



---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA**

**"AMPLIACIÓN DE UN TRAMO CARRETERO EN  
EL ESTADO DE QUERÉTARO"**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:**

**RODRIGO VILLA GALLEGOS**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**M. EN I. HÉCTOR SANGINÉS GARCÍA**



**CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO D.F. 2015**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

Señor  
RODRIGO VILLA GALLEGOS  
Presente

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/030/15

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. HÉCTOR SANGINÉS GARCÍA, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"AMPLIACIÓN DE UN TRAMO CARRETERO EN EL ESTADO DE QUERÉTARO"**

- INTRODUCCIÓN
- I. ESTUDIO DE CAMPO
- II. PLANEACIÓN
- III. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN
- IV. DISEÑO DE PAVIMENTOS
- V. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 21 de abril de 2015.  
EL PRESIDENTE

M.I. GERMÁN LÓPEZ RINCÓN

GLR/MTH^gar.

## **AGRADECIMIENTOS**

*A **DIOS**, por haberme permitido finalizar esta etapa de mi vida con éxito y así cumplir con una de las metas más importantes en mi vida.*

*A **MIS PADRES MERCEDES Y FLORENCIO**, por el amor, cariño y apoyo que me han brindado a lo largo de toda mi vida, quienes además de darme vida y educación, me han sabido formar con buenos sentimientos, hábitos y valores los cuales me han ayudado a salir adelante y además han hecho todo en esta vida para que pueda cumplir todos mis sueños y mis metas, gracias por siempre apoyarme.*

*A **MIS HERMANOS ENRIQUE, FERNANDO, MIGUEL Y DIANA**, por el cariño que me han tenido siempre, por las enseñanzas, por ser un buen ejemplo siempre para mí, por apoyarme y darme la fuerza para seguir adelante y conseguir todas mis metas, por que se estarán orgullosos de mí.*

*AL **M.I. HÉCTOR SANGINÉS GARCÍA**, por ser un excelente director de tesis, además de un gran profesor y amigo, que siempre estuvo para prestarme su ayuda y que ha sido una pieza fundamental para la realización de esta tesis.*

*AL **ING. JOSÉ DE JESÚS PÉREZ MIRANDA**, por todo su apoyo, sus valiosas aportaciones, la confianza recibida, sus valiosos consejos y por el tiempo que me dedico las veces que fue necesario.*

*A **MI NOVIA ALEXIS**, por su amor, su paciencia y todo el apoyo que me ha dado para que salga adelante y cumpla todas las metas que me proponga, por que ha sido un pilar para mí y me ha dado la fortaleza para no dejarme caer y que siempre ha tenido palabras de aliento para darme fuerza y esperanza, por toda la confianza que has depositado en mí, este logro también va dedicado a ti.*

*A todos mis profesores de la facultad por todos los conocimientos transmitidos a lo largo de estos años, y gracias a los cuales estoy preparado para enfrentar los obstáculos que se me presenten.*

*A **LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO Y A MI AMADA FACULTAD DE INGENIERIA** de las cuales siempre me sentiré orgulloso por todos los conocimientos y valores que adquirí de ellas y las cuales no solo me han dado los conocimientos necesarios para salir adelante si no me han inculcado valores invaluable para la vida.*

*A todos mis amigos y las personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron dispuestas a ayudarme y a darme todo su apoyo para que esta tesis fuera posible.*

*A todos gracias...*

# INDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
I. ESTUDIO DE CAMPO .....	8
ANÁLISIS DE LA OFERTA EXISTENTE .....	8
ANÁLISIS DE LA DEMANDA ACTUAL.....	10
II. PLANEACIÓN .....	16
PROBLEMATICA .....	16
PLANEACIÓN ESTRATÉGICA .....	18
LÍNEAS DE ACCIÓN:.....	18
SECTOR CARRETERO: .....	18
CALENDARIO DE ACTIVIDADES .....	19
MONTO TOTAL DE INVERSION .....	20
FUENTES DE FINANCIAMIENTO .....	20
CAPACIDAD INSTALADA.....	20
METAS ANUALES Y TOTALES DE PRODUCCIÓN .....	21
VIDA ÚTIL .....	21
DESCRIPCIÓN DE LOS ASPECTOS MAS RELEVANTES .....	22
ESTUDIOS TÉCNICOS .....	22
ESTUDIOS LEGALES .....	22
ESTUDIOS AMBIENTALES .....	22
III. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN .....	23
SITUACIÓN SIN EL PROYECTO .....	23
OPTIMIZACIONES .....	23
ANÁLISIS DE LA OFERTA.....	24
ANÁLISIS DE LA DEMANDA .....	25
DIAGNÓSTICO DE LA INTERACCIÓN OFERTA- DEMANDA .....	26
ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN .....	27

<b>SITUACIÓN CON EL PROYECTO .....</b>	<b>29</b>
<b>DESCRIPCION GENERAL.....</b>	<b>29</b>
<b>ANÁLISIS DE LA OFERTA.....</b>	<b>34</b>
<b>ANÁLISIS DE LA DEMANDA .....</b>	<b>35</b>
<b>INTERACCIÓN OFERTA-DEMANDA .....</b>	<b>35</b>
<b>EVALUACIÓN DEL PPI.....</b>	<b>38</b>
<b>IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE COSTOS DEL PPI .....</b>	<b>38</b>
<b>IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE BENEFICIOS.....</b>	<b>39</b>
<b>AHORRO EN TIEMPO DE VIAJE .....</b>	<b>39</b>
<b>AHORRO EN COSTOS DE OPERACIÓN VEHICULAR.....</b>	<b>40</b>
<b>CÁLCULO DE LOS INDICADORES DE RENTABILIDAD.....</b>	<b>42</b>
<b>ANÁLISIS DE RIESGOS .....</b>	<b>42</b>
<b>IV. DISEÑO DE PAVIMENTO.....</b>	<b>43</b>
<b>DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR EL MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. ....</b>	<b>43</b>
<b>DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CARRETERA.....</b>	<b>47</b>
<b>EJEMPLO DE DISEÑO DE PAVIMENTO.....</b>	<b>53</b>
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXO 2.....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO 3.....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXO 4.....</b>	<b>69</b>

## INTRODUCCIÓN

El proyecto de infraestructura, objeto del presente estudio, forma parte del corredor troncal México-Nuevo Laredo con Ramal a Piedras Negras, y forma parte del tramo de la carretera federal No. 57, en el tramo de Querétaro - San Luis Potosí. Ver figura 1.

El Paseo de la República representa una importante vía de comunicación para los usuarios locales y de largo itinerario que transitan por esta zona y que tienen como finalidad llegar al norte del país o cruzar la frontera o bien trasladarse a comunidades de la región. Aunado a lo anterior, el estado de Querétaro ha presentado una fuerte dinámica de crecimiento en el parque vehicular, lo que ha incrementado a su vez la demanda de más servicios urbanos y de comunicaciones.

Los principales problemas que se presentan en el Paseo de La República en el tramo de la carretera federal núm. 57 a partir del km 15+000 al km 28+000 es la reducción de la sección al pasar de 6 carriles en la parte central de esta vialidad a 4 carriles, lo que ocasiona un punto crítico con esta reducción y por ende la reducción en la capacidad de la vía. Por esta vialidad circula en promedio en el tramo el 15.1% de vehículos de carga en el tramo de estudio, que a su vez es una de las causas que ocasiona una reducción en la velocidad de operación de la vía ya que al transitar por el Paseo de La República, a partir del Km. 15+000 y hasta el 28+000, el tránsito que se dirige a San Luis Potosí o a Querétaro, se encuentra con una carretera de sección transversal, de dos carriles de 3.5 metros de ancho por sentido y acotamientos lateral de 1.0 metros.

Aunque las características que presenta actualmente no son del todo malas, sí se requiere su ampliación para aumentar su capacidad debido a que el proyecto de infraestructura, objeto del presente estudio, presenta un Tránsito Promedio Diario Anual (TDPA) de 40,000 vehículos, además de que el tramo en cuestión forma parte del corredor troncal México-Nuevo Laredo con Ramal a Piedras Negras, de aquí la importancia que representa esta carretera dentro de la red de infraestructura del país, la cual, comienza a presentar problemas de congestiónamiento del tránsito debido a la reducción en su capacidad, además de presentar la desventaja de que este eje carretero actualmente se está modernizando con la ampliación de su sección y sería poco práctico para su operación que el tramo del km. 15+000 al Km. 28+000 no se encuentre acorde con esta necesidad.

Figura 1. Red de carreteras principales.



La importancia de este eje carretero radica en el hecho de que más del 36% del total de la actividad de Comercio Internacional de México hacia el exterior, cruza por Nuevo Laredo, la importación y exportación comercial e industrial entre México y Estados Unidos, requiere de una infraestructura compleja y suficiente que facilite el flujo de mercancías entre estos dos países; todo ello coloca a este puerto internacional de Nuevo Laredo como el más importante en comercio internacional por tierra de América.

Además de estas necesidades básicas de facilitar el flujo vehicular hay otros factores que influyen en la realización de este proyecto, como lo son: el turismo, el comercio, y el desarrollo y crecimiento poblacional del estado de Querétaro.

El objetivo del proyecto es dar mayor capacidad de operación de la vialidad primaria Paseo de la República, mediante la ampliación de la sección transversal, para ofrecer un nivel de servicio óptimo a los usuarios que lo utilizan. Con esta acción se contribuye a mejorar las velocidades y los tiempos de recorrido para el transporte de carga y pasajeros de la región, obteniendo con ello un importante ahorro en los costos de operación. Además, la modernización de este tramo contribuye a "Completar la modernización de los corredores troncales transversales y longitudinales que comunican a las principales ciudades, fronteras y algunos centros turísticos importantes del país con carreteras de altas especificaciones."

La alternativa elegida de ampliar la sección transversal para alojar 6 carriles centrales y 6 laterales de circulación, tres por sentido en ambos cuerpos de la carretera, es

conveniente, ya que permitirá agilizar el tránsito, dándole mayor capacidad al tramo en estudio, aumentar la velocidad de operación, reduciendo los tiempos de recorrido y los costos de operación de los diferentes tipos de vehículos.

De acuerdo con los estudios de Ingeniería de Tránsito realizados en Marzo de 2013, los cuales incluyeron aforos vehiculares, de los que se obtuvo un TDPA en el Tramo 1 de 44,973 vehículos, con una composición vehicular de 84.6% de autos, el 3.4% de autobuses y el 12.0% de camiones de carga; para el Tramo 2 se obtuvo un TDPA para el 2013 de 39,112 vehículos diarios con una composición vehicular de 75.0% de autos, el 9.0% de autobuses y el 16.0% de camiones de carga, el Tramo 3 se obtuvo un TDPA para el 2013 de 36,378 vehículos diarios con una composición vehicular de 78.9% de autos, el 3.9% de autobuses y el 17.2% de camiones de carga.

Con la ampliación de este tramo se contribuye al cumplimiento de la estrategia definida por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de participar en desarrollar ejes interregionales que mejoren la comunicación y la conectividad de la red carretera, así como mejorar el estado físico de la infraestructura carretera y reducir el índice de accidentes.

**Figura 2. Ubicación regional del proyecto**



La carretera federal 57, en el tramo que sirve de conexión al norte de la ciudad de Querétaro ofrece una conexión rápida de salida hacia el estado de San Luis Potosí, del tránsito de vehículos con dirección al norte del país y hacia los cruces de fronterizos más importante del país para los camiones de carga. El tramo carretero, motivo de este análisis, se ha pensado ampliar para mejorar la conectividad hacia dichos puntos; pasando de 4 a 12 carriles, 6 centrales y 6 laterales, 3 por sentido de circulación, que brinde una mayor capacidad, mejore los niveles de servicio, así como mayor seguridad a los usuarios.

Para alcanzar este fin se requiere que un tramo de 13.0 kilómetros, que comprende de Juriquilla a la desviación a San Miguel de Allende (del km 15+000 al 28+000) y que actualmente opera con dos carriles por sentido y en donde se ve limitada la velocidad de operación por la reducción de la capacidad, se amplíe a 12 carriles, 6 carriles centrales y 6 laterales, para mejorar la capacidad.

En las fotografías 1 a 4 podemos apreciar la sección transversal como se encuentra actualmente así como dos entronques que presentan la misma problemática.

También es importante resaltar la presencia de un importante porcentaje de camiones de carga dentro de la composición vehicular del tránsito, que requieren de mejores condiciones para circular. Es un hecho que el flujo de camiones de carga en el tramo de estudio, tiene como origen y/o destino los estados del norte del país principalmente Nuevo León y Tamaulipas en sus cruces fronterizos; por esta razón, en la medida que se mejore la infraestructura carretera del corredor troncal, se mejorarán los ciclos de operación con el consecuente ahorro en costos de operación y tiempos de la carga.

Los 13.0 Kilómetros que se proyecta ampliar le darán continuidad a los 15.0 kilómetros anteriores que presentan las mismas características.

En el capítulo 1 veremos los estudios realizados en el campo, sobre todo los estudios enfocados al tránsito vehicular en diferentes puntos y así, mediante éstos, obtener el TDPA, la velocidad de operación, así como el análisis de la demanda actual y de la oferta existente en el tramo en estudio; también podremos ver la variación del tránsito existente y el crecimiento que se irá dando y por lo cual también es necesario la realización del proyecto.

En el segundo capítulo referente a la planeación nos enfocaremos en la problemática que se presenta en el tramo carretero en estudio, las líneas de acción a seguir, el calendario de actividades a realizar, las metas anuales y totales, algunos estudios realizados así como la vida útil que tendrá y posteriormente en el capítulo 3 veremos las alternativas de solución que se le darán al proyecto, analizaremos como es la situación sin el proyecto y las optimizaciones que podrían realizarse sin la realización del proyecto y como estas impactarían en la carretera y si es que fueran de ayuda o no; de esta forma se plantearan

diferentes alternativas de solución al proyecto y podremos ver cuál y por qué es la más acertada para este tramo en estudio.

Posteriormente en el capítulo número 4 veremos algo referente al diseño de pavimentos flexibles, un método proporcionado por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y ahí mismo expondremos un ejemplo sobre el cálculo del pavimento en un tramo de la carretera en estudio.

Finalmente en el capítulo 5 estarán las conclusiones a las que he llegado sobre el trabajo realizado del proyecto carretero.

***Fotografía 1. Sección transversal en el tramo actual.***



**Fotografía 2. Sección transversal en el tramo actual.**



**Fotografía 3. Entronque sobre la carretera Federal núm. 57 Juriquilla**



**Fotografía 4. Entronque km. 18+125**



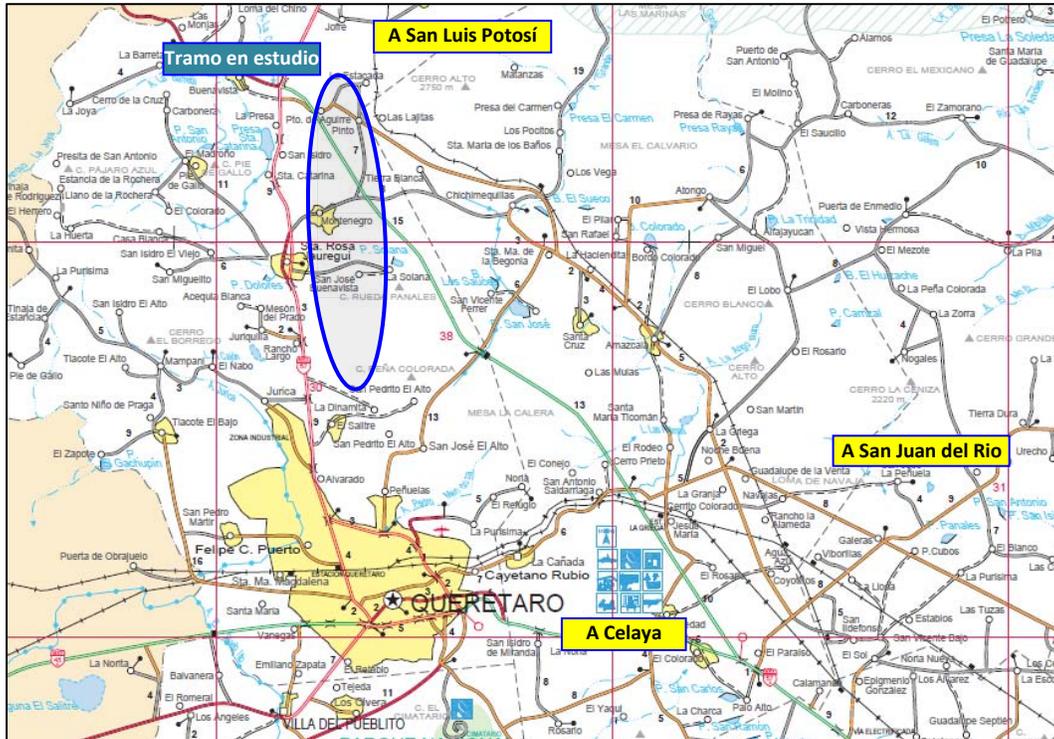
## I. ESTUDIO DE CAMPO

### ANÁLISIS DE LA OFERTA EXISTENTE

Actualmente, este tramo del libramiento opera en un ancho de corona de 26.0 metros con 2 carriles de circulación de 3.5 metros, con acotamientos laterales de 1.50 metros a cada lado, en terreno plano y faja separadora central de 10 metros, con pavimento asfáltico en buenas condiciones, para el cual se ha considerado un Índice Internacional de Rugosidad (IRI por sus siglas en ingles) de 3.5 m/km. El IRI se encuentra explicado un poco más a fondo en el anexo 1 donde podremos ver algunos valores de estos conforme a las características de los pavimentos.

