

**Centro Queretano de Recursos Naturales**

Reporte Técnico 2

# **Planeación de los Libramientos Carreteros de la Ciudad de Querétaro**



**CONCYTEQ**

Junio del 2001

**Centro Queretano de Recursos Naturales**

**Reporte Técnico No. 2**

# Planeación de los Libramientos Carreteros de la Ciudad de Querétaro

**Dr. Roberto de la Llata Gómez (Coordinador)**  
**Ing. Gilberto Muñoz Arango**  
**Dr. Alejandro Lozano Guzmán**  
**M.C. Rodolfo Téllez Gutiérrez (Instituto Mexicano del Transporte)**  
**M.I. Sergio A. Damián Hernández (Instituto Mexicano del Transporte)**



**Junio del 2001**

# GOBIERNO DEL ESTADO DE QUERETARO

Ing. Ignacio Loyola Vera  
GOBERNADOR CONSTITUCIONAL DEL ESTADO

Dr. Gabriel Siade Barquet  
SECRETARIO DE EDUCACION

## CONSEJO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL ESTADO DE QUERÉTARO

Dr. Alejandro Lozano Guzmán  
DIRECTOR GENERAL

D.G. Alicia Arriaga Ramírez  
DIFUSIÓN

Ramón Martínez de Velasco  
CORRECCION DE ESTILO

Derechos reservados

CENTRO QUERETANO DE RECURSOS NATURALES

ISBN 968-5402-01-9 (Toda la obra)

ISBN 968-5402-02-7 (Tomo I Mejoramiento de la Red Carretera del Centro y Norte del Estado de Querétaro.

Un Soporte para su Desarrollo Integral y Sustentable)

ISBN 968-5402-03-5 (Tomo II Planeación de los Libramientos Carreteros de la Ciudad de Querétaro)

E-Book

ISBN 978-607-7710-07-3

Publicación del Consejo de Ciencia  
Y Tecnología del Estado de Querétaro  
Luis Pasteur Sur No. 36 Centro  
Tel. 01 (4) 2 12 72 66 y 2 14 36 85  
Querétaro, Qro., México

# PLANEACIÓN DE LOS LIBRAMIENTOS CARRETEROS DE LA CIUDAD DE QUERÉTARO

## CENTRO QUERETANO DE RECURSOS NATURALES

### RESUMEN EJECUTIVO

Los libramientos son tramos de carretera que sirven para desviar el tránsito de paso de una ciudad. Usualmente se obtienen beneficios tanto para los usuarios del libramiento como para los residentes de la localidad. En el primer caso se tienen menores tiempos y costos de operación, en el segundo se obtiene mayor seguridad para el tránsito en las vialidades urbanas y menores efectos ambientales negativos.

El tránsito de paso que circula por la zona metropolitana de Querétaro, puede dividirse en tres direcciones: Sur-Norte, Sur-Occidente y Norte-Occidente. En la autopista México-Querétaro circula tránsito en las direcciones Sur-Norte y Sur-Occidente; en la carretera Querétaro-San Luis Potosí, en las direcciones Sur-Norte y Norte-Occidente; y en las carreteras Querétaro-Irapuato en las direcciones Sur-Occidente y Norte-Occidente. Para estimar la demanda de este tránsito es necesario realizar estudios origen-destino en todas estas carreteras. En Querétaro, el último estudio de esta naturaleza se realizó en 1989. En éste se actualizaron sus resultados de manera indirecta, utilizando información de otros estudios origen-destino y aforos en carreteras. El resultado se presenta en la siguiente tabla:

	Automóviles	Autobuses	Camiones	TOTAL
NO	700	70	640	1 410
SN	3 380	820	6 200	10 400
SO	8 670	1 690	6 450	16 810
Total de Paso	12 750	2 580	13 290	28 620

Tránsito promedio diario estimado de paso por la ciudad de Querétaro en el año 2001

Para hacer frente a esta demanda sólo se cuenta con el Libramiento Noreste (se utiliza indistintamente la notación este o oriente y oeste o poniente para conservar los nombres conocidos de vialidades). Este libramiento fue construido hace casi 10 años y evita el paso por la ciudad de los vehículos en la dirección Sur-Norte. Este libramiento está localizado al oriente de la ciudad de Querétaro, tiene una longitud de 37 kilómetros y conecta a la autopista México-Querétaro con la carretera Querétaro-San Luis Potosí. Por su localización, ofrece ventajas tanto al transporte de paso como a los residentes locales. Por una parte el

transporte pesado circula con menores costos y tiempos en el libramiento y por otra se evita su paso por la ciudad.

