobierno, dando inicio a la reconstrucción de la vieja vía de trocha angosta, así como de las locomotoras diesel eléctricas Bombardier Inc. de Canadá, modelo 1982 y General Eléctrica Española, modelo 1971, de las plataformas de 40 toneladas y otros equipos, habiendo reiniciado el servicio de carga de Santo Tomás de Castilla y Puerto Barrios hacia Guatemala en diciembre de 1999. A partir de 2008 dejó de circular nuevamente, con el consiguiente deterioro de la vía y el equipo.

Fue construido con medidas inglesas, tiene un derecho de vía de 100 pies de ancho total, es de trocha angosta con una separación entre rieles de 3 pies (960 mm), los cuales son de acero y de diferentes clasificaciones, oscilando su peso entre 54 y 75 libras por pie y miden de 4" a 4 3/4" siendo su base igual a su altura, los rieles livianos son los más antiguos, algunos datan de cerca de 1935 y los pesados fueron colocados a finales de 1940 e inicios de 1950 (época en que en México se terminó de cambiar a trocha ancha). La estructura del terraplén de la vía al Atlántico, está conformada con material de balasto proveniente de los alrededores; 158 puentes de acero con una longitud

de 14,400' (4,390 m), siendo los más importantes de la División Atlántico: El Rico de 170 metros de longitud en la milla 63.1, Agua Caliente, Azacualpilla, El Tecolote y Las Vacas de 138, 149, 174 y 224 metros de longitud en las millas 176.1, 177.1, 181.5 y 194.6, respectivamente; dos tuneles en las millas 20 y 180; varias alcantarillas menores con sus cabezales de piedra; durmientes de madera cada pie, sobre los que se apoyan los rieles sobre placas de metal, fijadas con clavos de vía. Las condiciones de la vía angosta permiten circular un tren de carga a un máximo de 20 Km por hora.

El ferrocarril de trocha ancha mide 4'8^{1/4"} (1,435 mm) de luz entre rieles, éstos tienen pesos del orden de 170 a mas de 200 libras por pie, una estructura de vía compuesta por capas de grava triturada, durmientes de concreto o madera y sistemas de fijación modernos, los cuales permiten a los trenes de carga velocidades de hasta 128 Km por hora.

En el año 2004 se transportaron 170,000 toneladas de carga, obteniendo un promedio de 157,000 toneladas anuales durante los primeros cinco años de operaciones de Ferrovías, siendo gran parte acero, constituyendo la carga pesada uno de los mejores ejemplos de las ventajas económicas del transporte por medio del ferrocarril. El promedio anual de carga movilizadada por los puertos del Atlántico durante los años 1999 - 2005 fue de 6.4 millones de toneladas, siendo equivalente lo transportado por el ferrocarril al 2.45% de la carga total.

El costo comparativo de la tarifa de transporte terrestre en Guatemala es el mayor de Centro América y del resto del mundo, lo que da mayor ventaja al transporte por ferrocarril, sobre todo si se considera la incidencia del transporte pesado por carretera sobre el nivel de servicio que la misma proporciona a los usuarios del tránsito liviano.

II.4 Los puertos del Atlántico

Guatemala posee dos puertos en la Bahía de Amatique del Mar Caribe: Puerto Barrios y Santo Tomás de Castilla. La historia del primero está ligada al Ferrocarril del Norte y la del segundo a la carretera del Atlántico.

II.4.1 Puerto Barrios

Conocido también como Terminal Ferroviaria de Puerto Barrios, es una empresa privada que opera a través de un contrato de usufructo oneroso de cesión de la administración del Puerto entre el Gobierno y COBIGUA, Compañía Bananera Independiente de Guatemala, S.A., efectuado en el año de 1990. El estado está representado por FEGUA, Ferrocarriles de Guatemala, institución a la cual estaba adscrito el Puerto.

El muelle de Puerto Barrios por su ubicación en la Bahía de Amatique tiene protección natural y sus facilidades marítimas consisten en un espigón de 304 metros de largo con un atracadero a cada lado y calados de 9.50 metros. Su reconstrucción data de inicios de 1990 y consta de una subestructura formada por pilotes aislados de concreto reforzado, donde se apoya la superestructura de vigas y losa del mismo material.

En cuanto a facilidades para almacenamiento, ya no dispone de áreas cubiertas para almacenaje, por el tipo de operación que realiza, ha eliminado primero el 100% de las áreas techadas para convertirlas en patios para almacenamiento descubierto, con un área disponible de 70,860.00 metros cuadrados. Dispone de equipo, el cual es propiedad de estibadores privados que trabajan para el mismo.