En la tabla 1 se indican las características físicas y operativas del tramo actual , en la figura 3 se muestra la imagen de la ubicación en la situación actual y en la fotografía 5 podemos ver como se encuentra la sección actualmente.

**Figura 3. Ubicación del tramo a ampliar.**



**Fotografía 5. Sección actual**



Para estimar las velocidades en cada uno de los tramos se realizó un estudio de velocidades, donde se identificaron las principales causas físicas y operativas de las demoras y los sitios en donde se presentan, para ello se dividió en tramos homogéneos del Paseo de la Republica. El método utilizado fue el del vehículo flotante con GPS explicado a fondo en el anexo 2 . El recorrido realizado fue en el periodo de máxima demanda; y se obtuvo un promedio significativo de las velocidades de operación. Como resultado de esta tarea se entregó el resumen de velocidades y demoras del tramo de estudio.

**Tabla 1. Datos de la oferta**

Concepto	Tramo 1 del km 15+000 al km 19+000	Tramo 2 del km 19+000 al km 23+000	Tramo 3 del km 23+000 al km 28+000
Longitud (km)	4.00	4.0	5
Tipo de carretera	A4	A4	A4
Número de carriles	4	4	4
Ancho de sección (m)	26.0	26.0	26.0
Tipo de terreno	Plano	Plano	Plano
Acotamientos	Si	Si	Si
Velocidad de operación (km/hr)	50.0	60.0	60.0
Estado Físico	Buenas	Buenas	Buenas
Índice de Rugosidad (IRI)	3.5	3.5	3.5

## ANÁLISIS DE LA DEMANDA ACTUAL

Los estudios de Ingeniería de Tránsito se realizaron en el mes de Marzo del 2013, en donde se incluyó la realización de aforos automáticos, en tres puntos, para obtener el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) para el año 2013, en el Paseo de la República de la ciudad de Querétaro. Los tres tramos en que se dividió el tramo de estudio son, **el tramo 1, del km. 15+000 al km. 19+000, en el tramo 2, del km. 19+000 al km. 23+000 y en el tramo 3, del km. 23+000 al km. 28+000.**

Los aforos automáticos se realizaron durante siete días, las 24 horas continuas, sobre Paseo de la República, y se ubicaron en el tramo 1 en el km 15+500, en el tramo 2 en el km 20+100 y en el tramo 3 en el km. 24+200; para estos puntos se obtuvo el TDPA en cada punto que representa el tramo en este estudio, la ubicación de las estaciones de aforo se presenta en la figura 4.

De los aforos realizados se obtuvo la variación horaria, misma que se presenta en las figuras (7-9).

Figura 4. Ubicación de estaciones de conteo



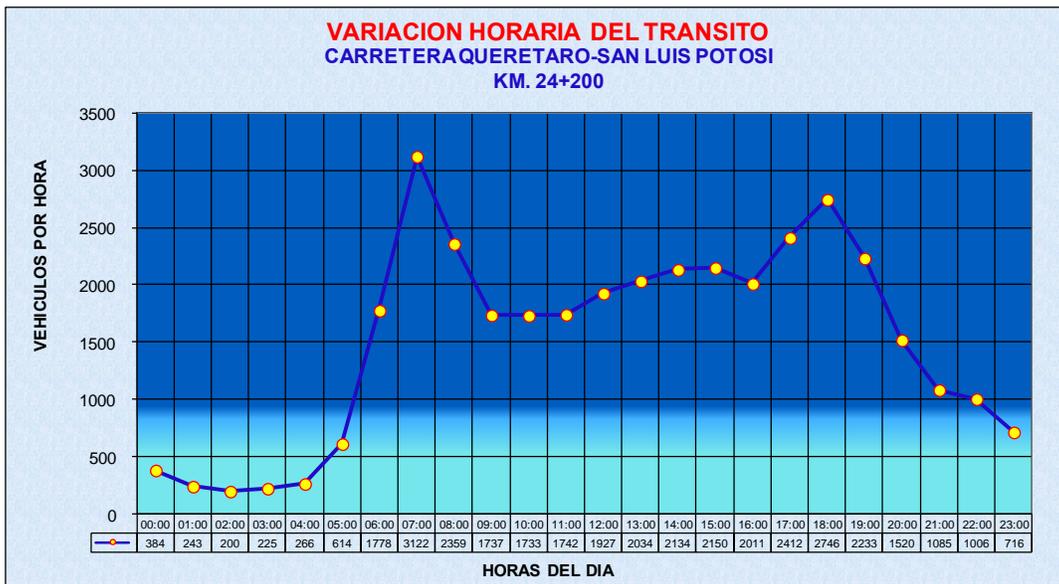
Figura 5. Variación Horaria del Tránsito en el Tramo 1 en estudio.



**Figura 6. Variación Horaria del Tránsito en el Tramo 2 en estudio.**



**Figura 7. Variación Horaria del Tránsito en el Tramo 3 en estudio.**



Para realizar la expansión de los aforos se recurrió a los Libros de Datos Viales del estado de Querétaro, editados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) en el 2013, en referencia a los datos obtenidos en el año del 2012, de la carretera federal No. 57 Querétaro San Luis Potosí. Para obtener la estacionalidad del punto de estudio se consideró la estación permanente de la caseta Chichimequillas y el comportamiento mensual del tránsito (ver figura 8), el aforo automático se realizó en el mes de Marzo del 2013. El TDPA para el 2013 de la caseta Chichimequillas es de 12,541 vehículos y para el mes de Marzo en promedio tuvieron 12,437 vehículos, donde se obtiene el factor mensual de 0.99174.

**Figura 8. Volumen de Tránsito en la caseta de Chichimequillas**

VOLÚMEN DE TRÁNSITO 2012																										
CASETA DE COBRO CHICHIMEQUILLAS																										
110	Carretera: Libramiento Nororiente de Querétaro Movimiento: T. C.(Aut. Méx-Qro)-T. C.(Qro-SLP)										(MEX-057D)	Caseta: Chichimequillas Km: 20.32					Sentido: 0									
TDPA	Clasificación Vehicular en Porcentaje													VTA	Volumen de Tránsito Mensual en Porcentaje											
12,541	M	A	AR	B	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	VNC	4,589,965	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	0.1	35.8	0.5	3.3	6.6	5.8	0.4	35.1	3.8	0.4	0.1	7.6	0.5		8.0	7.6	8.4	8.4	8.3	8.4	8.9	8.7	8.1	8.2	8.0	9.0

Aplicando el factor mensual al aforo automático, obtenemos el TDPA para el 2013, en el tramo en estudio. Una vez obtenidos los tránsitos de cada uno de los puntos se procedió a analizar la capacidad vial y se obtuvo su nivel de servicio correspondiente a cada tramo. Ver tabla 2 y figura 9.

**Tabla 2. Demanda actual**

Tramo	TDPA	Autos	Autobuses	Camiones	Nivel de Servicio
Tramo 1 del km 15+000 al km 19+000	44,973	38,047	1,529	5,397	D
Composición (%)	100	84.6	3.4	12.0	
Tramo 2 del km 19+000 al km 23+000	39,112	29,334	3520	6,258	C
Composición (%)	100	75.0	9.0	16.0	
Tramo 3 del km 23+000 al km 28+000	36,378	28,702	1,419	6,257	C
Composición (%)	100	78.9	3.9	17.2	

**Figura 9– Flujos vehiculares expresados en TDPA en los tres tramos**



Con la información de oferta y demanda se obtiene que el nivel de servicio en el Tramo 1 que comprende del km. 15+000 al km 19+000, es “D” lo que significa que representa una circulación de densidad elevada, donde la velocidad y capacidad de maniobra se encuentran seriamente restringida y el conductor experimenta un nivel general de comodidad y conveniencia bajo. Los Tramos 2 y 3, del km 19+000 al km 28+000 presentan un nivel de servicio “C” lo que significa que la operación de los vehículos está afectada de forma significativa por la interacción con otros vehículos, donde la selección de la velocidad se ve afectada por la presencia de otros vehículos y la libertad de maniobra comienza a ser restringida, además de que la comodidad y conveniencia desciende notablemente.

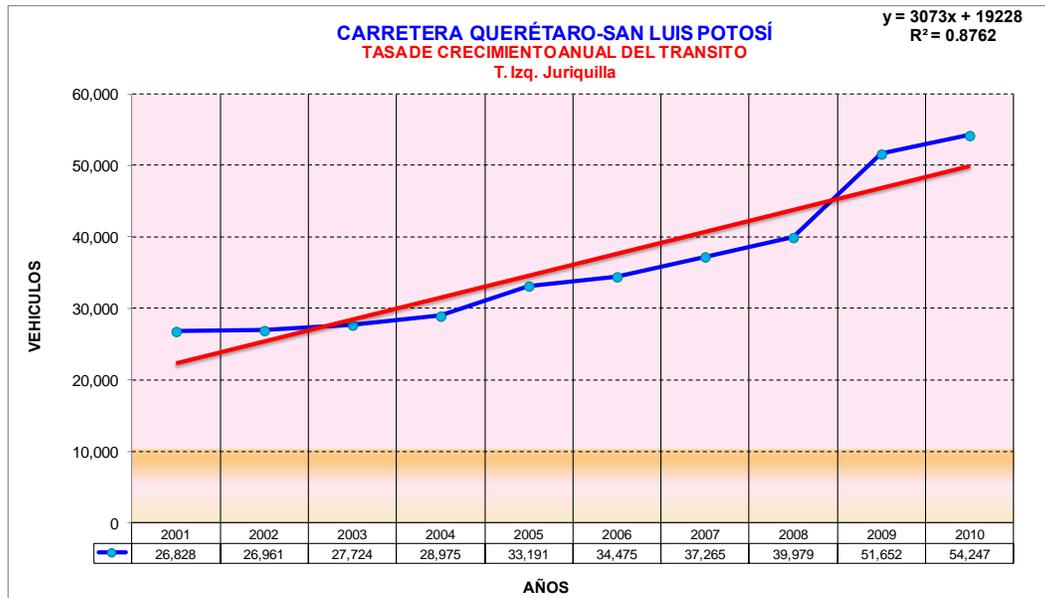
Además del nivel de servicio que se observa, la problemática detectada en estos tramos del Paseo de la República es la reducción en la capacidad de vía, provocando bajas velocidades de operación que se presentan debido a la dificultad de realizar las maniobras con seguridad por la presencia del transporte de carga, los cuales tienen un porcentaje importante dentro de la composición del tránsito, por lo que se hace necesaria su ampliación.

La Tasa de Crecimiento Medio Anual (TCMA) del tránsito se obtuvo a partir de los aforos históricos de los Libros de Datos Viales del estado de Querétaro, publicados por la SCT considerando un punto sobre la carretera federal núm. 57 T. Izq. Juriquilla, de donde se obtuvo la tasa de crecimiento de 8.14% del periodo del 2003 al 2012, sin considerar los datos máximos y mínimos. Para efectos de la presente evaluación, se utilizó la tasa de crecimiento promedio del 3.5% anual (figuras 10 y 11).

**Figura 10. Comportamiento histórico de la Carretera Federal Querétaro - San Luis Potosí**

Carretera: Querétaro - San Luis Potosí													
PUNTO GENERADOR	KM	AÑO	TPDA	TMCA									
			2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
T. Izq. Juriquilla	15+630		26,828	26,961	27,724	28,975	33,191	34,475	37,265	39,979	51,652	54,247	8.14%
				0.50%	2.83%	4.51%	14.55%	3.87%	8.09%	7.28%	29.20%	5.02%	

**Figura 11 .Tendencia de Crecimiento**



## II. PLANEACIÓN

### PROBLEMATICA

El principal problema que se observa al circular por el Paseo de la República, en el tramo del km 15+000 al km 28+000, es la reducción de la capacidad de la vía ya que el tránsito que se dirige a la salida a San Luis Potosí o a los estados del norte, pasan de una sección transversal que aloja 4 carriles centrales y 4 laterales, 4 por sentido en cada cuerpo a una sección reducida de 4 carriles de 3.5 metros de ancho con acotamientos de 1.0 metros, y por ende la disminución en la velocidad de operación, provoca que el tránsito se desplace más lento, aunado a lo anterior se agrega la presencia de un porcentaje importante de vehículos pesados, en promedio en el tramo de estudio un 15.1% son los vehículos de carga que interactúan con el tránsito de vehículos ligeros, lo que provoca la disminución de la velocidad de operación y la acumulación de vehículos provocando que el tránsito de vehículos se desplace de forma más lenta, registrando una baja sensible en la velocidad de operación para los vehículos, e incrementando los tiempos de recorrido y los costos de operación, debido a que tienen que disminuir su velocidad al alcanzar a un vehículo pesado.

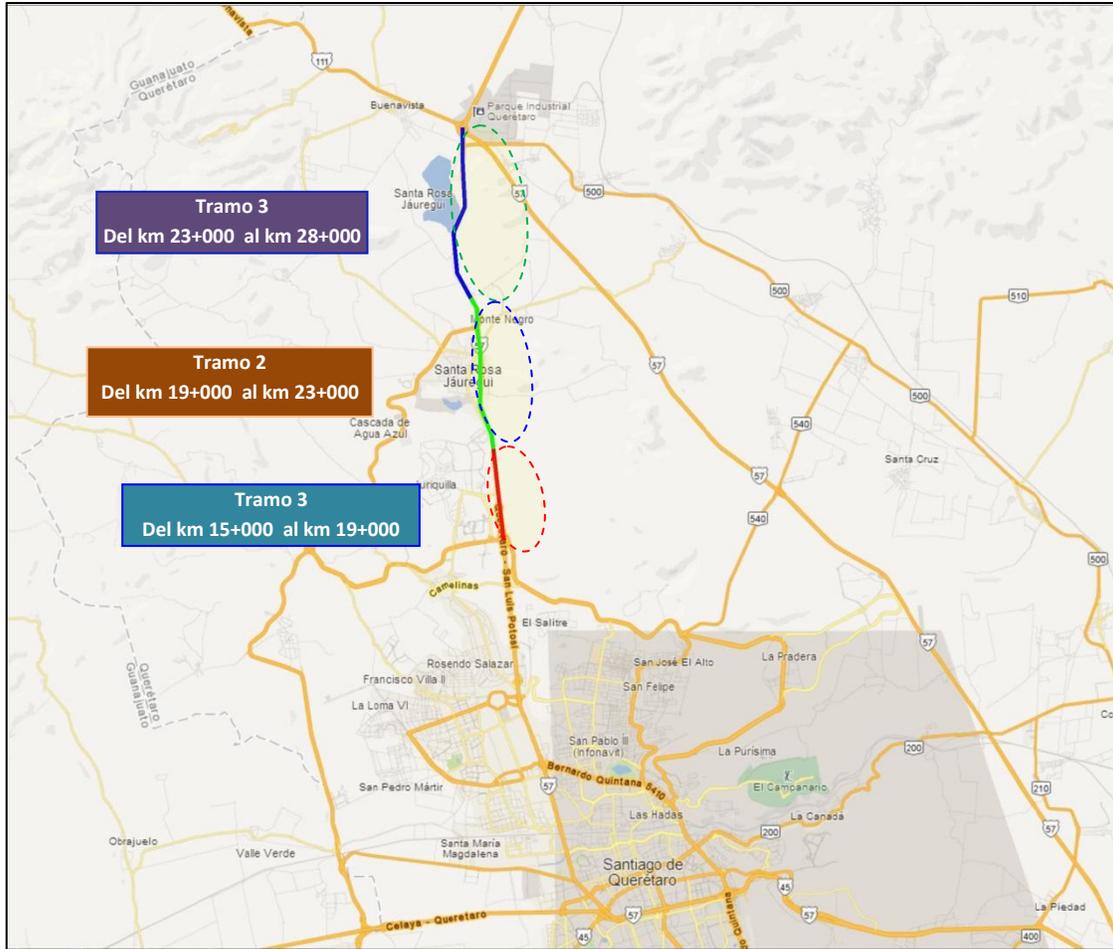
Aunque las características que presenta actualmente esta carretera son adecuadas se requiere su ampliación para darle continuidad a la sección que trae a partir del 0+000 al 15+000, con los carriles centrales y laterales que permita mejorar la operación en estos 13 km más de esta vialidad. Esto permitirá aumentar la capacidad y mejorar sustancialmente la operación de esta vía, la cual tiene una gran importancia dentro del Programa Nacional de Infraestructura ya que forma parte del corredor troncal México-Nuevo Laredo con Ramal a Piedras Negras.

La ampliación del Paseo de la República, en el tramo comprendido del km. 15+000 al Km. 28+000, son 13 km. que abarca el proyecto motivo de este estudio, es una acción importante por lo que representa dentro de la red de infraestructura del país, la cual, si bien es cierto no presenta problema graves de congestionamiento del tránsito ni de capacidad en este momento, sí presenta una desventaja ya que este eje carretero actualmente se está modernizando con la ampliación de su sección y sería poco práctico para su operación que el tramo del km. 15+000 al Km. 28+000 no se modernizara ampliando la sección.