En la dirección Sur-Occidente nunca se ha tenido un libramiento completo; actualmente se tiene terminado un tramo de casi 15 kilómetros. Sin embargo, no tiene la capacidad para absorber la fuerte demanda en esta dirección y está localizado prácticamente dentro de la zona urbana de Querétaro y sus municipios conurbados. Actualmente el transporte de paso en esta dirección circula por el tramo urbano de la autopista México-Querétaro en condiciones de operación inclusive más ventajosas que las que tendría de existir un libramiento, pero al mismo tiempo circula junto con un volumen muy importante de tránsito local, propiciando condiciones de seguridad inadecuadas.

En el sentido Norte-Occidente nunca ha existido un libramiento. El transporte pesado es desviado de la ciudad, lo cual beneficia a los usuarios de las vialidades locales, pero hace que este transporte circule en condiciones desventajosas.

En el presente estudio se pretende planear la infraestructura de libramientos de la ciudad de Querétaro, para lo cual se proyectó su demanda en un periodo de 20 años bajo dos diferentes escenarios: bajo, suponiendo una tasa de crecimiento anual del 2 por ciento; y alto, suponiendo esa tasa igual al 5 por ciento.

De acuerdo a estas proyecciones, pudo observarse que el Libramiento Noreste es capaz de satisfacer la demanda futura en la dirección Sur-Norte en condiciones adecuadas. En el caso de la dirección Norte-Occidente, existe un proyecto desde hace más de 15 años para construir un libramiento de dos carriles y 25 kilómetros de longitud al poniente de la ciudad. Este libramiento uniría la autopista Querétaro-Irapuato con la carretera Querétaro-San Luis Potosí. De este libramiento se tienen construidos 17 kilómetros de terracerías y la conclusión del proyecto, a un costo aproximado de 120 millones de pesos, sería suficiente para satisfacer su demanda futura.

En la dirección Sur-Occidente, se tienen tres diferentes opciones. La primera opción es completar y modernizar a cuatro carriles el actual Libramiento Sur. La segunda opción es construir un libramiento totalmente nuevo que evite totalmente la zona urbana. De éste se tiene una localización preliminar, pasando al sur del Cimatarío y uniéndose a la carretera Querétaro-Irapuato cerca del poblado San Antonio Calichal en el estado de Guanajuato. La tercera opción se reduce a confinar los carriles centrales de la autopista México-Querétaro en su paso por la ciudad, para separar el tránsito de paso del tránsito local. Esta opción involucra la construcción de barreras separadoras y la ampliación de puentes para tener también una vía rápida para el intenso tránsito local.

En la siguiente tabla se presenta una estimación de los costos involucrados en estas tres propuestas:

	PROPUESTA	COSTO (miles de pesos)
1	Completar el libramiento actual	329 000
2	Construir un nuevo libramiento	729 000
3	Confinar carriles centrales de la autopista	70 000

Resumen de propuestas en la dirección Sur-Occidente

La primera opción tiene como desventaja su cercanía con la zona urbana, por lo que sólo se recomienda su construcción como vialidad perimetral urbana. La segunda opción sería la más recomendable desde el punto de vista de los usuarios y de los efectos ambientales, teniendo la desventaja de su alto costo. Por esta razón se recomienda llevar a cabo la tercera opción en el corto plazo y dejar para años futuros la construcción del nuevo libramiento. La opción recomendada en el corto plazo (confinar los carriles centrales de la autopista México-Querétaro), debería acompañarse de la construcción de un enlace entre las dos carreteras a Celaya, para tener control de todo el tránsito de carga de paso por la ciudad.

La magnitud de los problemas actuales, causados por la falta de libramientos en la ciudad de Querétaro y el elevado costo que representa su solución, se debe tanto al crecimiento explosivo de la demanda como a la falta de planeación de los tres niveles de gobierno. De haberse tomado medidas acertadas en el pasado, no se tendría necesidad de erogar cantidades tan fuertes en el presente y el futuro. Por esto se recomienda, a fin de planear el crecimiento de los libramientos en la ciudad de Querétaro, tener siempre en cuenta, junto con las restricciones actuales, la visión de largo plazo que permita solucionar los problemas en forma definitiva.

Durante el presente estudio se detectó un crecimiento muy grande del transporte de carga que tiene como origen o destino la ciudad de Querétaro. Es indispensable la realización de estudios para determinar la infraestructura necesaria para que este tránsito circule dentro de la ciudad, lo cual debería a su vez hacerse dentro de un marco general de planeación de vialidades y transporte urbano de la zona metropolitana de Querétaro.