En el año 1999, Puerto Barrios movilizó 1.705 millones de toneladas, de las cuales 917,000 fueron de importación y 788,000 de exportación. Esto

representa el 14.4% de la carga marítima de Guatemala. La de mayor volumen es la de contenedores, que en 1999 representó un 78%, siendo el banano el principal producto de exportación del puerto. La carga general representa el 10% de la manejada en el puerto y los graneles líquidos, como el combustible y derivados del petróleo representan el 12%.

Ese mismo año las horas buque atracadas fueron 10,937 con 583 barcos atendidos, lo que representa un promedio de llegada de 1.60 diarios. Los que han tenido mayor crecimiento son los de contenedores, por el contrario los de granel sólido desaparecieron desde el año 1998 y los RO-RO desde 1997. Puede considerarse que cuenta con tres sitios de atraque, aún con las limitaciones que plantea el hecho de que lo visitan porta contenedores de eslora grande. La ocupación con tres lugares de atraque en 1999, fue $(10,937 / 365 \times 24 \times 3) \times 100 = 41.62\%$, menor que la tasa de ocupación recomendada por UNCTAD, que es 60 %.

Los tonelajes de carga movilizada en el período 1995 – 2005, fueron:

**TONELADAS MOVILIZADAS
PUERTO BARRIOS**

AÑOS	TONELADAS DE CARGA MOVILIZADA	% INCREMENTO ANUAL
1995	1,242,000.00	
1996	1,152,000.00	-7.25%
1997	1,299,000.00	12.76%
1998	1,537,000.00	18.32%
1999	1,705,000.00	10.93%
2000	1,759,000.00	3.17%
2001	1,681,000.00	-4.43%
2002	2,081,464.00	23.82%
2003	1,956,060.00	-6.02%
2004	1,869,090.00	-4.45%
2005	2,013,400.00	7.72%
PROM.	1,663,183.09	5.46%

Tabla II.2

Los datos del período indican un movimiento promedio anual de 1.6 millones de toneladas de carga, con un crecimiento en el período del 5.46%, equivalente al 26% de la carga movilizada en ambos puertos del Atlántico. Se observa que de 1995 a 1997 se mantiene estable el tonelaje movilizado, con un incremento que alcanza su valor máximo en el año 2002 y un ligero descenso en los años siguientes, para repuntar nuevamente en 2005. No se conocen los datos de los últimos años, pero se sabe que se han incrementado a la par del crecimiento de las exportaciones. En la tabla II.3 se presenta el promedio anual de toneladas de carga de exportación e importación, movilizada en el período 1995 - 1999, por tipo de transporte utilizado.

PUERTO BARRIOS

PROMEDIO ANUAL DE TONELADAS MOVILIZADAS POR TRANSPORTE TERRESTRE		
Carga general	223,060.20	13.41%
Contenedor	1,063,565.96	63.95%
Furgón	11,805.68	0.71%
Granel líquido	255,941.41	15.39%
Granel sólido	108,809.85	6.54%
TOTAL	1,663,183.09	100.00%

Tabla II.3

II.4.2 Santo Tomás de Castilla

El proyecto del puerto nació con la ruta del Atlántico, para la época de su construcción, a finales de los años 1950, se conoció con el nombre de Puerto Matías de Gálvez en la entrada de la bahía de Amatique.

La Empresa Portuaria Nacional Santo Tomás de Castilla, es una entidad del Estado que goza de autonomía para operar de acuerdo con su naturaleza y sus fines, se rige por su ley Orgánica Decreto Legislativo No. 4-93, de fecha 4 de marzo de 1993, la cual establece como sus fines administrar y proporcionar servicios de embarque y desembarque de pasajeros, carga, descarga y transferencia de mercancías y servicios conexos y cualquier otro servicio público afín con su actividad.

El Puerto Santo Tomás de Castilla, apenas a 40 horas de navegación de Miami Florida, es el puerto marítimo más importante en el litoral Atlántico, siendo el mayor generador económico del país, ya que maneja el 85% de la carga marítima de Guatemala.

Cuenta con un muelle de estructura tipo marginal, con una longitud de 914.56 metros distribuidos en 6 atracaderos y una dársena de maniobras de 906 metros de largo, 150 metros de ancho y 11 metros de calado. Además por su excelente ubicación geográfica, el puerto es favorecido por las condiciones naturales que rodean el lugar, que previenen los efectos de los vientos huracanados del Mar Caribe. Las instalaciones portuarias son 7 bodegas con un área techada de 34,881 m², un patio de 5,525 m² y 15 para contenedores, con capacidad de 4,395 contenedores de 20 pies, TEU, por nivel.

Los datos del tonelaje movilizado de carga, tanto de exportación como importación del Puerto Santo Tomás, por tipo de carga y transporte, para los años disponibles, se presentan en la tabla siguiente.