La importancia de este eje carretero radica en el hecho de que más del 36% del total de la actividad de Comercio Internacional entre México y Estados Unidos cruza por Nuevo Laredo. La importación y exportación comercial e industrial entre México y Estados Unidos requiere de una infraestructura compleja y suficiente que facilite el flujo de mercancías entre estos dos países, ya que el puerto internacional de Nuevo Laredo se considera como

el más importante en comercio internacional por tierra de América, en donde diariamente cruzan más de 3,000 camiones

**Figura 12. Ubicación del proyecto**



## **PLANEACIÓN ESTRATÉGICA**

Objetivo: Contar con una infraestructura de transporte que se refleje en menores costos para la realización de la actividad económica.

Estrategia: Modernizar, ampliar y conservar la infraestructura de los diferentes modos de transporte, así como mejorar su conectividad bajo criterios estratégicos y de eficiencia.

### **LÍNEAS DE ACCIÓN:**

Fomentar que la construcción de nueva infraestructura favorezca la integración logística y aumente la competitividad derivada de una mayor interconexión.

Evaluar las necesidades de infraestructura a largo plazo para el desarrollo de la economía, considerando el desarrollo regional, las tendencias demográficas, las vocaciones económicas y la conectividad internacional, entre otros.

### **SECTOR CARRETERO:**

Consolidar y/o modernizar los ejes troncales transversales y longitudinales estratégicos y concluir aquellos que se encuentren pendientes.

Modernizar las carreteras interestatales.

Llevar a cabo la construcción de libramientos, incluyendo entronques, distribuidores y accesos.

Realizar obras de conexión y accesos a nodos logísticos que favorezcan el tránsito intermodal.

Garantizar una mayor seguridad en las vías de comunicación a través de mejores condiciones físicas de la red y sistemas inteligentes de transporte.

**Figura 13. Ubicación en la red de carreteras**



**CALENDARIO DE ACTIVIDADES**

Actividad	2013	2014
Proyecto ejecutivo	Julio	
Proceso de licitación	Agosto	
Construcción	Septiembre - Diciembre	Enero - Diciembre
Inicio de operaciones		Diciembre

## MONTO TOTAL DE INVERSION

<b>Monto total de inversión</b>	
<b>Componentes/Rubros</b>	<b>Monto de inversión</b>
Terracerías y obras complementarias	316.55
Drenaje.	17.59
Subestructura.	70.35
Superestructura.	175.86
Señalamiento	5.86
<b>Subtotal de Componentes/Rubros</b>	<b>586.21</b>
<b>Impuesto al Valor Agregado</b>	<b>93.79</b>
<b>Otros Impuestos</b>	
<b>Subtotal de Impuestos</b>	<b>93.79</b>
<b>Total</b>	<b>680.00</b>

## FUENTES DE FINANCIAMIENTO

<b>Fuente de los recursos</b>	<b>Procedencia</b>	<b>Monto</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>1. Federales</b>	100%	586.21	100%
<b>2. Estatales</b>			
<b>3. Municipales</b>			
<b>4. Fideicomisos</b>			
<b>5. Otros</b>			
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>586.21</b>	<b>100%</b>

## CAPACIDAD INSTALADA

La sección actual de la carretera, considerando los criterios del manual de capacidad de carreteras es de 3,600 vehículos por hora, aunque por la composición vehicular que se tiene esta capacidad pudiera tener un límite de 2,400 vehículos por hora. Con la ampliación que se propone, debido a que operarán dos carriles más por sentido, donde

hay pocas limitaciones para el rebase, se tendrá una capacidad ideal de 7,200 vehículos por hora, misma que se ve afectada, en menor medida por el tipo de vehículo.

**METAS ANUALES Y TOTALES DE PRODUCCIÓN**

Las metas físicas esperadas en el periodo de ejecución del proyecto son las siguientes:

En el año 2013 se construirá el cuerpo de terraplén, la capa subrasante, capa de base hidráulica y carpeta asfáltica, se realizarán obras de drenaje y colocación de señalamiento horizontal y vertical, en 3.0 km, inicio de la construcción del entronque Cinvestav y el Paso Superior Vehicular (PSV) Santa Rosa de Jáuregui – La Solana Colado, con la colocación de pilas, y construcción en sitio de 4 pilas de 1.2 metros de diámetro por 8 metros de profundidad para la cimentación formación de estribos y solicitud de fabricación de 6 traves tipo cajón presforzadas.

En el año 2014 se construirá el cuerpo de terraplén, la capa subrasante, capa de base hidráulica y carpeta asfáltica, se realizarán obras de drenaje y colocación de señalamiento horizontal y vertical, en 10.0 km subsecuentes, se continuará con la construcción del entronque Cinvestav y el PSV Santa Rosa de Jáuregui – La Solana con la construcción de pila de concreto armado colocación de 8 traves tipo cajón, colocación de losa de concreto, excavación para rampas y PSV, construcción de muros para rampas y estribos. Construcción de cuerpo de terraplén, terracerías, capa subrasante, capa hidráulica, carpeta asfáltica, montaje de Estructuras.

**VIDA ÚTIL**

Vida útil del Programa y Proyecto de Inversión (PPI)	
Vida útil en años	El horizonte de evaluación del proyecto es de 31 años, en tanto que la vida útil del proyecto es por un periodo de 29 años, debido a que los dos primeros años son para su construcción.

## **DESCRIPCIÓN DE LOS ASPECTOS MAS RELEVANTES**

### **ESTUDIOS TÉCNICOS**

Técnicamente, el proyecto ejecutivo se encuentra en proceso de acuerdo a la información proporcionada por el Centro SCT de Querétaro, el cual será revisado por la SCT federal por para contar con la aprobación correspondiente.

### **ESTUDIOS LEGALES**

En el ámbito jurídico, se cuenta con la liberación del derecho de vía ya que el proyecto se encuentra sobre el trazo actual. Asimismo, el procedimiento de contratación, ejecución y control de las obras se llevará a cabo con base en lo establecido en la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas (LOPSRM).

Actualmente no existen aspectos legales que impidan llevar a término el proyecto, toda vez que se cuenta con los documentos que acreditan la propiedad de los terrenos sobre los cuales se realizarán las obras.

### **ESTUDIOS AMBIENTALES**

En el aspecto ambiental, el proyecto cuenta con la autorización por parte de la SEMARNAT en materia de impacto ambiental para su desarrollo; también se cuenta con los permisos para el cambio de uso de suelo por parte de la SEMARNAT con la autorización del Instituto Nacional de Antropología e Historia, autorizaciones que incluyen los terrenos para la construcción de la gasa para los entronques.

Cabe señalar que no se va impactar al medio ambiente por el momento ya que el proyecto se realizará sobre el trazo actual y dentro del derecho de vía existente.

### **III. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN**

#### **SITUACIÓN SIN EL PROYECTO**

De no realizarse el proyecto de ampliación y modernización del Paseo de la República en los próximos años, la SCT deberá realizar algunas acciones que permitan mejorar las condiciones de circulación.

#### **OPTIMIZACIONES**

Dentro de las acciones a realizar en caso de no llevar a cabo el proyecto, se contempla la realización de correcciones geométricas, mejoramiento del señalamiento y del pavimento. Sin embargo con estas acciones no se soluciona la necesidad de mejoría de la infraestructura en la zona, ya que las velocidades de operación optimizadas y el tiempos de recorrido no se consideran adecuadas para lograr un nivel de servicio eficiente, además, el usuario que se desplaza por carreteras federales (fuera de las ciudades) busca continuidad, comodidad, seguridad y rapidez en su viaje, lo cual no se logra en la situación actual optimizada. El pavimento se encuentra en buenas condiciones con un IRI( ver anexo 1) de 3.5 m/km. Ver tabla 4.

**Tabla 4. Situación actual optimizada**

Tramo	Acciones por realizar	Velocidad (km/hr)	No. de carriles	Estado físico	Acotamientos
1.- Tramo 1 del km 15+000 al km 19+000	Correcciones geométricas y mejoramiento del señalamiento y pavimento en los entronques ubicados en los km 15+510, 17+785, 18+975.	60.0	4	Bueno	Si
2.- Tramo 2 del km 19+000 al km 23+000	Correcciones geométricas y mejoramiento del señalamiento y pavimento en los entronques ubicados en los km 19+000.	65.0	4	Bueno	Si
3.- Tramo 3 del km 23+000 al km 28+000	Mejoramiento del señalamiento y pavimento.	65.0	4	Bueno	Si

## ANÁLISIS DE LA OFERTA

En la situación optimizada se mejorarán marginalmente las condiciones de la infraestructura actual del Paseo de la República. A la falta de la ampliación de la sección, necesariamente obligará a los usuarios de transporte que circulan por la zona, a reducir la velocidad y extremar las precauciones, con soluciones sencillas.

Cabe destacar que actualmente, este tramo del Paseo de la República opera en un ancho de corona de 26.0 metros con 4 carriles de circulación de 3.5 metros, con acotamientos laterales de 1.0 metros cada uno, en terreno plano, lo que corresponde a una carretera tipo A4, con pavimento asfáltico en buenas condiciones, con un IRI de 3.5 m/km. La tabla 5 muestra las características físicas y operativas del tramo actual optimizado.

**Tabla 5. Datos de la oferta**

Concepto	Tramo 1 del km 15+000 al km 19+000	Tramo 2 del km 19+000 al km 23+000	Tramo 3 del km 23+000 al km 28+000
Longitud (km)	4.00	4.00	5.00
Tipo de carretera	A4	A4	A4
Número de carriles	4	4	4
Ancho de sección (m)	26	26	26
Tipo de terreno	Plano	Plano	Plano
Acotamientos	Si	Si	Si
Velocidad de operación (km/hr)	60	65	65
Estado Físico	Bueno	Bueno	Bueno
Índice de Rugosidad (IRI)	3.5	3.5	3.5

## ANÁLISIS DE LA DEMANDA

De acuerdo con un estudio de Ingeniería de Tránsito realizados en Marzo del 2013, que incluyó los aforos vehiculares, y aplicando el factor mensual a los aforos automáticos, obtenemos el TDPA para el 2013, en los tramos de estudio. Se obtuvo un TDPA en el Tramo 1 de 44,973 vehículos, con una composición vehicular de 84.6% de autos, el 3.4% de autobuses y el 12.0% de camiones de carga; para el Tramo 2 se obtuvo un TDPA para el 2013 de 39,112 vehículos diarios con una composición vehicular de 75.0% de autos, el 9.0% de autobuses y el 16.0% de camiones de carga, el Tramo 3 se obtuvo un TDPA para el 2013 de 36,378 vehículos diarios con una composición vehicular de 78.9% de autos, el 3.9% de autobuses y el 17.2% de camiones de carga.

De acuerdo a esto se analizó su capacidad vial y se obtuvo su nivel de servicio correspondiente para la situación optimizada. Ver tabla 6.

Para saber más acerca del nivel de servicio de una carretera , que es y cómo se evalúa, ver el anexo 3.

**Tabla 6. Demanda situación actual optimizada**

Tramo	TDPA	Autos	Autobuses	Camiones	Nivel de Servicio
Tramo 1 del km 15+000 al km 19+000	44,973	38,047	1,529	5,397	D
<i>Composición (%)</i>	100	84.6	3.4	12.0	
Tramo 2 del km 19+000 al km 23+000	39,112	29,334	3,520	6,258	C
<i>Composición (%)</i>	100	75.0	9.0	16.0	
Tramo 3 del km 23+000 al km 28+000	36,378	28,702	1,419	6,257	C
<i>Composición (%)</i>	100	78.9	3.9	17.2	

### DIAGNÓSTICO DE LA INTERACCIÓN OFERTA- DEMANDA

A partir de la TCMA obtenida, se estimó el tránsito futuro para el horizonte de evaluación y se realizó el análisis de capacidad con la interacción oferta y demanda en la situación optimizada, para conocer la problemática que se presentaría en caso de no realizarse el proyecto. De este análisis se observa que el Tramo 1 del km. 15+000 al km 19+000, el nivel de servicio es “D” el cual se encuentra deteriorado desde el inicio del análisis hasta el año 4, a partir del año 5 al año 7 la situación se agudiza con un nivel de servicio “E”, y a partir del año 8 y hasta final del horizonte de evolución el nivel de servicio se encuentra en un nivel de servicio “F” el cual se considera crítico.

Para el Tramo 2 del km 19+000 al km. 23+000, el nivel de servicio observado es “C”, desde el inicio del análisis hasta el año 2, a partir del año 3 al año 8 la situación se complica con un nivel de servicio “D”, a partir del año 9 al año 11 la situación observada es agravada con el nivel de servicio “E” y a partir del 12 hasta el final del horizonte la situación es crítica con un nivel de servicio “F”.

El Tramo 3 del km 23+000 al km. 28+000 el nivel de servicio observado es “C”, desde el inicio del análisis hasta el año 4, a partir del año 5 al año 10 la situación se complica pasando a un nivel de servicio “D”, a partir del año 11 al año 13 la situación observada es complicada ya que pasa a un nivel de servicio “E” y a partir del 14 hasta el final del horizonte la situación se complica aún más pasando al nivel de servicio “F” (ver tabla 7).

**Tabla 7. Interacción Oferta-Demanda en la situación actual optimizada**

Año		Tramo 1 del km 15+000 al km 19+000		Tramo 2 del km 19+000 al km 23+000		Tramo 3 del km 23+000 al km 28+000	
		TDPA	Nivel de Servicio	TDPA	Nivel de Servicio	TDPA	Nivel de Servicio
0	2012	44,973	D	39,112	C	36,378	C
1	2013	46,547		40,481		37,651	
2	2014	48,176		41,898		38,969	
3	2015	49,862		43,364	D	40,333	
4	2016	51,607		44,882		41,745	
5	2017	53,413	E	46,453		43,206	D
6	2018	55,282		48,079		44,718	
7	2019	57,217		49,762		46,283	
8	2020	59,220	F	51,504		47,903	
9	2021	61,293		53,307	E	49,580	
10	2022	63,438		55,173		51,315	
11	2023	65,658		57,104		53,111	E
12	2024	67,956		59,103	F	54,970	
13	2025	70,334		61,172		56,894	
14	2026	72,796		63,313		58,885	F
15	2027	75,344		65,529		60,946	
16	2028	77,981		67,823		63,079	
17	2029	80,710		70,197		65,287	
18	2030	83,535		72,654		67,572	
19	2031	86,459		75,197		69,937	
20	2032	89,485		77,829		72,385	
21	2033	92,617		80,553		74,918	
22	2034	95,859		83,372		77,540	
23	2035	99,214		86,290		80,254	
24	2036	102,686		89,310		83,063	
25	2037	106,280		92,436		85,970	
26	2038	110,000		95,671		88,979	
27	2039	113,850		99,019		92,093	
28	2040	117,835		102,485		95,316	
29	2041	121,959		106,072		98,652	
30	2041	126,228		109,785		102,105	

### ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Además de la alternativa seleccionada, se analizaron dos alternativas más. La posibilidad de una ampliación la sección actual con solo la construcción de acotamientos laterales de 2.50 metros de ancho, misma que cuenta con dos carriles por sentido de 3.5 metros de ancho; esta alternativa tendría un costo estimado de 120.0 millones de pesos y la segunda

opción que se analizó fue la posibilidad de una ampliación de sección a 8 carriles de circulación, distribuidos en 2 centrales y 2 laterales por sentido en cada cuerpo sobre el trazo actual y comprendería además la ampliación de los PSV de los km 21+400 y el ubicado en 20+600, además la construcción del entronque del CINVESTAV en el km 17+790 y el PSV en Santa Rosa de Jáuregui en el km 19+000. Esta alternativa tendría un costo aproximadamente 800 millones de pesos.

**Alternativa 1:** La posibilidad de una ampliación la sección actual con construir solo acotamientos laterales de 2.50 metros de ancho, quedando con los dos carriles por sentido de 3.5 metros de ancho y sus acotamientos. Esta alternativa tendría un costo estimado de 120.0 millones de pesos, que representan costos de inversión menores, pero se tendría una sobredemanda para el número de carriles al poco tiempo y los beneficios serían marginales

**Ventajas:**

- Menor inversión con respecto al presente estudio.
- Menor tiempo en la ejecución de la obra

**Desventajas:**

- Sobre demanda para el número de vehículos.
- Poca vida útil.
- Bajas capacidad de la vía.

**Alternativa 2:** La posibilidad de una ampliación de sección a 8 carriles de circulación, distribuidos en 2 centrales y 2 laterales por sentido en cada cuerpo sobre el trazo actual y comprendería además la ampliación de los PSV de los km 20+600 y el ubicado en km 21+400, además la construcción del entronque del CINVESTAV en el km 17+790 y el PSV en Santa Rosa de Jáuregui en el km 19+000. Esta alternativa tendría un costo aproximadamente 800 millones de pesos, lo que representaría un costo de inversión mayor y se tendría una sobreoferta para el número de vehículos que transitan por el Paseo de la República.

**Ventajas:**

- Mayores velocidades de operación.
- Mayor comodidad para los conductores.

**Desventajas:**

- Mayor inversión con respecto al presente estudio.
- Sobre oferta en el número de carriles.
- Mayor tiempo de ejecución de la obra.

Se tendría que invertir en afectaciones y derecho de vía.

**Alternativa 3:** Se contempla ampliar la sección pasando de 4 a 12 carriles, 6 centrales y 6 laterales, 3 por sentido de circulación, que brinde una mayor capacidad, mejore los niveles de servicio, así como mayor seguridad a los usuarios en el tramo comprendido entre el kilómetro 15 + 000 al 28 + 000.

Esta alternativa resulta ser la más viable y la que se eligió siendo este proyecto el principal estudio en esta tesis, esto tomando en cuenta que tiene más ventajas y más beneficios, los cuáles veremos a continuación.