# PLANEACIÓN DE LOS LIBRAMIENTOS CARRETEROS DE LA CIUDAD DE QUERÉTARO

## Contenido

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Estimación de la demanda</b>	<b>2</b>
2.1	Información existente	3
2.2	Aforos de tránsito en las carreteras troncales	4
2.3	Estudio origen-destino Tepetzotlán	5
2.4	Estudio origen-destino Apaseo	8
2.5	Aforos en el Libramiento Noreste	9
2.6	Demanda estimada	10
<b>3</b>	<b>Oferta actual de libramientos</b>	<b>13</b>
3.1	Dirección Sur-Norte	13
3.2	Dirección Sur-Occidente	17
3.3	Dirección Norte-Occidente	21
<b>4</b>	<b>Condiciones actuales de operación</b>	<b>22</b>
4.1	Dirección Sur-Norte	22
4.1.1	Tiempos de recorrido	22
4.1.2	Costos de operación	26
4.2	Dirección Sur-Occidente	27
4.3	Dirección Norte-Occidente	28
4.4	Conclusiones	28
<b>5</b>	<b>Propuestas</b>	<b>29</b>
5.1	Escenarios de crecimiento	29
5.2	Dirección Sur-Norte	30
5.3	Dirección Sur-Occidente	31
5.3.1	Completar el libramiento actual	31
5.3.2	Construcción de un nuevo libramiento	33
5.3.3	Confinar carriles centrales de la autopista	35
5.3.4	Recomendaciones	38
5.4	Dirección Norte-Occidente	39
<b>6</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>41</b>
	Referencias	42
	Apéndice 1	43
	Apéndice 2	44
	Apéndice 3	47

## **PLANEACIÓN DE LOS LIBRAMIENTOS CARRETEROS DE LA CIUDAD DE QUERÉTARO**

### **1. INTRODUCCIÓN**

La finalidad del presente trabajo es planear el crecimiento de los libramientos carreteros de la ciudad de Querétaro y su zona conurbada. Para este fin se estima su demanda, sus características y condiciones actuales de operación y se proponen y evalúan opciones para mejorar su estado actual y hacer frente a su demanda futura.

Los libramientos son tramos de carretera que sirven para desviar el tránsito de paso de una ciudad (aquél que no tiene necesidad de cruzar el área urbana). De acuerdo con Anderson et al. (1993), la construcción de libramientos genera beneficios tanto para ese tránsito de paso como para los residentes de la localidad. En el primer caso, se logra que el transporte de paso tenga mejores condiciones de seguridad y se realice con menores tiempos y costos de operación. En el segundo, los vehículos locales circulan también con una mayor seguridad en sus principales arterias, al no transitar junto con vehículos pesados. Los residentes en general se benefician de menores impactos ambientales, principalmente ruido y emisión de contaminantes a la atmósfera.

El crecimiento experimentado por la ciudad de Querétaro, junto con la falta de previsión de vialidades importantes en la ciudad, ha ocasionado que, por un lado, la zona urbana esté cubriendo las carreteras principales y, por otro, éstas sean usadas como arterias urbanas. Como consecuencia se tienen severos problemas de seguridad tanto para los usuarios como para los residentes locales.

Después de esta Introducción, en la segunda sección de este trabajo se estima la demanda de tránsito de paso en la ciudad de Querétaro, utilizando diferentes fuentes de información. En la sección 3 se analizan las vialidades que utiliza actualmente este tránsito de paso. En la sección 4 se analizan las condiciones actuales de operación en dichas vías, calculando tanto tiempos de recorrido como costos de operación. En la sección 5 se proponen alternativas para mejorar la situación actual y hacer frente a la demanda futura. Finalmente, en la última sección, se tienen las conclusiones de este trabajo.



## 2. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA

Las carreteras troncales que enlazan a la ciudad de Querétaro con el resto del país se ubican siguiendo tres rutas, que podrían llamarse: Sur (México–Querétaro), Norte (Querétaro–San Luis Potosí) y Occidente (Querétaro–Irapuato libre y cuota). Para estimar la demanda de transporte en libramientos, es necesario separar el tránsito que circula a través de estas carreteras, en tránsito con origen o destino la ciudad de Querétaro y en tránsito de paso. Esto permite descomponer estos movimientos o flujos en las siguientes seis direcciones (ver **figura 1**). En este trabajo se utiliza indistintamente la notación este o oriente y oeste o poniente para conservar los nombres conocidos de vialidades.