**TONELADAS MOVILIZADAS
PUERTO SANTO TOMÁS DE CASTILLA**

AÑOS	TONELADAS DE CARGA MOVILIZADA	% INCREMENTO ANUAL
1999	4,484,000.00	
2000	4,687,000.00	4.53%
2001	4,500,000.00	-3.99%
2002	4,800,027.38	6.67%
2003	4,433,582.44	-7.63%
2004	4,562,251.32	2.90%
2005	4,390,000.00	-3.78%
PROM.	4,550,980.16	-0.22%

Tabla II.4

En la tabla anterior se observa que el Puerto Santo Tomás de Castilla mantiene un volumen promedio anual de 4.55 millones toneladas de carga movilizada para el período 1999 - 2005, equivalente al 74% de ambos puertos del Atlántico, alcanzando el máximo valor en el año 2002, descendiendo en 2003 con un repunte en el 2004 y un descenso en 2005, lo que equivale a una tasa promedio de 0.22% de crecimiento negativo anual en el período. Si se excluyen los 1.16 millones de toneladas de granel líquido de exportación, movilizados por medio del oleoducto hacia la terminal del puerto para su exportación, que constituyen el 25% del total de los 4.55 millones de toneladas movilizadas anualmente, el promedio de la carga terrestre es de 3.39 millones de toneladas por año.

El número de buques de carga atendidos en el año 2002 fue de 1,266, mientras que en el año 2003 fueron 1,322, lo que equivale a un incremento anual del 1.4%. En la Tabla 5.5 se muestra la cantidad promedio anual de

toneladas de carga, de exportación e importación, movilizadas en el período 1999 y 2004, según el tipo de transporte utilizado.

PUERTO SANTO TOMÁS DE CASTILLA		
PROMEDIO ANUAL DE TONELADAS MOVILIZADAS		
POR TRANSPORTE TERRESTRE		
Período 1999 - 2004		
Carga general	396,642.62	8.72%
Contenedor	1,572,441.95	34.55%
Furgón	595,933.85	13.09%
Granel líquido (*)	1,822,799.13	40.05%
Granel sólido	163,162.61	3.59%
TOTAL	4,550,980.16	100.00%

Tabla II.5

Del total de carga movilizada, corresponde el 40% al granel líquido, siendo la mayor parte (60%) petróleo de exportación movilizado internamente por el oleoducto. El 34.5% del total fue por medio de contenedores, siendo el 39% en contenedores de 20 pies, (TEU), mientras el 55% viajó en contenedores de 40 pies (2TEU) y el 6% restante lo hace en 45 pies, observándose un incremento en los últimos años del transporte de contenedores de 40 y 45 pies.

II.5 Las zonas libres

Las Zonas Libres o Zonas Francas son áreas de terreno físicamente delimitada, planificada y diseñada, sujeta a un régimen aduanero especial que permite gozar de un tratamiento tributario especial, siempre y cuando las mercancías no salgan de la Zona Franca hacia el territorio nacional, en la que personas individuales o jurídicas se dedican a la producción o comercialización de bienes para la exportación o reexportación, así como a la prestación de servicios vinculados con el comercio internacional. Debe estar custodiada y controlada por la autoridad aduanera, según lo establece el Decreto 65-89, Ley de Zonas Francas.

La Zona Libre de Industria y Comercio de Santo Tomás de Castilla, ZOLIC, es una organización descentralizada con autonomía funcional del Gobierno de Guatemala, siendo uno de sus objetivos principales, ser un centro logístico de operaciones del comercio internacional por excelencia, contiguo al principal puerto de Guatemala en la costa Atlántica, así mismo, ser una fuente importante de desarrollo regional en el departamento de Izabal.

Funciona en un área extra aduanal cercada y vigilada y cuenta con mas de 22 mil metros cuadrados de bodegas techadas y 53 mil de terreno abiertos en óptimas condiciones, aptos para edificar construcciones para el almacenamiento de productos refrigerados, líquidos y cualquier otro producto utilizado por la industria y los servicios. Lo cual sitúa a la Zona Libre en una posición estratégica para poder embarcar productos tanto en la costa este, como a la oeste del continente americano.

Según la Ley Orgánica de ZOLIC, todas las empresas que se sitúen en esta zona franca, están exentas del pago de impuestos, del Impuesto sobre la Renta, durante los primeros 12 años, computados a partir del inicio de sus

operaciones, derechos, contribuciones y cualquier gravamen fiscal o municipal creados o por crearse, de todas las mercancías, equipos, maquinaria, accesorios y demás bienes que se destinen para sus operaciones dentro de la Zona Libre.

El papel que juegan las Zonas Libres en el desarrollo rural, es el de centros de exportación donde se puedan procesar y empacar los productos no tradicionales, que al venderse al exterior generen ingresos para las comunidades rurales que los producen.