## **SITUACIÓN CON EL PROYECTO**

### **DESCRIPCION GENERAL**

El proyecto consiste en la ampliación de la sección del tramo actual del Paseo de la República, en un tramo de 13 kilómetros, que comprende de Juriquilla ubicada en el kilómetro 15+000 a la desviación a San Miguel de Allende en el kilómetro 28+000.

Pasará del kilómetro 15+000 al kilómetro 22+955, de un carretera de 4 a 6 carriles, tres carriles centrales y tres laterales por sentido de circulación de ancho de 3.5 metros cada uno, con acotamientos lateral de 1.0 metros e internos de 0.5 metros, el acotamiento para los carriles laterales será de 2.5 metros e internos de 0.5 metros, separados por una faja central de ancho variable.

A partir del kilómetro 22+955 al 28+000 contará con tres carriles centrales y dos laterales por sentido de circulación, el de ancho de los carriles será de 3.5 metros, los carriles centrales contará con acotamiento lateral de 1.0 metros e interno de 0.5 metros, mientras que los carriles laterales tendrán un acotamiento lateral e interno de 0.5 metros de ancho. Para el mejor funcionamiento de la carretera se requiere la construcción del entronque ubicado en el km 17+790 conocido como CINVESTAV y el PSV del km 19+000 Santa Rosa de Jáuregui-La Solana. Las características del tramo se presentan en la tabla 8.

El pavimento para ambos tramos de ampliación estará formado por un cuerpo de terraplén de espesor variable compactada al 90% de su peso volumétrico con la prueba Marshall . Sobre el cuerpo de terraplén se construirá una capa subyacente de 0.5 metros de espesor compactada al 95% de su peso volumétrico seco máximo con prueba Marshall, sobre el cual se construirá una capa subrasante de 0.3 metros de espesor compactada al 100% de su peso volumétrico seco máximo AASHTO estándar , para conformar las terracerías. A continuación se construirá una capa de base hidráulica de 0.3 metros de espesor compactada al 100% de su peso volumétrico seco máximo AASHTO estándar, sobre la cual se construirá la carpeta asfáltica con espesor de 0.1 metro compactada al

95% de su peso volumétrico con prueba Marshall. Los costos de los componentes del proyecto se muestran en la tabla 9.

Además incluye la construcción de 3 entronques, los cuales consistirán de cuatro carriles, dos por sentido de circulación, de 3.5 metros de ancho, acotamientos internos de 1.0 metro de ancho y acotamientos laterales de 2.5 metros de ancho, dando una sección total de 22.3 metros. Las rampas serán a base de tierra armada compactada, la subestructura constará de zapatas aisladas para los estribos y las pilas, las cuales estarán piloteadas. Estas zapatas soportarán columnas de 1.5 metros de diámetro, sobre las cuales se construirá un cabezal de 22x1.5x1.8, que a su vez soportarán 14 traveses tipo AASHTO de 1.35 metros de peralte, sobre la cual se apoyará una losa de concreto armado de 0.2 metros de espesor y sobre esta se colocará una carpeta asfáltica de 8 cm de espesor.

El proyecto tiene contemplado la ampliación de las obras de drenaje, reubicación de instalaciones y señalamiento vertical y horizontal. Ver figuras (14-17).

**Tabla 8. Componentes del proyecto**

Concepto	Tramo 1 del km 15+000 al km 19+000	Tramo 2 del km 19+000 al km 23+000	Tramo 3 del km 23+000 al km 28+000
Longitud (km)	4.0	4.0	5.0
Tipo de carretera	Urbana de 12 carriles, 3 centrales y 3 laterales por sentido	Urbana de 12 carriles, 3 centrales y 3 laterales por sentido	Urbana de 10 carriles, 3 centrales y 2 laterales por sentido
Número de carriles	12	12	10
Ancho de sección (m)	78.65	78.65	52.50
Tipo de terreno	Plano	Plano	Plano
Velocidad de proyecto (km/hr)	90.0	90.0	90.0
Estado físico	Bueno	Bueno	Bueno
Índice de Rugosidad	2.50	2.50	2.50

**Tabla 9. Costos de los Componentes del proyecto**

Concepto	Costo (mdp)
Terracerías y obras complementarias	316.55
Drenaje.	17.59
Subestructura.	70.35
Superestructura.	175.86
Señalamiento	5.86
<b>Total</b>	<b>586.21</b>

**Figura 14. Sección transversal del proyecto del km 15+000 al 23+000**

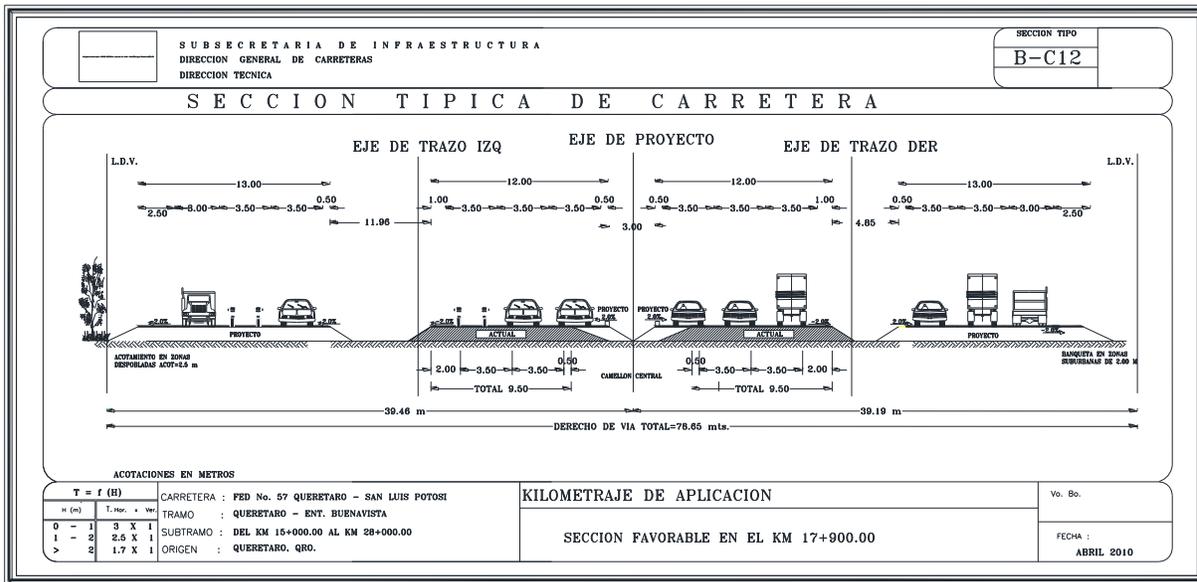


Figura 15. Sección transversal del proyecto del km 23+000 al 28+000

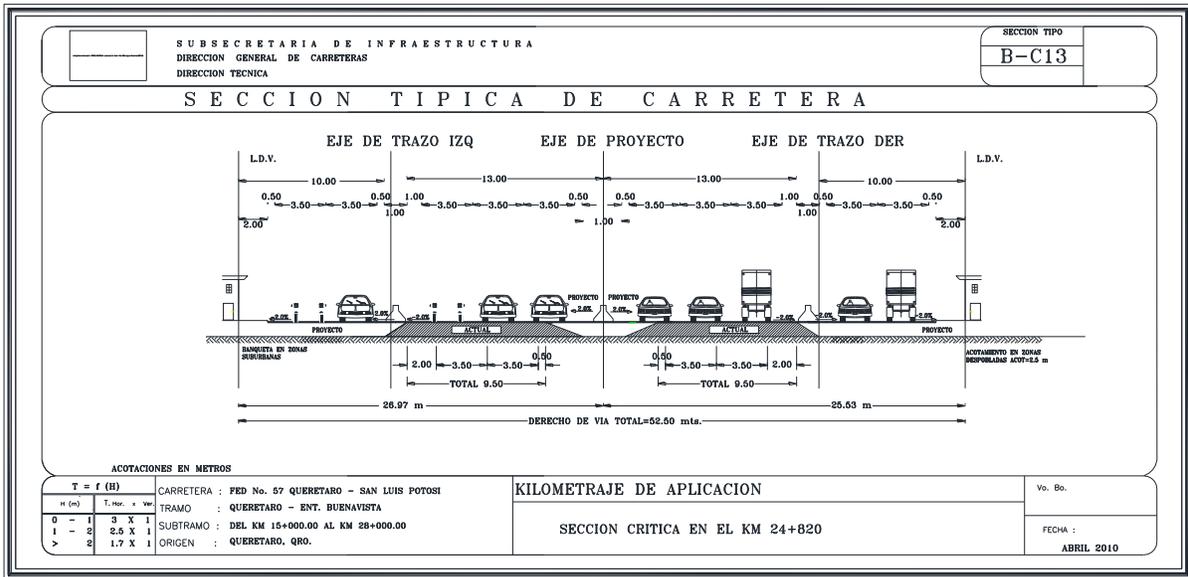
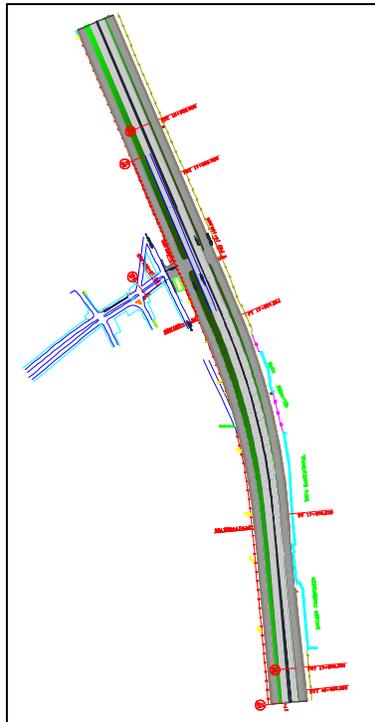
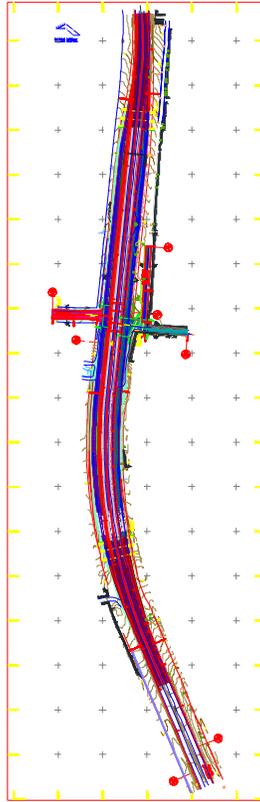


Figura 16. Planta general del entronque Cinvestav km 17+790



**Figura 17. Planta general del PSV Santa Rosa de Jáuregui km 19+000**



\*En cuanto a los costos de construcción y conservación depende del nivel al que se encuentra el proyecto; es decir, si se tiene a nivel perfil, se utilizan los costos índice por tipo de obra por tipo de terreno, los cuales se multiplican por la longitud aproximada; si se cuenta con el proyecto ejecutivo, los costos se calculan mediante la multiplicación de los precios unitarios de cada componente por el volumen de obra a realizar, cuyo costo se estima en \$586.21 (Quinientos ochenta y seis millones de pesos, **sin incluir el IVA**) los cuales se aplicaran en los siguientes conceptos:

Concepto	Costo (mdp)
Terracerías y obras complementarias	316.55
Drenaje.	17.59
Subestructura.	70.35
Superestructura.	175.86
Señalamiento	5.86
<b>Total</b>	<b>586.21</b>

Los costos por mantenimiento y conservación que se ejercerán durante la vida útil del proyecto son los siguientes: (i) mantenimiento rutinario, por **\$5,226,000** pesos por año, lo que incluye básicamente la limpieza general y reparación de pequeños desperfectos de la superficie de rodamiento del tramo por año desde el inicio de operaciones; (ii)

conservación periódica, que incluye bacheo general y riego de sello por **\$25,404,000** pesos cada 4 años, y una sobrecarpeta por **\$140,160,000** pesos cada 8 años; (iii) reconstrucción, que consiste en reparar y reponer toda la estructura del pavimento por **\$385,440,000** pesos cada 15 años.

Los costos totales por operación vehicular se presentan para las situaciones sin proyecto con un costo de **\$1,206,996,000** pesos y en situación con proyecto con un costo de **\$1,147,034,000** pesos, obteniendo un beneficio por **\$59,962,000** pesos para el primer año de operación del proyecto.

### **ANÁLISIS DE LA OFERTA**

La modernización de ampliar la sección transversal del Paseo de la República en una longitud de 15.00 kilómetros que comprende el tramo del entronque Juriquilla a la desviación a San Miguel de Allende, ubicado en el km 15+000 al km 28+000, pasando del tipo de carretera A4 a una vía urbana de 12 carriles, 6 carriles centrales y 6 laterales divididos en dos y acotamientos laterales de 1.0 metros de ancho e internos de 0.50 metros de ancho, esta sección es de 78.65 metros y se conserva del km 15+000 al km 23+000, a partir del km 23+000 y hasta el km 28 la sección es de 52.50 metros, para alojar 10 carriles, 6 carriles centrales y 4 laterales divididos en dos cuerpos y acotamientos laterales de 1.0 metro de ancho e internos de 0.50 metros de ancho . Las características del tramo se presentan en la tabla 10 a continuación.

**Tabla 10. Componentes del proyecto**

<b>Concepto</b>	<b>Tramo 1 del km 15+000 al km 19+000</b>	<b>Tramo 2 del km 19+000 al km 23+000</b>	<b>Tramo 3 del km 23+000 al km 28+000</b>
Longitud (km)	4.0	4.0	5.0
Tipo de carretera	Urbana de 12 carriles, 3 centrales y 3 laterales por sentido	Urbana de 12 carriles, 3 centrales y 3 laterales por sentido	Urbana de 10 carriles, 3 centrales y 2 laterales por sentido
Número de carriles	12	12	10
Ancho de sección (m)	78.65	78.65	52.50
Tipo de terreno	Plano	Plano	Plano
Velocidad de proyecto (km/hr)	90.0	90.0	90.0
Estado físico	Bueno	Bueno	Bueno
Índice de Rugosidad	2.50	2.50	2.50

## ANÁLISIS DE LA DEMANDA

La demanda considerada para la situación con proyecto, se tiene un TDPA en el Tramo 1 de 44,973 vehículos, con una composición vehicular de 84.6% de autos, el 3.4% de autobuses y el 12.0% de camiones de carga; para el Tramo 2 se obtuvo un TDPA para el 2013 de 39,112 vehículos diarios con una composición vehicular de 75.0% de autos, el 9.0% de autobuses y el 16.0% de camiones de carga, el Tramo 3 se obtuvo un TDPA para el 2013 de 36,278 vehículos diarios con una composición vehicular de 78.9% de autos, el 3.9% de autobuses y el 17.2% de camiones de carga.

A partir de la demanda identificada por los estudios de tránsito se analizó su capacidad vial y se obtuvo su nivel de servicio correspondiente. Ver tabla 11.

**Tabla 11. Demanda del proyecto**

Tramo	TDPA	Autos	Autobuses	Camiones	Nivel de Servicio
Tramo 1 del km 15+000 al km 19+000	44,973	38,047	1,529	5,397	B
<i>Composición (%)</i>	100	84.6	3.4	12.0	
Tramo 2 del km 19+000 al km 23+000	39,112	29,334	3520	6,258	A
<i>Composición (%)</i>	100	75.0	9.0	16.0	
Tramo 3 del km 23+000 al km 28+000	36,378	28,702	1,419	6,257	A
<i>Composición (%)</i>	100	78.9	3.9	17.2	

## INTERACCIÓN OFERTA-DEMANDA

De acuerdo con la TCMA considerada del 3.5% anual, se pronosticó la demanda al horizonte de evaluación y se realizó el análisis de capacidad del proyecto, el cual indica que permitirá atender la demanda en el horizonte de planeación con un nivel de servicio

óptimo hasta después del año 30 en los tres tramos considerados en esta evaluación, tal como se muestra en la tabla 12.

Como puede apreciarse, en la condición ideal se está duplicando la capacidad de la carretera con la obra propuesta, lo que significa mantener un buen nivel de servicio durante todo el horizonte de evaluación del proyecto.

De este análisis se deriva que los tramos en que fue dividido el Paseo de la República, presentan condiciones adecuadas de operación en la situación con proyecto ya que el nivel de servicio observado desde el inicio de operaciones en el Tramo 1 presenta un nivel de servicio "B" y los tramos 2 y 3 presentan desde el inicio un nivel de servicio "A", lo que significa, que los usuarios considerados de forma individual se encuentran ajenos a los efectos de la presencia de otros usuarios en la circulación: en esta situación poseen alta libertad para seleccionar su velocidad y maniobrar dentro del tránsito, existe un nivel general de comodidad y conveniencia proporcionada por la circulación es excelente.

De este análisis se observa que el Tramo 1 del km. 15+000 al km 19+000, el nivel de servicio al inicio de la operación es "B" el cual se encuentra en buenas condiciones desde el inicio del análisis hasta el año 9, a partir del año 10 al año 16 la situación cambia a un nivel de servicio "C", a partir del año 17 al año 19 el nivel de servicio se deteriora pasando a un nivel de servicio "D" y del año 20 al año 24 la situación se agudiza más al pasar al nivel de servicio "E", y a partir del año 25 y hasta final del horizonte de evolución el nivel de servicio se encuentra en un nivel de servicio "F" el cual se considera crítico.