1) Con origen o destino en Querétaro:

- Querétaro–Norte (QN)
- Querétaro–Sur (QS)
- Querétaro–Occidente (QO)

2) De paso:

- Norte–Occidente (NO)
- Sur–Norte (SN)
- Sur–Occidente (SO)

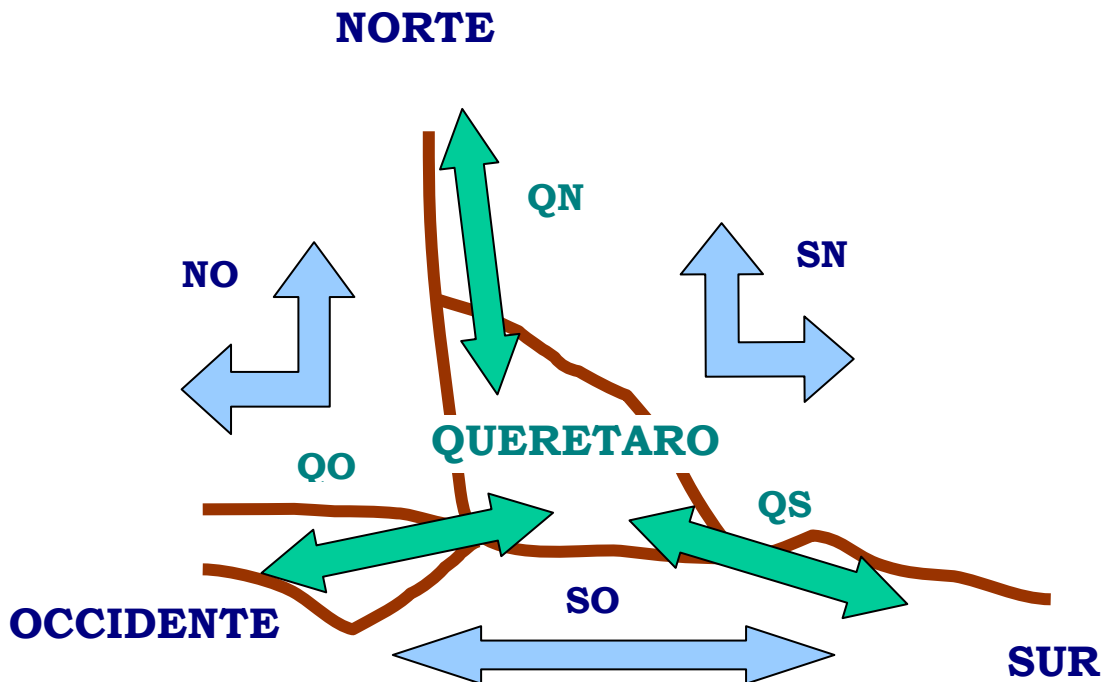


Figura 1. Direcciones de tránsito en las principales carreteras que llegan a la ciudad de Querétaro

La relación de estos seis flujos y el tránsito en las carreteras troncales se muestra en la **tabla 1**. Puede verse, por ejemplo, que el total del tránsito en la autopista México-Querétaro, se compone de los flujos: Sur-Norte, Sur-Occidente y Querétaro-Sur. Por otra parte, el flujo Sur-Occidente puede ser observado tanto en las carreteras Querétaro-Irapuato como en la autopista México-Querétaro.

CARRETERA	DIRECCION					
	NO	SN	SO	QN	QS	QO
México-Querétaro		X	X		X	
Querétaro-San Luis Potosí	X	X		X		
Querétaro-Irapuato (libre y cuota)	X		X			X
Libramiento Noreste		X				

Tabla 1. Relación entre tránsito en las direcciones principales y en las carreteras troncales

## 2.1 INFORMACIÓN EXISTENTE

Para conocer con precisión los flujos direccionales, es necesario realizar estudios origen-destino en las carreteras troncales que comunican a Querétaro. El último estudio de este tipo se realizó en 1989 y fue llamado: *Estudio del Sistema de Transporte de la Región de Querétaro* (Instituto Mexicano del Transporte (1991c)). Clasificando los resultados obtenidos, de acuerdo a los seis flujos, se obtuvieron valores del tránsito promedio diario (TPD) para automóviles (A), autobuses (B) y camiones (C), que se presentan en la **tabla 2**.

	A	B	C	TOTAL
NO	520	50	480	1 050
SN	2 280	550	2 700	5 530
SO	5 690	1 110	3 740	10 540
De Paso	8 490	1 710	6 920	17 120
QN	5 130	490	820	6 440
QS	9 230	840	1 560	11 630
QO	6 620	470	1 090	8 180
O/D Querétaro	20 980	1 800	3 470	26 250
TOTAL	29 470	3 510	10 390	43 370

Tabla 2. Tránsito promedio diario por carretera con origen o destino Querétaro y de paso en 1989

Estos flujos se actualizaron de manera indirecta utilizando diferentes datos de estudios origen-destino y aforos en carreteras troncales. Se cuenta primeramente con el estudio origen-destino Tepozotlán, realizado en la caseta del mismo

nombre en la autopista México–Querétaro, a finales de 1997 y sólo para vehículos de carga. Este estudio permite actualizar la mayor parte de los flujos Sur-Norte (SN) y Sur-Occidente (SO) y una fracción del flujo Querétaro-Sur (QS). Los flujos mencionados no pasan en su totalidad por la caseta Tepetzotlán, pues algunos vehículos circulan por carreteras alternas libres. Sin embargo estos casos no son significativos, como pudo observarse al analizar los estudios origen-destino Atlacomulco del año 1996, sobre la carretera Toluca-Palmillas y Los Angeles, realizado en 1997 sobre la carretera libre México-Pachuca.