Para el Tramo 2 del km 19+000 al km. 23+000, el nivel de servicio observado es "A", desde el inicio del análisis hasta el año 6, a partir del año 7 al año 14 la situación se cambia a un nivel de servicio "B", a partir del año 15 al año 20 la situación se comienza a deteriorar a un nivel de servicio "C" y a partir del 21 al año 23, la situación cambia a un nivel de servicio "D", del año 23 al año 28 la situación se agudiza más al pasar al nivel de servicio "E" y a partir del año 29 y hasta el final del horizonte la situación es crítica con un nivel de servicio "F"

El Tramo 3 del km 23+000 al km. 28+000 el nivel de servicio observado es "A", desde el inicio del análisis hasta el año 8, a partir del año 9 al año 16 la situación se cambia a un nivel de servicio "B", a partir del año 17 al año 22 la situación se comienza a deteriorar a un nivel de servicio "C" y a partir del 23 al año 25, la situación cambia a un nivel de servicio "D" y a partir del año 26 y hasta el final del horizonte la situación es crítica con un nivel de servicio "E".

**Tabla 12. Análisis de capacidad**

Año		Tramo 1 del km 15+000 al km 19+000		Tramo 2 del km 19+000 al km 23+000		Tramo 3 del km 23+000 al km 28+000	
		TDPA	Nivel de Servicio	TDPA	Nivel de Servicio	TDPA	Nivel de Servicio
0	2012	44,973	B	39,112	A	36,378	A
1	2013	46,547		40,481		37,651	
2	2014	48,176		41,898		38,969	
3	2015	49,862		43,364		40,333	
4	2016	51,607		44,882		41,745	
5	2017	53,413		46,453		43,206	
6	2018	55,282		48,079		44,718	
7	2019	57,217		49,762	B	46,283	
8	2020	59,220		51,504		47,903	
9	2021	61,293		53,307		49,580	B
10	2022	63,438	C	55,173		51,315	
11	2023	65,658		57,104		53,111	
12	2024	67,956		59,103		54,970	
13	2025	70,334		61,172		56,894	
14	2026	72,796		63,313		58,885	
15	2027	75,344		65,529	C	60,946	
16	2028	77,981		67,823		63,079	
17	2029	80,710	D	70,197		65,287	C
18	2030	83,535		72,654		67,572	
19	2031	86,459		75,197		69,937	
20	2032	89,485	E	77,829		72,385	
21	2033	92,617		80,553	D	74,918	
22	2034	95,859		83,372		77,540	
23	2035	99,214		86,290		80,254	D
24	2036	102,686		89,310	E	83,063	
25	2037	106,280	F	92,436		85,970	
26	2038	110,000		95,671		88,979	E
27	2039	113,850		99,019		92,093	
28	2040	117,835		102,485		95,316	
29	2041	121,959		106,072	F	98,652	
30	2041	126,228		109,785		102,105	

## EVALUACIÓN DEL PPI

### IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE COSTOS DEL PPI

Durante la etapa de operación, se consideran los costos de mantenimiento y conservación, y que corresponden a lo siguiente: (i) mantenimiento rutinario, que incluye básicamente la limpieza general y reparación de pequeños desperfectos de la superficie de rodamiento del tramo por año desde el inicio de operaciones; (ii) conservación periódica, que incluye bacheo general y riego de sello cada 4 años con una sobrecarpeta cada 8 años; (iii) reconstrucción, que consiste en reparar y reponer toda la estructura del pavimento cada 15 años. La tabla 13 presenta los costos de mantenimiento y conservación considerados para las situaciones sin y con proyecto, de acuerdo a las frecuencias indicadas.

**Tabla 13 . Mantenimiento y Conservación (Millones de Pesos/año (MDP/año))**

Situación	Longitud (km)	Rutinario	Periódica		Reconstrucción
			Bacheo general y riego de sello	Sobrecarpeta	
<b>Ruta Actual Sin Proyecto</b>	<b>13.00</b>				
Tramo 1 del km 15+000 al km 19+000	4.00	480	2,320	12,800	35,200
Tramo 2 del km 19+000 al km 22+300	4.00	480	2,320	12,800	35,200
Tramo 3 del km 22+300 al km 30+000	5.00	600	2,900	16,000	44,000
<b>Ruta Actual Con Proyecto</b>	<b>13.00</b>				
Tramo 1 del km 15+000 al km 19+000	4.00	1728	8,352	46,080	126,720
Tramo 2 del km 19+000 al km 22+300	4.00	1728	8,352	46,080	126,720
Tramo 3 del km 22+300 al km 30+000	5.00	1800	8,700	48,000	132,000

## IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE BENEFICIOS.

Los beneficios del proyecto se estimaron en función de dos fuentes: (i) ahorro en tiempo de viaje de los usuarios y (ii) ahorros en costo de operación vehicular.

### AHORRO EN TIEMPO DE VIAJE

Para la estimación de los beneficios por este concepto, se requiere como primer insumo fundamental las velocidades a las que transitan los vehículos usuarios de la red de análisis y con ellas determinar los tiempos de recorrido en las situaciones con y sin proyecto.

El segundo insumo importante es el valor económico del tiempo de los usuarios. Estos valores se tomaron de la información proporcionada Dirección General de Carreteras, de la SCT. De acuerdo con el SCT el valor del tiempo de los pasajeros que viajan por motivo de trabajo es de \$35.90 y por motivo de placer de \$21.54 pesos por hora, actualizado a 2013. Con base en información obtenida por la SCT en encuestas origen-destino, se considera que en promedio un 64.3% de los pasajeros viaja con motivo de trabajo y un 35.7% con motivo de placer, tanto para automóvil como para autobús. La configuración del valor del tiempo de los usuarios que se empleó se muestra en la tabla 14 siguiente.

**Tabla 14. Parámetros para estimar el valor del tiempo**

Concepto	Valor	Unidad
Valor del tiempo viaje de trabajo	35.90	\$/hr
Valor del tiempo viaje de placer	21.54	\$/hr
Porcentaje de viajeros por motivo de trabajo	64.3	%
Número de pasajeros auto	2.20	pas/veh
Número de pasajeros autobús	19.3	pas/veh
Valor del tiempo de la carga	15.00	\$/hr/ton
Toneladas promedio	17.64	ton/veh

Los beneficios anuales por ahorro en tiempo de viaje se obtienen con la diferencia de los costos por tiempo de viaje para cada situación, sin y con proyecto. El costo por tiempo de viaje toma en cuenta el volumen de vehículos diario (TDPA) para autos, autobuses y camiones, el número de pasajeros promedio por tipo de vehículo y el valor del tiempo de los usuarios, elevado al año (365 días) para cada situación (con y sin proyecto). Se calculan los beneficios por ahorro en tiempo de viaje año por año para los 30 años del horizonte del proyecto.

En la tabla 15 se muestran los resultados del proceso de cálculo de los ahorros por tiempo de recorrido para cada tipo de vehículo (A, B y C), en las condiciones sin y con proyecto. Como se puede apreciar el costo por tiempo de viaje en la condición sin proyecto es mayor que en la condición con proyecto, esto es en términos económicos un ahorro.

**Tabla 15. Beneficios por ahorro en tiempo de viaje para el primer año de operación del proyecto.**

Costos (MDP)	Sin Proyecto	Con Proyecto	Beneficios
Por tiempo de viaje del tránsito	455,137	301,449	153,688

## AHORRO EN COSTOS DE OPERACIÓN VEHICULAR

Los costos de operación vehicular unitarios se obtuvieron empleando el submodelo denominado Vehicle Operating Cost (VOC) que es parte del modelo Highway Development and Management (HDM4) desarrollado por el Banco Mundial. Los insumos básicos para las corridas del VOC consideraron los valores reportados por el IMT sobre las características técnicas de los vehículos que operan en México, así como de las características representativas de las carreteras en México para los diferentes tipos de terreno: plano, lomerío y montañoso. Los parámetros con los que se alimentó el VOC son los que se muestran en la tabla 16.

**Tabla 16. Parámetros para obtener los costos de operación vehicular**

PARÁMETRO	UNIDAD	Automóvil	Autobús	Camión
<b>Costos unitarios</b>				
Precio del vehículo nuevo	\$	212,152.00	2'080,852.00	1'085,955.00
Costo del combustible	\$/litro	10.09	10.45	10.45
Costo de los lubricantes	\$/litro	25.50	25.12	25.12
Costo por llanta nueva	\$/llanta	883.10	2,653.02	2,475.25
Tiempo de los operarios	\$/hora	22.97	65.78	52.73
Tiempo de los pasajeros	\$/hora	0.000	0.000	0.000
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	21.70	56.42	37.43

Para la situación actual optimizada sin proyecto se consideró una calidad de la superficie de rodamiento correspondiente a la meta del promedio nacional de la red federal de carreteras, así como la eliminación de los reductores de velocidad, y un señalamiento horizontal y vertical en buen estado.

Los beneficios anuales por este concepto se obtienen con la resta de los costos de operación vehicular anuales totales de la situación sin proyecto menos los correspondientes a la situación con proyecto, año por año para los 30 años del horizonte del proyecto. Los costos de operación vehicular anuales se obtienen por tipo de vehículo y se encuentran en las hojas de cálculo anexas.

La tabla 17 presenta los costos totales de operación vehicular para las situaciones sin y con proyecto, para el primer año de operación del proyecto.

**Tabla 17. Beneficios por ahorro en costos de operación para el primer año de operación del proyecto**

Costos (MDP)	Sin proyecto	Con Proyecto	Beneficios
Operación vehicular del tránsito	1,206,996	1,147,034	59,962

La evaluación económica del proyecto se realizó a nivel prefactibilidad, utilizando velocidades de operación para la situación con proyecto estimadas y costos de obra a partir de precios índice, bajo las siguientes premisas:

- En la situación sin proyecto se considera la situación actual optimizada en cuanto a la calidad de la superficie de rodamiento, eliminación de reductores de velocidad, buen estado físico del señalamiento horizontal y vertical, y una tasa de crecimiento del tránsito conservadora del 3.5% anual durante el periodo de análisis.
- En la situación con proyecto se consideraron las características geométricas indicadas en la descripción del proyecto. No se incluyen los costos por molestias a los conductores durante las obras; la obra se realizará por etapas, lo cual reducirá las molestias a los conductores.

La tabla 18 resume el valor de los parámetros básicos utilizados para llevar a cabo la evaluación económica del proyecto.

**Tabla 18. Parámetros para la evaluación económica**

Carretera	Longitud (km)	TDPA	Composición Vehicular (%)			Inversión (mdp)
			Automóviles	Autobuses	Camiones	
Tramo 1 del km 15+000 al km 19+000	4.0	44,973	38,047	1,529	5,397	586.21
Tramo 2 del km 19+000 al km 23+000	4.0	39,112	29,334	3520	6,258	
Tramo 3 del km 23+000 al km 28+000	5.0	36,378	28,702	1,419	6,257	

## CÁLCULO DE LOS INDICADORES DE RENTABILIDAD

Indicadores de Rentabilidad	
Indicador	Valor
Valor Presente Neto (VPN)	<b>1'335,077,945.37 Pesos.</b>
Tasa interna de retorno (TIR)	<b>32.5%</b>
Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI)	<b>34.0%</b>

## ANÁLISIS DE RIESGOS

Descripción	Impacto
Disponibilidad de la totalidad de recursos presupuestales para construcción de la obra en el tiempo previsto	Atraso en los tiempos de entrega de la obra
La demanda social de obras adicionales al momento de la construcción	Falta de continuidad estratégica del proyecto
Retrasos en la entrega por problemas técnicos y fenómenos inflacionarios, los cuales	Incrementar su costo y los tiempos de ejecución.

## IV. DISEÑO DE PAVIMENTO

### DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR EL MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM, se ha basado en la tipificación de tránsito y en los coeficientes de daño de los diferentes tipos de vehículos, que pueden obtenerse a partir de las pruebas AASHTO, para obtener su propia tabla de tipificación y sus propios coeficientes de daño. Con base en experiencias realizadas en la pista circular de pruebas y en el estudio de comportamientos en tramos experimentales que la propia institución controla en diversos puntos de la red mexicana de carreteras, el Instituto diversificó un tanto la evaluación de daños producidos por los diferentes vehículos en los pavimentos, distinguiéndolos en profundidades de 0, 15, 22.5 y 30 cm.

#### 1.- Cálculo del tránsito equivalente acumulado (S L)

El volumen del tránsito real mezclado (TDPA) se convierte a tránsito equivalente de ejes sencillos de 8.2 toneladas, mediante la aplicación adecuada de los coeficientes de daño por tránsito para vehículos tipo.

En la siguiente tabla 19 se representa el procedimiento para transformar el tránsito mezclado al correspondiente tránsito equivalente a ejes sencillo de 8.2 Ton. Referido al carril de diseño, en esta tabla se consideran que todos los vehículos transitan cargados en ambas direcciones.

**Tabla 19. Transformación del tránsito mezclado a ejes sencillos de 8.2 ton**

1	2	3	4	5	6
Tipo de vehículo	TDPA	Coeficiente de distribución	Número de vehículos en el carril de diseño	Coeficiente de diseño Z=0 Z=15	Número de ejes 8.2 Ton Z=0 Z=15
<b>Total To T'ó</b>					

A continuación tenemos una explicación un poco más clara de lo que significa cada columna en la tabla 19.

**Columna 1**

Tipos de vehículos que transitarán por el camino, los diferentes tipos de vehículos y su clasificación se encuentran explicados en el anexo 4.

**Columna 2**

Volumen de tránsito promedio diario anual (TDPA), en dos direcciones, correspondiente a cada tipo de vehículo que hará uso del camino

**Columna 3**

Coefficiente de distribución para el carril de proyecto, tomando en cuenta el número de carriles de la carretera y la siguiente tabla sugerida por el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

**Tabla 19 – Coeficiente de distribución para el carril de proyecto**

No. De carriles en ambas direcciones	Coeficiente de distribución para el carril de proyecto (%)
<b>2</b>	50
<b>4</b>	40 – 50
<b>6 o mas</b>	30 - 40

**Columna 4**

El número de vehículos en el carril de diseño, se obtiene Multiplicando el TDPA de la columna 2, por el coeficiente de distribución de la columna 3.

**Columna 5**

Los coeficientes de diseño, son los factores de daño (cargados) de los diferentes tipos de vehículos que se muestran en la gráfica anterior de cálculo de trafico equivalente, para  $Z = 0$  y  $Z = 15$ . el factor de daño es la relación del daño que un vehículo dado causa a la

estructura de la obra, con relación al daño que le causa un vehículo estándar (eje sencillo de 8.2 Ton).

### Columna 6

El número de ejes equivalentes para cada renglón se determina multiplicando el número de vehículos del carril de diseño de la columna 4, por el coeficiente de equivalencia de daño de la columna 5. La suma de estos resultados parciales se tiene al final de la columna 6, para dos valores de la profundidad Z, cada una de estas sumas (To y T' o), representan el tránsito equivalente en ejes simples de 8.2 ton , referido al carril de diseño y a un día medio del año en que se realizó el aforo.

El tránsito acumulado de ejes equivalentes de 8.2 ton , durante un periodo de n años de servicio, se calcula con la siguiente formula.

$$S L_n = C' T_o \quad S L'_n = C' T' o$$

de donde:

$S L_n$  = Tránsito acumulado durante n años de servicio y tasa de crecimiento anual r, en ejes equivalentes de 8.2 Ton.

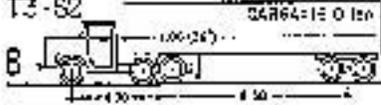
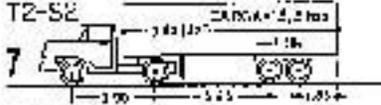
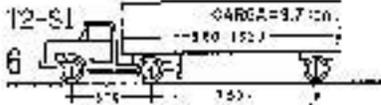
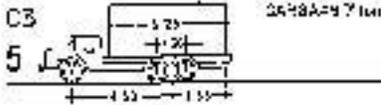
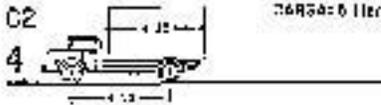
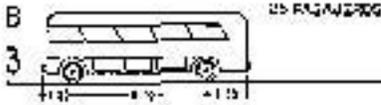
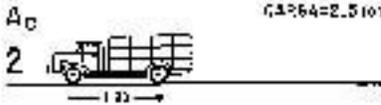
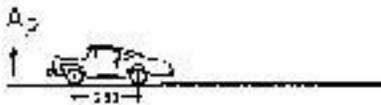
$T_o$  y  $T' o$  = Tránsito medio diario en el primer año de servicio para el carril de diseño en ejes equivalentes de 8.2 ton. Para la profundidad de  $Z = 0$  y  $Z = 15$  respectivamente.