Se usó también el estudio origen-destino Apaseo, realizado en el año 1999 sobre la carretera libre Querétaro-Irapuato (entre Apaseo el Alto y Celaya), también sólo para transporte de carga y sin su complemento en la carretera de cuota. Dicho estudio sirvió para actualizar los movimientos de carga en la dirección Norte-Occidente (NO).

Finalmente se tiene un aforo realizado en el Libramiento Noreste en septiembre del año 2000, cuando el Gobierno del Estado de Querétaro implementó un operativo para impedir el paso de vehículos de carga por la ciudad de Querétaro, los cuales tuvieron que usar el Libramiento Noreste y su aforo permitió tener una estimación reciente del tránsito de carga en la dirección Sur-Norte.

No se tienen estudios origen-destino adecuados para actualizar el movimiento de carga en las otras direcciones, o el de automóviles y autobuses en todas ellas. Algunos realizados en los años 1994 y 1995 podrían haberse utilizado, pero el efecto de la crisis económica en este último año impidió extrapolar confiablemente sus resultados. Por tanto, se utilizó la información del crecimiento de los aforos en las carreteras troncales que pasan por la ciudad de Querétaro, para completar la actualización de los restantes flujos direccionales.

## 2.2 AFOROS DE TRÁNSITO EN LAS CARRETERAS TRONCALES

En la **tabla 3** se presenta el crecimiento del tránsito de 1989 a 1999 (Secretaría de Comunicaciones y Transportes 1990, 1993, 1996, 1999a, 2000) en la carretera México–Querétaro (antes del boulevard Bernardo Quintana), en la carretera Querétaro–San Luis Potosí (antes del cruce con la carretera a San Miguel de Allende), en la carretera Querétaro–Irapuato libre (después de la colonia Los Angeles) y en la carretera Querétaro–Irapuato cuota (en el kilómetro 0). Esta tabla permite tener una idea de la evolución del tránsito en este periodo.

Se presentan también aforos en el Libramiento Noreste (Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1999c)), sin embargo estos no se extrapolaron debido a que su utilización se incrementó grandemente después de que en septiembre del año 2000 se prohibió el paso de los vehículos de carga en esta dirección por la ciudad de Querétaro.

Un indicador importante calculado es la tasa de crecimiento medio anual (TCMA) entre 1989 y 1999. Con esta tasa se extrapoló el tránsito para el año 2001. En el caso de las carreteras Querétaro-Irapuato, se calculó para el total de su flujo, dado que en la carretera libre se está llegando a un nivel tal de saturación que difícilmente podrá absorber tránsito adicional. Finalmente con el tránsito en el año 2001 se estimó la relación de este tránsito con el del año 1989 (llamado factor 01/89), para ser usado posteriormente en la actualización de los flujos.

	1989	1992	1995	1998	1999	TCMA 89-99	2001 (est.)	Fact. 01/89
México-Querétaro	26 420	33 353	33 970	37 355	41 525	4.63	45 460	1.72
Querétaro-SLP	13 567	15 267	15 120	15 716	17 568	2.62	18 500	1.36
Oro.-Irapuato (Cuota)	14 181	14 323	13 552	16 454	17 069	1.87		
Oro.-Irapuato (Libre)	6 287	7 238	8 178	10 565	10 800	5.56		
Oro.-Irapuato (TOTAL)	20 468	21 561	21 730	27 019	27 869	3.13	29 640	1.45
Libramiento Noreste			2 790	4 270				

Tabla 3. Tránsito promedio diario en las carreteras troncales de Querétaro

## 2.3 ESTUDIO ORIGEN-DESTINO TEPOTZOTLÁN

### Dirección Sur-Occidente

Con base al estudio de Tepotzotlán, se calculó el crecimiento del transporte de carga de 1989 a 1997 para los pares origen-destino más importantes en la dirección Sur-Occidente (SO), su extrapolación al año 2001 y la relación entre el tránsito en el año 2001 y en el año 1989. Los pares en 1989 se obtuvieron del documento *Estudios Origen-Destino 1989-1990* (Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1992)), pues en el *Estudio del Sistema de Transporte de la Región de Querétaro*, no se incluían explícitamente la mayoría de ellos.