$C'$  = Coeficiente de acumulación del tránsito para n años de servicio y una tasa de crecimiento anual r, que se puede obtener mediante la siguiente ecuación y cuya solución grafica se puede observar en la tabla 22 para estimar el coeficiente de acumulación de tránsito (siguiente)

$$C = 365 \cdot \sum_{j=1}^{j-n} (1 + r)^{j-1} = 365 \dots (((1 + r)^n - 1) / r.)$$

NOTA

K<sub>1</sub> = Coeficiente de conversión a partir del vehículo actual  
 K<sub>2</sub> = Coeficiente de conversión a partir del vehículo cargado



Coeficiente K <sub>1</sub>			
W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	1.0	0.25	0.1
2	1.0	0.2	0.1
3	1.0	0.2	0.1
Σ	3.0	0.6	0.3

Coeficiente K <sub>2</sub>			
W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	0.02	0.02	0.02
2	0.02	0.02	0.02
3	0.02	0.02	0.02
Σ	0.06	0.06	0.06

Coeficiente K <sub>3</sub>			
W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	0.02	0.02	0.02
2	0.02	0.02	0.02
3	0.02	0.02	0.02
Σ	0.06	0.06	0.06

W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	1.0	0.25	0.1
2	1.0	0.2	0.1
3	1.0	0.2	0.1
Σ	3.0	0.6	0.3

W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	0.02	0.02	0.02
2	0.02	0.02	0.02
3	0.02	0.02	0.02
Σ	0.06	0.06	0.06

W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	0.02	0.02	0.02
2	0.02	0.02	0.02
3	0.02	0.02	0.02
Σ	0.06	0.06	0.06

W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	4.2	2.0	0.8
2	2.0	1.0	0.4
3	1.5	0.6	0.2
Σ	7.7	3.6	1.4

W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	0.02	0.02	0.02
2	0.02	0.02	0.02
3	0.02	0.02	0.02
Σ	0.06	0.06	0.06

W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	0.02	0.02	0.02
2	0.02	0.02	0.02
3	0.02	0.02	0.02
Σ	0.06	0.06	0.06

W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	2.5	1.5	0.6
2	1.8	1.0	0.4
3	1.2	0.6	0.2
Σ	5.5	3.1	1.2

W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	0.02	0.02	0.02
2	0.02	0.02	0.02
3	0.02	0.02	0.02
Σ	0.06	0.06	0.06

W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	0.02	0.02	0.02
2	0.02	0.02	0.02
3	0.02	0.02	0.02
Σ	0.06	0.06	0.06

W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	2.5	1.7	1.0
2	1.8	1.0	0.6
3	1.2	0.6	0.3
Σ	5.5	3.3	1.9

W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	0.02	0.02	0.02
2	0.02	0.02	0.02
3	0.02	0.02	0.02
Σ	0.06	0.06	0.06

W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	0.02	0.02	0.02
2	0.02	0.02	0.02
3	0.02	0.02	0.02
Σ	0.06	0.06	0.06

W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	3.0	2.0	1.2
2	2.0	1.2	0.6
3	1.5	0.8	0.4
Σ	6.5	4.0	2.2

W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	0.02	0.02	0.02
2	0.02	0.02	0.02
3	0.02	0.02	0.02
Σ	0.06	0.06	0.06

W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	0.02	0.02	0.02
2	0.02	0.02	0.02
3	0.02	0.02	0.02
Σ	0.06	0.06	0.06

W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	4.0	2.5	1.4
2	2.5	1.5	0.8
3	1.8	1.0	0.5
Σ	8.3	5.0	2.7

W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	0.02	0.02	0.02
2	0.02	0.02	0.02
3	0.02	0.02	0.02
Σ	0.06	0.06	0.06

W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	0.02	0.02	0.02
2	0.02	0.02	0.02
3	0.02	0.02	0.02
Σ	0.06	0.06	0.06

W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	2.5	2.5	1.5
2	1.8	1.4	0.8
3	1.2	0.8	0.4
Σ	5.5	4.7	2.7

W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	0.02	0.02	0.02
2	0.02	0.02	0.02
3	0.02	0.02	0.02
Σ	0.06	0.06	0.06

W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
1	0.02	0.02	0.02
2	0.02	0.02	0.02
3	0.02	0.02	0.02
Σ	0.06	0.06	0.06

**Tabla 21. Coeficientes de diseño**

vehículo	eje	Peso (ton)		P Kg/cm2	cargado				vacío			
		cargado	Vacio		Z=0	Z=15	Z=22.5	Z=30	Z=0	Z=15	Z=22.5	Z=30
A2	1	1.0	0.8	2.0	0.0023	0.000	0.000	0.000	0.0023	0.000	0.000	0.000
	2	1.0	0.8	2.0	0.0023	0.000	0.000	0.000	0.0023	0.000	0.000	0.000
	3											
	S	2.0	1.6		0.0046	0.000	0.000	0.000	0.0046	0.000	0.000	0.000
A'2	1	1.6	1.2	4.2	0.17	0.002	0.001	0.000	0.17	0.001	0.000	0.000
	2	3.3	1.2	4.2	0.17	0.040	0.010	0.010	0.17	0.000	0.000	0.000
	3											
	S	4.9	2.4		0.34	0.042	0.011	0.010	0.34	0.001	0.000	0.000
B2	1	4.2	3.0	5.8	1.0	0.150	0.080	0.050	1.0	0.040	0.015	0.007
	2	8.3	7.0	5.8	1.0	1.0	1.020	1.050	1.0	0.600	0.500	0.500
	3											
	S	12.5	10.0		2.0	1.15	1.10	1.10	2.0	0.640	0.515	0.507
C2	1	2.5	1.5	5.0	0.44	0.025	0.008	0.002	0.44	0.002	0.000	0.000
	2	6.8	2.7	5.0	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.025	0.008	0.003
	3											
	S	9.3	4.2		0.88	0.465	0.448	0.442	0.88	0.027	0.008	0.003
C3	1	2.6	1.7	5.0	0.44	0.025	0.008	0.003	0.44	0.004	0.001	0.000
	2	14.0	5.2	5.0	0.44	0.650	0.650	0.650	0.44	0.040	0.010	0.006
	3											
	S	16.6	6.9		0.88	0.675	0.658	0.653	0.88	0.044	0.011	0.006
T2-S1	1	3.0	2.5	5.8	1.0	0.040	0.015	0.007	1.0	0.020	0.006	0.002
	2	8.0	3.6	5.8	1.0	0.900	0.900	0.900	1.0	0.080	0.030	0.020
	3	7.8	3.0	5.8	1.0	0.800	0.800	0.800	1.0	0.040	0.015	0.007
	S	18.8	9.1		3.0	1.740	1.715	1.707	3.0	0.140	0.051	0.029
T2-S2	1	4.0	3.5	5.8	1.0	0.120	0.060	0.030	1.0	0.080	0.030	0.020
	2	8.5	4.0	5.8	1.0	1.0	1.020	1.050	1.0	0.120	0.060	0.030
	3	12.1	3.8	5.8	2.0	0.450	0.400	0.400	2.0	0.010	0.002	0.001
	S	24.6	11.3		4.0	1.570	1.480	1.480	4.0	0.210	0.092	0.051
T3-S2	1	3.9	3.5	5.8	1.0	0.100	0.050	0.025	1.0	0.080	0.030	0.020
	2	13.0	5.4	5.8	2.0	0.600	0.500	0.500	2.0	0.040	0.015	0.007
	3	13.0	5.0	5.8	2.0	0.600	0.500	0.500	2.0	0.030	0.010	0.005
	S	29.9	13.9	17.4	5.0	1.3	1.05	1.025	5.0	0.15	0.055	0.0032

**DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CARRETERA.**

De acuerdo con las características de la carretera proyectada, se considera que el diseño estructural de esta se debe hacer mediante el uso de la gráfica para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible, la cual representa condiciones normales de diseño utilizando el dato de tránsito equivalente acumulado (L'n) a Z = 15 expresado en potencia de base 10 y el valor de Valor Relativo de Soporte (VRS) crítico ( $\overline{VRS}$ ) de los diferentes materiales correspondientes a cada capa.

$$\overline{VRS} = VRS(1 - 0.84r)$$

de donde:

$\overline{VRS}$  es el valor medio en cada material

V es el coeficiente de variación de los valores de prueba.

Cuando no se encuentre en la grafica 1 mostrada a continuación para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible, con la curva que se necesita, se debe dibujar la curva de igual resistencia relativa.

Con los datos de la grafica para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible, se obtienen los diferentes espesores de la carretera mediante el siguiente procedimiento:

El espesor total del material equivalente que deberá colocarse sobre la terracería se determina dibujando una línea vertical partiendo del punto de  $\overline{VRS}$  (de terracería) hasta interceptar la curva de igual resistencia (S L'n), denominado punto crítico, que proyectado en el eje de las ordenadas (Z) proporcionan un espesor total (Et).

$$Et = a_1d_1 + a_2d_2 + a_3d_3 + a_4d_4$$

El espesor de la carpeta (d1) se obtiene a partir del  $\overline{VRS}$  base y la curva de igual resistencia (S L'n), con el procedimiento anterior.

$$Et = a_1d_1, d_1 = Et / a_1, a_1 = 2 \text{ carpeta C.A.}$$

El espesor de la base (d2) se obtiene a partir del  $\overline{VRS}$  sub-base y la curva de igual resistencia (S L'n).

$$d_2 = (Et - d_1) / a_2$$

El espesor de la sub-base (d3) se obtiene a partir del  $\overline{VRS}$  subrasante y la curva de igual resistencia (S L'n).

$$d_3 = (Et - d_1 - d_2) / a_3$$

El espesor de la subrasante ( $d_4$ ) se obtiene con la siguiente fórmula:

$$E_t = a_1d_1 + a_2d_2 + a_3d_3 + a_4d_4$$

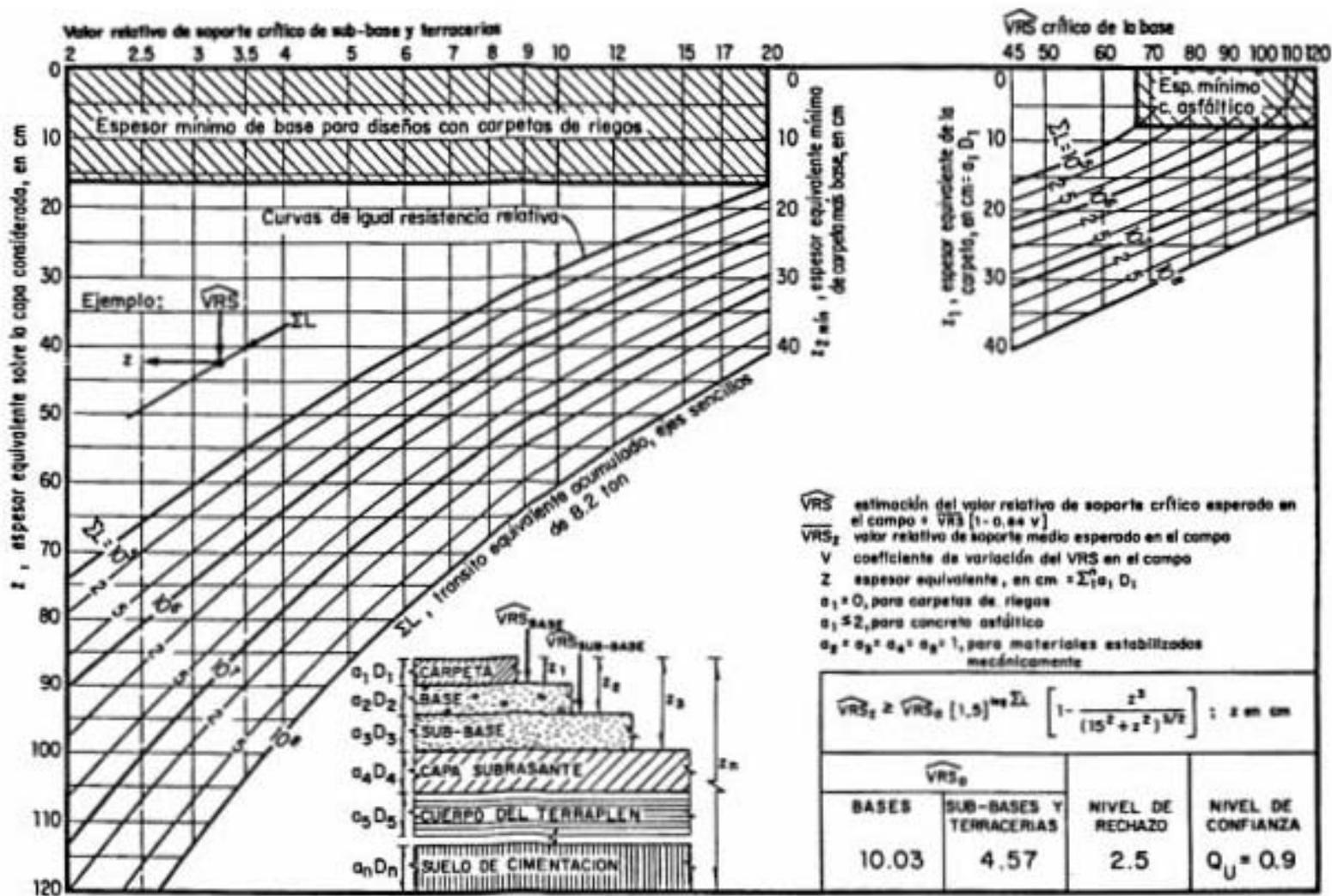
$$d_4 = (E_t - (d_1 + d_2 + d_3)) / a_4$$

$a_1 = 0$  para carpetas de riego

$a_1 = 2$  para carpetas de concreto asfáltico

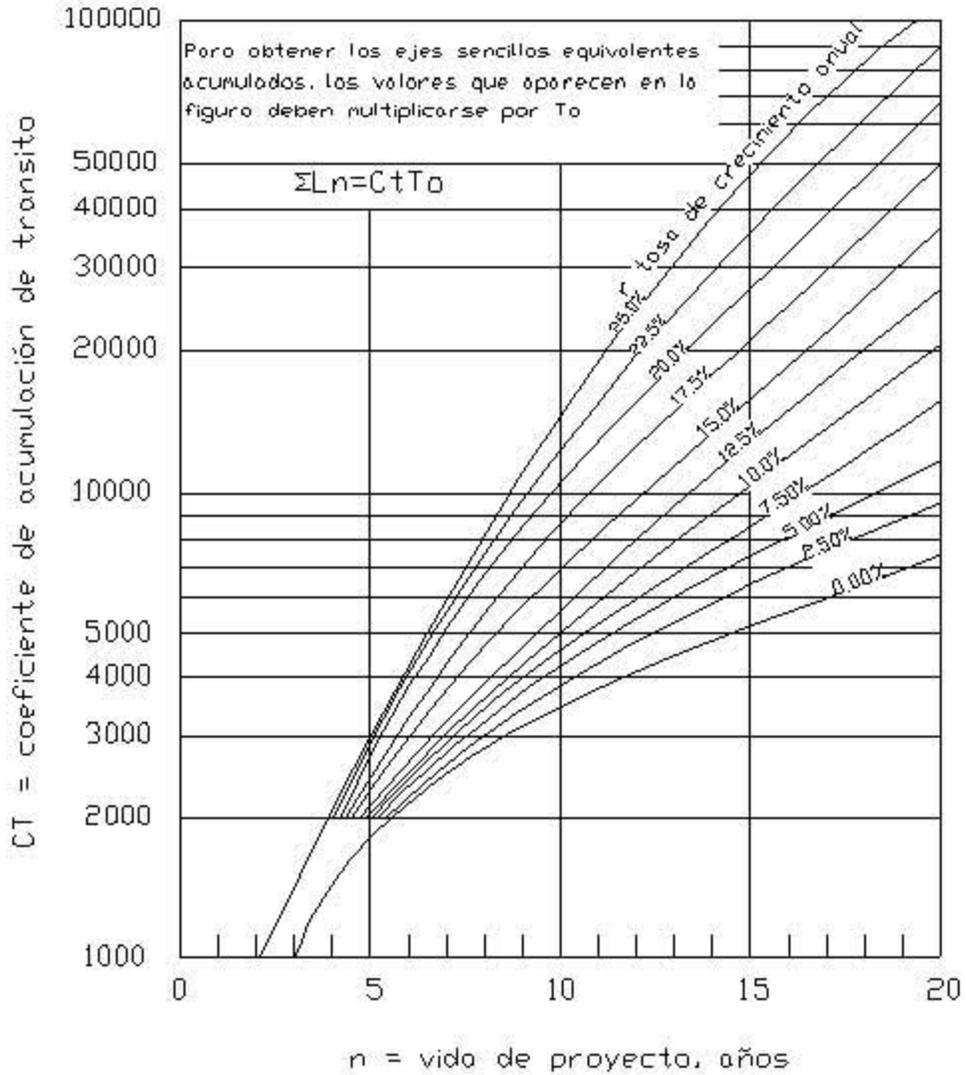
$a_2 = a_3 = a_4 = 1$

Gráfica 1. Valores de z para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible



**Tabla 22. Gráfica para estimar el coeficiente de acumulación de tránsito**

Grafico para estimar el coeficiente de acumulación de tránsito



$$C_y = 365 \sum_{t=1}^n (1+r)^{t-1} = 365 \left[ \frac{(1+r)^n - 1}{r} \right]$$

**CT**

= coeficiente de acumulación del tránsito para (n) años de servicio y una tasa de crecimiento anual (r)

**To**

= tránsito equivalente medio diario en el carril de proyecto durante el primer año de servicio ejes sencillos equivalentes de 8.2 Ton

**S Ln**

= tránsito acumulado al cabo de (n) años de servicio ejes sencillos equivalentes de 8.2 Ton.

**EJEMPLO DE DISEÑO DE PAVIMENTO**

**QUERÉTARO – SAN LUIS POTOSI  
DEL KM 15+000 AL KM 28+000  
CARRILES CENTRALES**

De acuerdo a los Datos de tránsito analizados. De éste se determina el TDPA (Tránsito Diario Promedio Anual), el cual servirá para diseñar el espesor de pavimento en la zona de Proyecto de Adecuación Geométrica:

T.D.P.A. = **5,440 vehículos (2013) en carril de diseño**

Tasa de crecimiento anual = **4.0 %**

Con una composición vehicular como sigue:

**A= 81.00 % ; B= 1.70 % ; C= 17.30 %**

Tipo de Vehículo	Distribución en %
<b>A</b>	<b>81.00</b>
<b>B2</b>	<b>1.7</b>
<b>C2</b>	<b>8.9</b>
<b>C3</b>	<b>1.6</b>
<b>T3S2</b>	<b>4.4</b>
<b>T3S3</b>	<b>0.90</b>
<b>T3S2R4</b>	<b>1.2</b>
<b>T3S3S2</b>	<b>0.3</b>

Para efectos del diseño en el carril lateral se considera tomar el 60% del total del TDPA, resultando un volumen vehicular de 5440 vehículos, con lo cual se analizara la estructura del pavimento a proponer.

Cabe mencionar que este análisis se realiza bajo la condición operacional que presenta la carretera. La tasa de crecimiento a considerar es la del 4% anual y la composición vehicular se tomarán como opera actualmente y se realiza un análisis de diseño para un periodo de 20 años.

Del análisis efectuado en los materiales de los sondeos directos de campo; de la propuesta para aquellos que habrán de utilizarse durante la construcción de las terracerías y de la calidad de los materiales a utilizar en la construcción de los pavimentos, se determinó el valor de resistencia para diseño a considerar, el cual resulta de la siguiente forma:

PARA LA FORMACIÓN DE LAS TERRACERÍAS No.	Denominación	Valor Relativo de Soporte (VRS)
1	Terracería	3.5 %
2	Sub base	20.0 %
3	Capa subrasante	10.0 %

PARA LA FORMACIÓN DE PAVIMENTO No.	Denominación	Valor Relativo de Soporte (VRS)
1	Base hidráulica	100 %

Tomando en cuenta la variación del tránsito, el diseño estructural se calculará por el método del *Instituto de Ingeniería de la UNAM*

Primero tomamos el aforo vehicular y lo distribuimos en tipos de vehículos para posteriormente convertirlos a ejes equivalentes de 8.2 ton.

El coeficiente de distribución como está explicado en la tabla 19 lo tomaremos del 40% por el tipo de carretera que es y los coeficientes de diseño  $z=0$  y  $z=15$  los obtendremos de la tabla 21.

TIPO DE VEHÍCULO	TDPA	COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN	NÚMERO DE VEHÍCULOS EN EL CARRIL DE DISEÑO	COEFICIENTE DE DISEÑO		NÚMERO DE EJES 8.2 TON	
				Z=0	Z=15	Z=0	Z=15
A	4407	0.40	1763	0.0046	0	8.10888	0
B2	93	0.40	37	2	1.15	74.4	42.78
C2	484	0.40	194	0.88	0.465	170.368	90.024
C3	87	0.40	35	0.88	0.675	30.624	23.49
T3S2	239	0.40	96	5	1.3	478	124.28
T3S3	49	0.40	20	5	1.3	98	25.48
T3S2R4	65	0.40	26	5	1.3	130	33.8
T3S3S2	16	0.40	6	5	1.3	32	8.32

TOTAL

TO= 1021.50088

T'O= 348.174

$$S L_n = C'T_o \quad S L'_n = C'T'o$$

Calculando el coeficiente de acumulación de tránsito

$$C = 365 \left( \left( (1+r)^n - \frac{1}{r} \right) \right) =$$

$$365((1 + 0.04)^{20} - 1/0.04)) = 10868.99$$

Ahora calcularemos el tránsito acumulado durante los 20 años de servicio a los cuales está planeado el proyecto

$$\Sigma L_n = 10869(348.174) = 3,784,303.206$$

Obtenemos el logaritmo del tránsito acumulado para así poder manejarlo en base 10 y poder identificar los valores de la profundidad z en la gráfica 1

$$\log(3,784,303.206) = 6.57798$$

$$\Sigma L = 10^{6.57}$$

### Diseño estructural de la carretera

Para obtener los valores de z, los obtenemos a través de la gráfica 1 mediante el valor relativo de soporte de cada material ya mencionado anteriormente y el tránsito equivalente acumulado en ejes sencillos de 8.2 ton.

Si el valor de  $\Sigma L$  no se encuentra en la gráfica habrá que trazar una curva nueva

$$\overline{VRS} \text{ terracerías} = 3.5\% \quad Z = 75 \text{ cm}$$

### Espesor de carpeta de concreto asfáltico

$$\overline{VRS} \text{ base} = 100\% \quad Z = 15 \text{ cm}$$

$$E_t = a_1 d_1$$

$$d_1 = E_t / a_1 = 15 / 2 = 7.5 \text{ cm}$$

### Espesor de base hidráulica

$$\overline{VRS} \text{ sub-base} = 20\% \quad Z = 23 \text{ cm}$$

$$E_t = a_1 d_1 + a_2 d_2$$

$$d_2 = (E_t - d_1) / a_2 = (23 - 7.5) / 1 = 15.5 \text{ cm}$$

**Espesor de sub-base**

$\overline{VRS}$  subrasante = 10 % Z = 45 cm

$$d3 = (Et - d1 - d2) / a3 = (45 - 7.5 - 15.5) / 1 = 22 \text{ cm}$$

**Espesor de subrasante**

$\overline{VRS}$  terracería = 3.5% Z = 75 cm

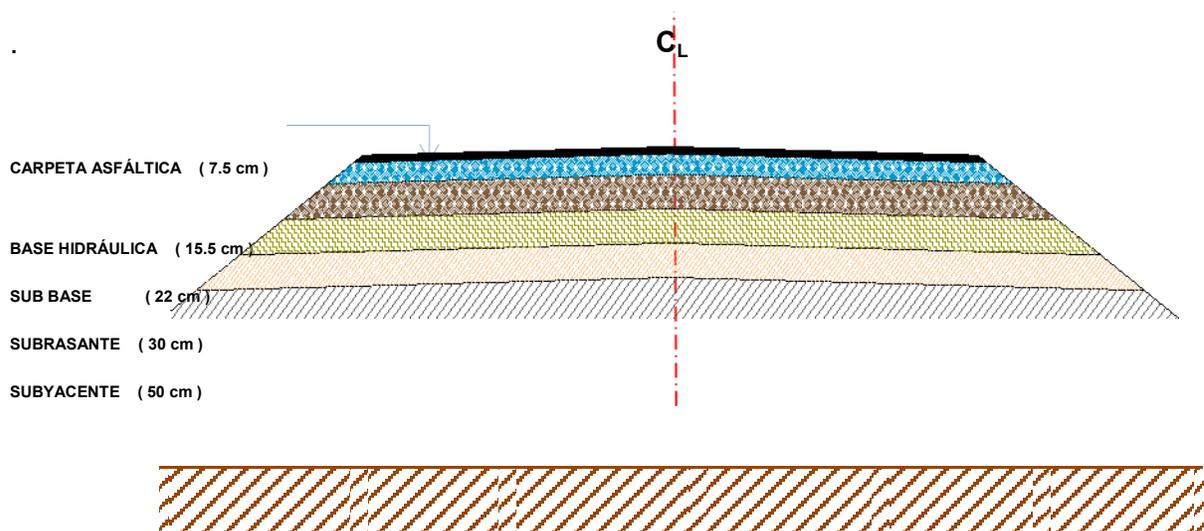
$$Et = a1d1 + a2d2 + a3d3 + a4d4$$

$$d4 = (Et - (d1 + d2 + d3)) / a4 = (75 - (7.5 + 15.5 + 22)) / 1 = 30 \text{ cm}$$

De Acuerdo con los cálculos obtenidos las secciones a aplicar son las siguientes:

- CARRILES CENTRALES (3 CARRILES DE CIRCULACIÓN DE 3.50 M, ACOTAMIENTO EXTERIOR DE 2.50 M Y ACOTAMIENTO INTERIOR DE 1.50 M. PARA UN ANCHO TOTAL DE 14.50 M).

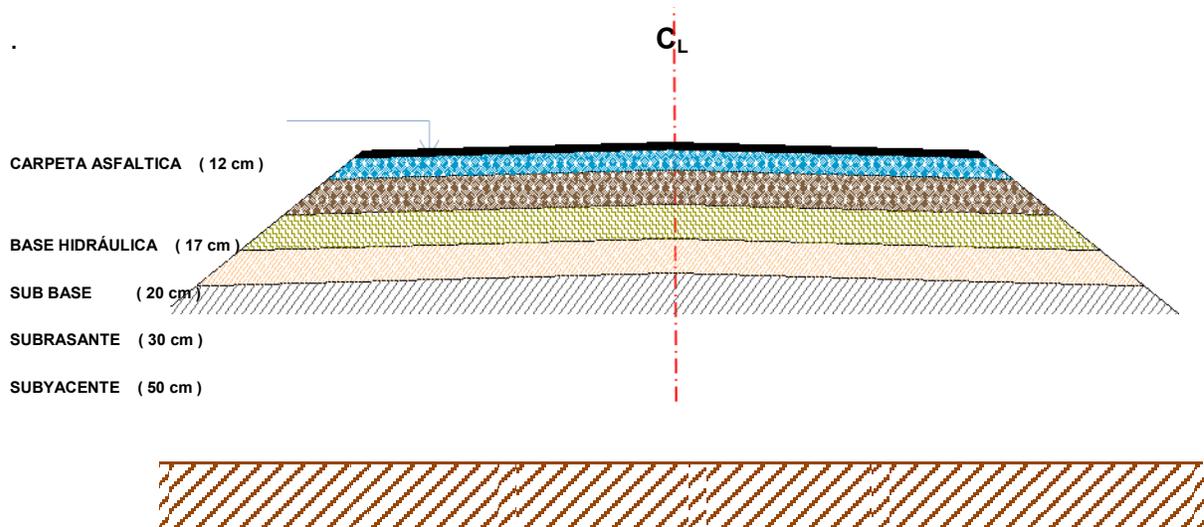
CAPA	UNAM
	Espesores, cm
CARPETA ASFÁLTICA	7.5
BASE HIDRÁULICA	15.5
SUB BASE	22
SUBRASANTE	30
SUBYACENTE	50



De igual forma se realiza el cálculo para los carriles laterales obteniendo los siguientes valores:

- CARRILES LATERALES (3 CARRILES DE CIRCULACIÓN DE 3.50 M, ACOTAMIENTO EXTERIOR DE 2.50 M Y ACOTAMIENTO INTERIOR DE 0.50 M. PARA UN ANCHO TOTAL DE 13.50 M).

CAPA	UNAM
	Espesores, cm
CARPETA ASFALTICA	12
BASE HIDRÁULICA	17
SUB BASE	20
SUBRASANTE	30
SUBYACENTE	50



El espesor obtenido para cada capa se compara con el espesor mínimo especificado para el nivel de tránsito de proyecto establecido. Si el espesor calculado es menor al mínimo especificado, se toma dicho espesor mínimo como espesor de proyecto, y se disminuyen los espesores de las capas inferiores, de acuerdo con los coeficientes estructurales de esas capas. Los espesores mínimos especificados para las capas de base y sub-base se fijan por consideraciones constructivas, fundamentados en el comportamiento de carreteras en condiciones reales de servicio.

En la tabla 23 podemos observar los espesores mínimos que deben de tener cada una de las capas del pavimento, haciendo un comparativo con los espesores antes calculados, vemos que todos ellos están por encima de los mínimos por lo tanto el cálculo es adecuado y esos serán los espesores que se usaran en el proyecto constructivo.

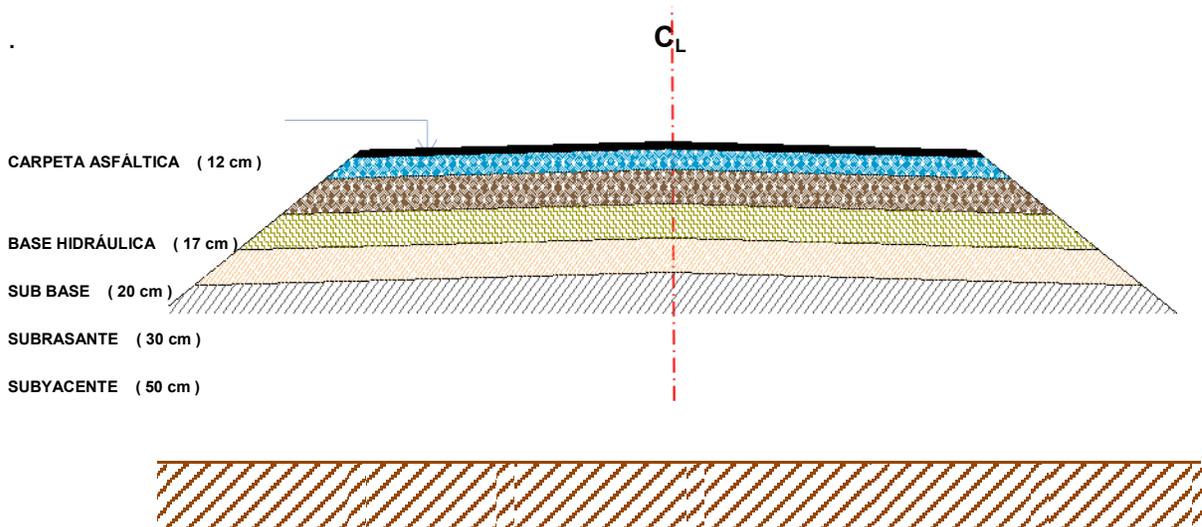
**Tabla 23. Espesores mínimos de las capas de pavimento**

ESPESORES MINIMOS DE LAS CAPAS DE PAVIMENTO EN CM					
CAPA		TRÁNSITO			
		I	II	III	IV
Carpeta	*	0	5	5	5
Base Hidráulica	*	15	15	15	15
Sub-base	*	15	15	15	15
Sub-rasante	**	20	30	30	30
Sub-yacente	***	30	40	40	40
NOTAS: APLICABLE A CAMINOS NORMALES Y CARRETERAS DE ALTAS ESPECIFICACIONES(*) APLICABLE A CAMINOS NORMALES(**) APLICABLE A CARRETERAS DE ALTAS ESPECIFICACIONES(***)					

Tomando en cuenta los cálculos obtenidos y analizándolos , optamos por tomar los valores de los carriles laterales como los espesores del proyecto y así con estos valores realizar todo el proyecto, es decir utilizar los mismos espesores para los carriles centrales y laterales garantizándonos así, un margen más alto de seguridad, quedando de la siguiente forma:

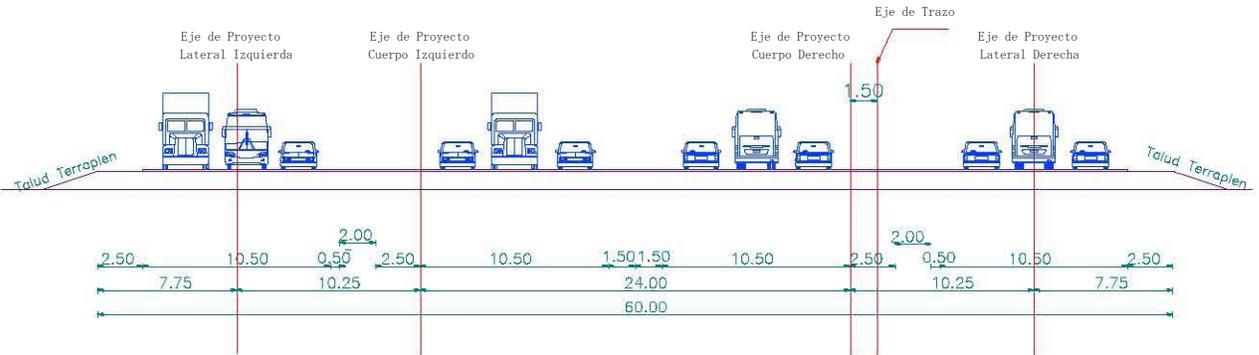
- CARRILES CENTRALES Y LATERALES

CAPA	UNAM
	Espesores, cm
CARPETA ASFÁLTICA	12
BASE HIDRÁULICA	17
SUB BASE	20
SUBRASANTE	30
SUBYACENTE	50



# AMPLIACIÓN DE UN TRAMO CARRETERO EN EL ESTADO DE QUERÉTARO

## SECCIÓN TIPO DE KM 15+000 A KM 18+000



## V. CONCLUSIONES

El propósito de esta tesis fue mostrar el estudio realizado en el Paseo de La República en el tramo de la carretera federal núm. 57 a partir del km 15+000 al km 28+000, en el estado de Querétaro y mostrar así la problemática que se presenta en este punto exclusivamente al pasar de 6 carriles de circulación ( 3 por lado) en la parte central a 4 carriles únicamente, lo que causa una acumulación del tránsito en este punto causando así un retraso en el tiempo de traslado y dado que corresponde a uno de los principales ejes carreteros de México, que corre de México a Nuevo Laredo causa un retraso no solo en el tránsito local sino también en el tránsito de paso, es por esto que se decidió realizar este estudio y así encontrar una alternativa adecuada a este problema, ya que si bien las condiciones en estos momentos no son tan desfavorables, es preciso realizar acciones que ayuden a que a pesar de que el aumento en el parque vehicular y el tránsito en el estado de Querétaro y sobre esta carretera, esta no se vea rebasada en su capacidad y siga funcionando de forma correcta y pueda cumplir con la demanda de ésta sin tener más retrasos y tiempos muertos como los hay en este momento.