Se tuvieron 34 diferentes pares en la dirección Sur-Occidente (SO), con observaciones tanto en 1989 como en 1997. En la **tabla 4** se presenta el crecimiento del transporte de carga en estos pares. Dado que éstos tuvieron una participación aproximada del 62 por ciento del movimiento total en dicha dirección en 1989, se usó su crecimiento para actualizar este flujo hasta el año 2001, suponiendo que esta participación permanece constante. Cuando se obtuvieron tasas negativas de crecimiento, en ésta y en tablas posteriores se utilizó el criterio de suponer una tasa de crecimiento igual a cero para extrapolar al año 2001. Para actualizar los flujos del año 1989 al año 2001 se obtuvo un factor promedio igual a 1.79.

PLANEACIÓN DE LOS LIBRAMIENTOS CARRETEROS DE LA CIUDAD DE QUERÉTARO

			1989	1997	TCMA	2001 (est.)	Fact. 01/89
1	México	Guadalajara	705	1 098	5.69	1 370	1.94
2	México	León	204	375	7.89	508	2.49
3	México	Celaya	319	320	0.04	321	1.01
4	México	Guanajuato	56	196	16.91	367	6.55
5	México	Morelia	65	179	13.50	298	4.58
6	México	Aguascalientes	151	207	3.99	242	1.60
7	México	Irapuato	107	159	4.99	193	1.80
8	México	Tijuana	46	109	11.32	167	3.63
9	México	Manzanillo	20	56	13.67	95	4.75
10	México	Salamanca	109	80	-3.78	80	0.73
11	México	Culiacán	54	60	1.37	63	1.17
12	México	Hermosillo	43	55	2.93	62	1.44
13	México	Mexicali	27	43	5.92	54	2.00
14	Puebla	Guadalajara	42	38	-0.16	38	0.90
15	México	Zamora	29	30	0.49	30	1.03
16	México	Silao	11	22	9.10	32	2.91
17	México	Lagos de Moreno	25	27	1.14	28	1.12
18	México	Mazatlán	14	21	5.90	26	1.86
19	México	Colima	15	21	4.17	25	1.67
20	Puebla	León	10	17	6.29	22	2.20
21	Cuernavaca	Guadalajara	5	15	15.90	27	5.40
22	México	Tepic	15	15	0.21	15	0.98
23	México	La Piedad	53	20	-11.44	20	0.38
24	Puebla	Celaya	14	10	-3.52	10	0.75
25	Puebla	Guanajuato	3	7	10.13	10	3.33
26	México	Uruapan	35	27	-3.21	27	0.77
27	Veracruz	Guadalajara	24	11	-8.94	11	0.47
28	México	Tepatitlán	33	11	-12.54	11	0.35
29	México	Ciudad Obregón	25	10	-10.59	10	0.41
30	México	S. J. de los Lagos	12	7	-6.64	7	0.55
31	México	Ocotlán	18	7	-11.66	7	0.37
32	México	Puerto Vallarta	14	5	-12.30	5	0.34
33	México	Moroleón	15	4	-16.04	4	0.25
34	México	Salvatierra	16	2	-23.50	2	0.12
		<b>Suma del Grupo</b>	<b>2 334</b>	<b>3 264</b>		<b>4 187</b>	<b>1.79</b>
		<b>Total SO</b>	<b>3 740</b>	<b>5 231</b>		<b>6 710</b>	
		<b>Participación en el total (%)</b>	<b>62.4</b>				

Tabla 4. Tránsito promedio diario estimado de camiones en la dirección Sur-Occidente (SO)

## Dirección Sur-Norte

El mismo proceso se siguió para actualizar los flujos de carga en esta dirección. Se tuvieron 22 pares que fueron observados en 1989 y 1997, lo que representó el 68 por ciento del movimiento observado en el primer año. Aunque posteriormente se utilizaron los datos más recientes del aforo en el Libramiento Noreste, se presentan los resultados en la **tabla 5** para mostrar los principales pares que forman el tránsito en esta dirección.

			1989	1997	TCMA	2001 (est.)	Fact. 01/89
1	México	Monterrey	486	841	7.09	1 106	2.28
2	México	Nuevo Laredo	356	554	5.69	691	1.94
3	México	San Luis Potosí	266	433	6.29	553	2.08
4	México	Saltillo	65	140	10.00	205	3.14
5	México	Chihuahua	82	106	3.24	120	1.46
6	México	Torreón	100	103	0.35	104	1.04
7	México	Durango	49	85	7.00	111	2.24
8	México	Zacatecas	48	78	6.23	99	2.06
9	México	Matamoros	69	82	2.18	89	1.29
10	México	Ciudad Juárez	42	58	4.09	68	1.62
11	México	Reynosa	21	44	9.99	64	3.12
12	Puebla	Nuevo Laredo	22	37	6.69	48	2.18
13	México	Monclova	41	33	-2.82	33	0.80
14	México	San José Iturbide	20	21	0.67	22	1.11
15	Puebla	Monterrey	36	27	-3.40	27	0.76
16	México	Piedras Negras	18	14	-3.10	14	0.78
17	Puebla	San Luis Potosí	15	10	-5.02	10	0.66
18	México	Ciudad Victoria	10	13	3.45	15	1.51
19	México	San Miguel Allende	19	8	-10.46	8	0.41
20	México	Dolores Hidalgo	17	5	-14.39	5	0.29
21	México	Fresnillo	17	3	-19.57	3	0.18
22	México	San Luis de la Paz	29	3	-24.70	3	0.10
	<b>Suma del Grupo</b>		<b>1 828</b>	<b>2 698</b>		<b>3 398</b>	<b>1.86</b>
	<b>Total SN</b>		<b>2 700</b>	<b>3 985</b>		<b>5 019</b>	
	<b>Participación en el total (%)</b>		<b>67.7</b>				

Tabla 5. Tránsito promedio diario estimado de camiones en la dirección Sur-Norte (SN)

## Dirección Querétaro-Sur

Para el caso del transporte de carga en esta dirección no se usó un factor único, debido al extraordinario crecimiento de este transporte entre las ciudades de México y Querétaro de 1989 a 1997. A partir de los datos observados en este último año se utilizó una tasa máxima del 10 por ciento y una mínima de 0. Los pares observados en Tepetzotlán sólo representan un 37 por ciento del transporte en esta dirección, por lo que no se consideró su crecimiento representativo del total. El porcentaje restante es principalmente transporte entre la ciudad de Querétaro y las diferentes cabeceras municipales del estado (principalmente San Juan del Río) o localidades pequeñas pero cercanas a esta ciudad. Se utilizó para este último caso un incremento del 72 por ciento, como el observado en la autopista México-Querétaro. Los resultados se muestran en la **tabla 6**, en donde la abreviación MCCM significa Municipios Conurbados a la Ciudad de México.

			1989	1997	TCMA	2001 (est.)	Fact. 01/89
1	Querétaro	México	589	2 276	18.41	3 332	5.66
2	Querétaro	MCCM	15	167	35.15	245	16.33
3	Querétaro	Puebla	30	59	8.82	83	2.77
4	Querétaro	Cuernavaca	10	15	5.20	18	1.80
5	Querétaro	Veracruz	27	23	-1.98	23	0.85
6	Querétaro	Acapulco	3	8	13.04	12	4.00
	Suma del Grupo		674	2 548		3 713	5.51
	Resto SQ		1 130	1 534		1 943	1.72
	Total SQ		1 804	4 082		5 656	3.14

Tabla 6. Tránsito promedio diario estimado de camiones en la dirección Sur-Querétaro (SQ)

## 2.4 ESTUDIO ORIGEN-DESTINO APASEO

### Dirección Norte-Occidente

Dado que no se tiene un estudio similar sobre la autopista de cuota para complementarlo, se calculó un porcentaje de repartición de vehículos de carga en ambas carreteras. Para este fin se compararon los vehículos observados en la dirección Sur-Occidente en el estudio de Tepetzotlán y en este estudio de Apaseo. El tránsito en Tepetzotlán se actualizó al año 1999 con las tasas de crecimiento presentadas en la **tabla 4**. En la **tabla 7** puede observarse que casi el 53 por ciento de los vehículos de carga en esta dirección usaron la carretera libre.

			Total	Libre	Libre (%)
1	México	Guadalajara	1 199	531	44.3
2	México	León	433	207	47.8
3	México	Celaya	310	278	89.7
4	México	Morelia	226	61	27.0
5	México	Aguascalientes	219	139	63.5
6	México	Irapuato	171	122	71.3
7	México	Tijuana	130	32	24.6
8	México	Manzanillo	70	55	78.6
9	México	Salamanca	68	62	91.2
10	México	Culiacán	60	39	65.0
11	México	Hermosillo	57	32	56.1
12	México	Mexicali	48	10	20.8
13	México	Zamora	29	16	55.2
14	México	Silao	27	16	59.3
15	México	Mazatlán	24	13	54.2
16	México	Colima	21	16	76.2
17	Cuernavaca	Guadalajara	17	9	52.9
18	Puebla	Guanajuato	8	4	50.0
	<b>Suma del Grupo</b>		<b>3 117</b>	<b>1 642</b>	<b>52.7</b>
	<b>Total SO</b>		<b>5 689</b>		
	<b>Participación en el total (%)</b>		<b>54.8</b>		

Tabla 7. Porcentaje camiones en la dirección Sur-Occidente (SO) que usaron la carretera libre Querétaro-Irapuato

En la **tabla 8** se presenta el total de vehículos de carga observados en la dirección Norte-Occidente, así como sus principales pares. El total en 1999 se obtuvo aplicando el porcentaje de repartición del 52.7 por ciento y el total para el año 2001 usando la tasa de crecimiento anual del 3.1 por ciento observada en las dos carreteras Querétaro-Irapuato. El factor de crecimiento de 1989 a 2001 se calculó dividiendo el total estimado de vehículos de carga para este último año (660), entre el estimado en 1989 (480). El resultado fue igual a 1.38.