En el primer capítulo vimos el análisis de la oferta y la demanda actual y como la carretera aun está dentro de un rango aceptable al estar en un nivel de servicio "C" pero que con el paso de los años y el incremento del tránsito llegará a ser de nivel "E", incluso en alrededor de 12 años llegaría a ser de servicio "F" lo cual representaría un avance muy lento y muy desfavorable, sobre todo tomando en cuenta el tipo de carretera y la importancia de esta en el país, afectando así sobre todo al estado de Querétaro y a los camiones de carga que utilizan esta ruta para ir a los estados del Norte.

Tomando en cuenta todo esto y viendo la problemática que esto representa en el capítulo tres se plantearon diferentes alternativas de solución que se realizarían sin tomar en cuenta el proyecto propuesto, así de esta forma se plantearon algunas optimizaciones que si bien tienen un menor costo y mejoran un poco el tránsito no impactarían mucho en la mejora con el paso de los años, de esta forma podría decirse que realizando las alternativas 1 y 2 la problemática seguiría siendo la misma y en algún momento tendría que llevarse a cabo la alternativa 3, la cual consta de ampliar la carretera existente de 4 a 6 carriles, 3 carriles centrales y 3 carriles laterales por sentido.

Se vió en al capítulo tres, al realizar este proyecto, obtendremos bastantes mejoras como lo es el ahorro en el tiempo de viaje, ahorro en los costos de operación , así como entrar a la modernización de este eje carretero, ya que sería poco práctico que este tramo fuera el único que no estuviera acorde con los demás que corresponden a este eje carretero y de esta forma no solo beneficiar a los habitantes del estado de Querétaro, sino a toda la

gente que circule por ahí y que se dirija principalmente al Estado de San Luis Potosí al Norte o a la Ciudad de México hacia el Sur.

Podemos concluir de esta forma que es muy necesaria la realización de este proyecto, puesto que con este se mejoraría significativamente el nivel de servicio de la carretera, mejoraría el tránsito por la zona e incluso impactaría en la economía y el turismo del Estado además de estar al día con las modernizaciones que se necesitan en el país, incluso a pesar de que este proyecto es la alternativa más alta en cuanto a costos de realización tomando en cuenta un análisis costo-beneficio, resulta ser la más rentable y la única que solucionaría los problemas que se presentan en estos momentos en los 13 kilómetros del tramo en estudio.

En el capítulo cuatro en lo referente al diseño de pavimentos vimos que aspectos y factores son los que influyen a la hora del diseño de estos, como utilizar las tablas y como obtener los diferentes valores teniendo ya los estudios de campo y podemos concluir que el diseño que realizamos, conforme al método del Instituto de Ingeniería de la UNAM resulta acertado ya que nuestros valores obtenidos están por encima de los valores mínimos que se piden en los pavimentos flexibles y además para garantizar un rango más alto de seguridad, uniformamos los espesores de las capas, tomando como espesores de proyecto para carriles centrales y laterales los que obtuvimos del cálculo de los carriles laterales, ya que estos son mayores y con esto garantizamos estar del lado de la seguridad.

## BIBLIOGRAFÍA

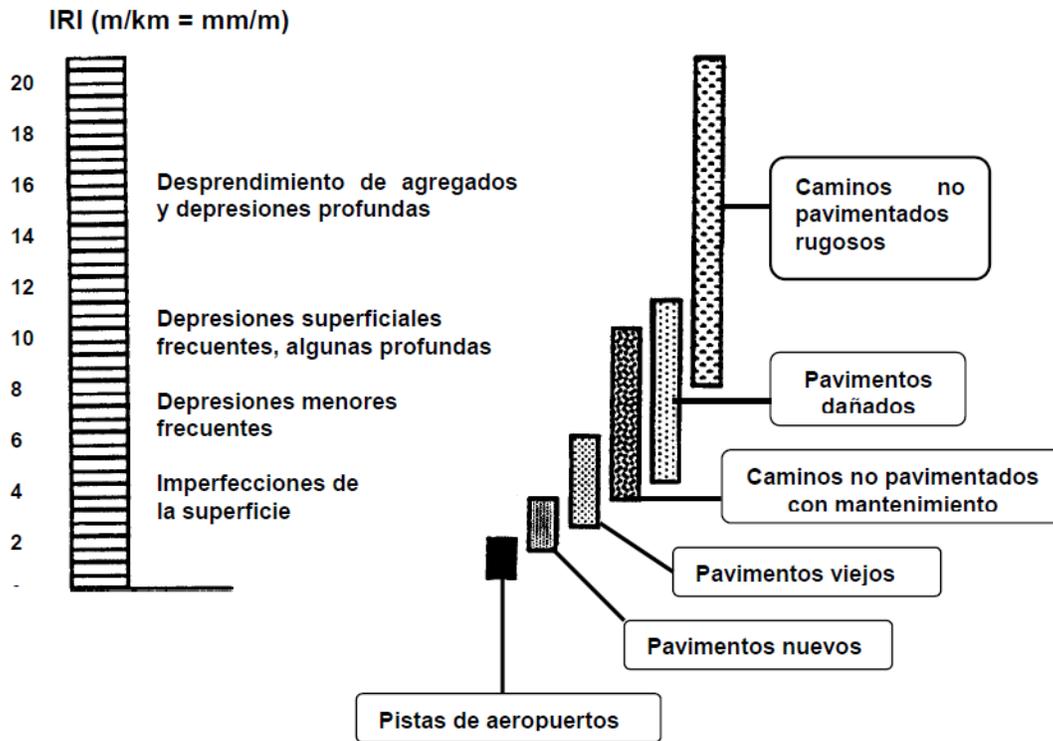
- DISEÑO ESTRUCTURAL DE CARRETERAS CON PAVIMENTO FLEXIBLE, Santiago Corro Caballero, Guillermo Prado Ollervides, Series del Instituto de Ingeniería de la UNAM 1974
- RECOMENDACIONES DE ACTUALIZACION DE ALGUNOS ELEMENTOS DEL PROYECTO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS, Alberto Mendoza Díaz, Emilio Abarca Pérez, Emilio Francisco Mayoral Grajeda, Francisco Luis Quintero Pereda, Publicación Técnica 244, SCT-IMT, 2004
- ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD EN LA RED CARRETERA DE MÉXICO, Mario C. Arriaga Patiño, Paul Garnica Anguas, Alfonso Rico Rodríguez, Publicación Técnica 108, SCT-IMT,1998
- MÉTODOS DE ASIGNACIÓN DE TRÁNSITO EN REDES REGIONALES DE CARRETERAS: DOS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN, Guillermo Torres Vargas, José Arturo Pérez Sánchez, Publicación Técnica 214, SCT-IMT,2002
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-012-SCT-2-2008 SOBRE EL PESO Y DIMENSIONES MÁXIMAS CON LOS QUE PUEDEN CIRCULAR LOS VEHÍCULOS DE AUTOTRANSPORTE QUE TRANSITAN EN LAS VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN DE JURISDICCIÓN FEDERAL
- PAVIMENTOS FLEXIBLES. PROBLEMÁTICA, METODOLOGÍAS DE DISEÑO Y TENDENCIAS, Alfonso Rico Rodríguez, Rodolfo Téllez Gutiérrez, Paul Garnica Anguas., Publicación Técnica 104,SCT-IMT, 1998
- DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS, INCLUYENDO CARRETERAS DE ALTAS ESPECIFICACIONES, Santiago Corro C., Instituto de Ingeniería de la UNAM, 1999

ANEXO 1

\*El Índice Internacional de Rugosidad en la red nacional carretera

La capa de rodadura de una carretera posee una serie de características técnicas y funcionales, obtenidas a partir de criterios y especificaciones de construcción. Su estado depende de la calidad inicial y del desgaste o deterioro producido por el tránsito y los factores climáticos, entre otros.

A nivel de red, partiendo de las mediciones de rugosidad de un camino, se puede definir el estado de los pavimentos mediante el índice de rugosidad; si se realiza un programa de evaluación anual en esos mismos caminos se puede llegar a conocer el comportamiento del deterioro a través del tiempo.



Escala de valores del IRI y las características de los pavimentos.

## ANEXO 2

### Método de vehículo flotante

El método del vehículo flotante, consiste en cronometrar el tiempo de recorrido de cada tipo de vehículo. Los responsables del estudio de campo realizan esta medición por persecución, es decir se da seguimiento al tipo de vehículo que se está muestreando. Cuando se trate de vehículos de pasajeros, los responsables de medir los tiempos de recorrido se incorporan como usuarios en el vehículo objeto de la muestra, cronometrando los recorridos sin considerar los tiempos muertos por paradas continuas (ascenso y descenso de pasajeros, y tiempo para tomar algún refrigerio).

El cálculo del tiempo de recorrido en una red en la que se presenta la situación de ruta con proyecto (situación deseable o futura), se realiza en gabinete con base en la velocidad de proyecto, misma que dependerá de las características geométricas de los tramos que integran la nueva ruta.

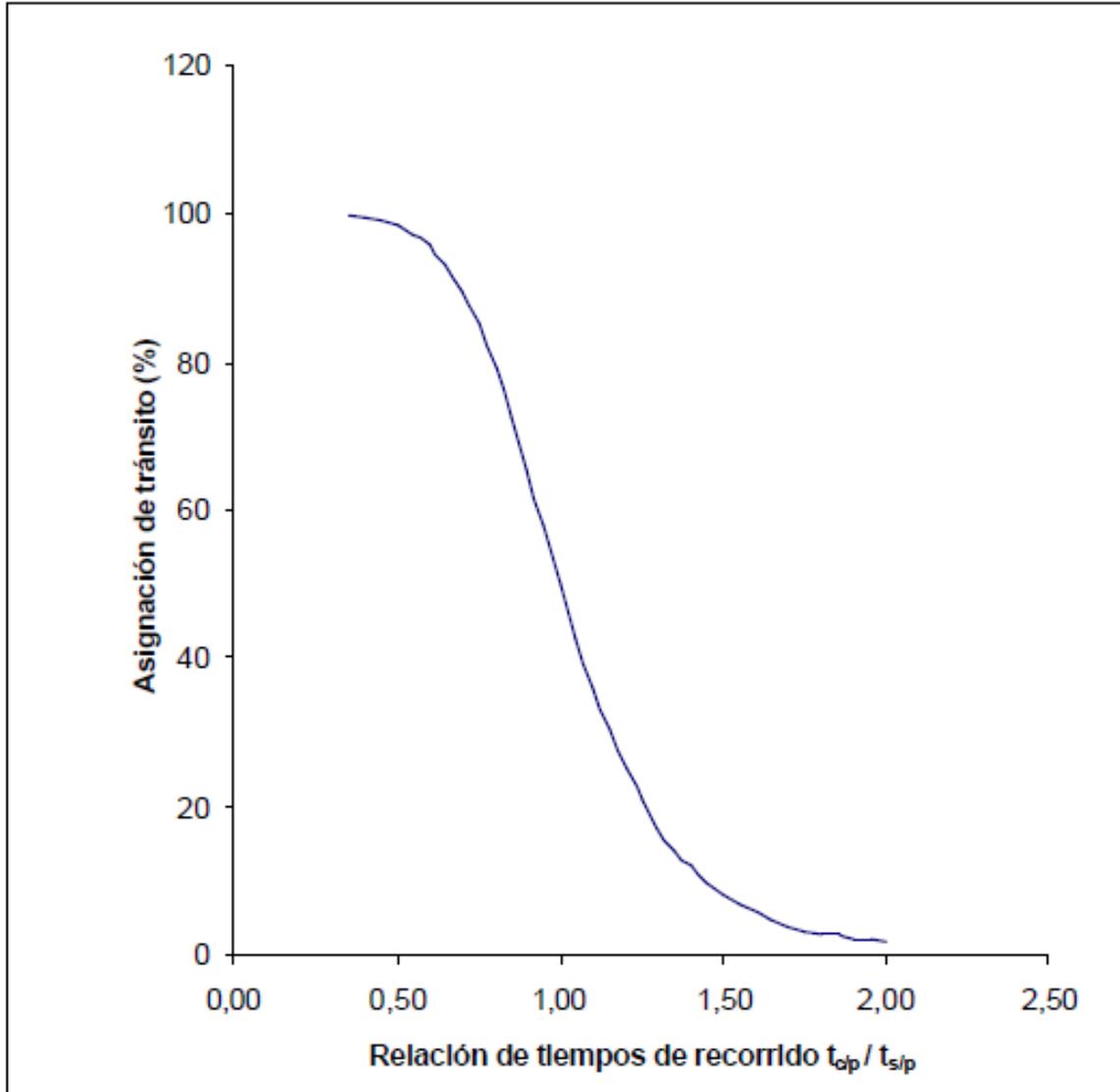
Cuando se analiza una red con varias alternativas de viaje ya existentes, el análisis se realiza a partir de la comparación de los tiempos de recorrido de las distintas alternativas. La alternativa que acuse menor tiempo de recorrido, será considerada como la ruta con proyecto, y las restantes constituirán en su momento las rutas en la situación actual.

Cuando la relación entre tiempos de recorrido de dos alternativas en estudio es igual a 1, la distribución desde el punto de vista teórico sería igual para cada uno de los arcos considerados, es decir se asignaría el 50% a cada una de las rutas en análisis.

En la siguiente figura, se muestra la relación teórica de tiempos de recorrido y el porcentaje de asignación de tránsito.

En estricto sentido, bajo las mismas condiciones de operación y cuando los tiempos de recorrido de dos alternativas son iguales, la distribución del tránsito es de 50% para cada una de ellas.

CURVA DE LA AASHTO PARA LA ASIGNACIÓN DEL TRÁNSITO



Fuente: VALDÉS A. "Ingeniería de tráfico", Ed DOSSAT, S.A., Madrid, España 1971.

## ANEXO 3

### Nivel de servicio de una carretera

El nivel de servicio define si un camino es bueno o malo, y nos determina el nivel de congestión. Son los distintos tipos de servicio que presta la vía de acuerdo a lo que se le exige.

El nivel de servicio está en función de:

- Velocidad y tiempo de viaje
- Interrupción de tránsito
- Libertad de maniobra
- Seguridad y comodidad
- Conveniencia del conductor
- Costos de operación

Existe una escala:

	Condición de operación	Velocidad de operación	Restricción de maniobra	Tránsito
<b>Nivel de Servicio A</b>	Libre	Alta	Poca o ninguna	Sin restricciones
<b>Nivel de Servicio B</b>	Estable	Ligeramente restringida	Ligeramente restringida	Sin apreciable congestión
<b>Nivel de Servicio C</b>	Estable	Ligeramente restringida (+ que la <u>ant.</u> )	Ligeramente restringida (+ que la ant.)	Ligera congestión
<b>Nivel de Servicio D</b>	Próxima a la inestabilidad	Restringida (+ que ant.)	Reducida	Medianamente congestionada
<b>Nivel de Servicio E</b>	Inestable (Vel. < 0 = a la cap.)	Bajas (40 – 60 km/h)	Casi nula	Fuertemente congestionada
<b>Nivel de Servicio F</b>	Forzada (Vel. < a la cap.)	Reducida en caso extremo	Nula	Congestión total

A	→	La máxima y la mejor
B		
C		
D		
E		
F	→	La peor

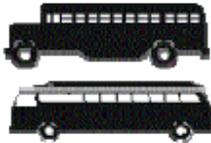
ANEXO 4

**CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS.**

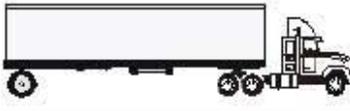
Atendiendo a su clase.

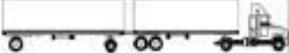
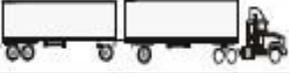
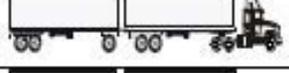
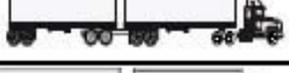
CLASE	NOMENCLATURA
AUTOMÓVIL	A
AUTOBÚS	B
CAMIÓN UNITARIO	C
CAMIÓN REMOLQUE	C-R
TRACTOCAMIÓN ARTICULADO	T-S
TRACTOCAMIÓN DOBLEMENTE ARTICULADO	T-S-R y T-S-S

Atendiendo a su clase, nomenclatura , número de ejes y llantas.

AUTOBÚS ( B )			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
B2	2	6	
B3	3	8 ó 10	
B4	4	10	

CAMIÓN UNITARIO ( C )			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
C2	2	6	
C3	3	8-10	
CAMIÓN – REMOLQUE ( C – R )			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
C2-R2	4	14	
C3-R2	5	18	
C2-R3	5	18	
C3-R3	6	22	

TRACTOCAMIÓN ARTICULADO			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
T2-S1	3	10	
T2-S2	4	14	
T2-S3	5	18	
T3-S1	4	14	
T3-S2	5	18	
T3-S3	6	22	

TRACTOCAMION SEMIRREMOLQUE-REMOLQUE (T-S-R)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
T2-S1-R2	5	18	
T2-S2-R2	6	22	
T2-S1-R3	6	22	
T3-S1-R2	6	22	
T3-S1-R3	7	26	
T3-S2-R2 <sup>(1)</sup>	7	26	
T3-S2-R3	8	30	
T3-S2-R4 <sup>(1)</sup>	9	34	
T2-S2-S2	6	22	
T3-S2-S2	7	26	
T3-S3-S2	8	30	