## 2.5 AFOROS EN EL LIBRAMIENTO NORESTE

A partir del operativo mencionado para evitar el paso de vehículos de carga de paso por la avenida 5 de Febrero de la ciudad de Querétaro, se realizó un aforo de los vehículos de carga que circularon por este libramiento. Después de una semana, el aforo se estabilizó en un valor promedio de 6 100 vehículos de carga,



valor que se proyectó a 6 400 para el año 2001. Este aforo proporciona una estimación directa de los movimientos en la dirección Sur-Norte para vehículos de carga, pues es prácticamente la única opción que tienen.

			Libre 1999	Total 1999	Total 2001
1	Celaya	San Luis Potosí	38	72	77
2	Celaya	Monterrey	31	59	63
3	Saltillo	Celaya	14	27	29
4	Morelia	Monterrey	13	25	27
5	Celaya	San José Iturbide	12	23	24
6	San José Iturbide	Guadalajara	11	21	22
7	Lázaro Cárdenas	Monterrey	10	19	20
8	Irapuato	Monterrey	10	19	20
9	Irapuato	Nuevo Laredo	8	15	16
10	Apaseo el Alto	San José Iturbide	7	13	14
11	Celaya	Nuevo Laredo	6	11	12
12	Salamanca	Monterrey	6	11	12
13	Celaya	Tampico	5	9	10
14	Cortazar	San Luis Potosí	5	9	10
15	Salamanca	San Luis Potosí	5	9	10
16	Uruapan	Monterrey	5	9	10
	<b>Suma del Grupo</b>		<b>186</b>	<b>351</b>	<b>376</b>
	<b>Total NO</b>		<b>327</b>	<b>620</b>	<b>660</b>
	<b>Participación en el total (%)</b>		<b>56.9</b>		

Tabla 8. Tránsito promedio diario estimado de camiones en la dirección Norte-Occidente (NO)

## 2.6 DEMANDA ESTIMADA

Para los movimientos no cubiertos con los estudios anteriores, se utilizó el crecimiento de los aforos en las carreteras troncales (**tabla 3**) para actualizar sus flujos. En el caso de movimientos con origen o destino Querétaro, se utilizó el factor observado de crecimiento entre 1989 y 2001 de la carretera utilizada. En el caso de los movimientos de paso, se utilizó el promedio del factor observado en las dos carreteras utilizadas (ver **tabla 2**). Para este fin se consideró como si sólo existiera una sola carretera Querétaro-Irapuato. Estos factores se presentan en la **tabla 9**, junto con los factores obtenidos previamente.

Al aplicar los factores obtenidos anteriormente a la matriz del año 1989 (**tabla 2**), se calculó una primera estimación de esta demanda, presentada en la **tabla 10**.

	A	B	C
NO	1.41	1.41	1.38
SN	1.54	1.54	2.37
SO	1.58	1.58	1.79
QN	1.36	1.36	1.36
QS	1.72	1.72	3.14
QO	1.45	1.45	1.45

Tabla 9. Factores utilizados para actualizar flujos del año 1989 al año 2001

	A	B	C	TOTAL
NO	730	70	660	1 460
SN	3 510	850	6 400	10 760
SO	8 990	1 750	6 690	17 430
De Paso	13 230	2 670	13 750	29 650
QN	6 980	670	1 120	8 770
QS	15 880	1 440	4 900	22 220
QO	9 600	680	1 580	11 860
O/D Querétaro	32 460	2 790	7 600	42 850
TOTAL	45 690	5 460	21 350	72 500

Tabla 10. Tránsito promedio diario por carretera con origen o destino Querétaro y de paso (estimación preliminar para el año 2001)

Sumando estos flujos en las carreteras que utilizan y comparándolos con los aforos estimados para el año 2001, puede observarse que se generan flujos mayores a estos últimos valores (ver **tabla 11**). Dado que la información sobre aforos es más confiable que la obtenida (en forma indirecta) para los flujos direccionales, es necesario corregir estos últimos flujos. En el caso de la autopista México-Querétaro, se le sumó el aforo estimado del Libramiento Noreste debido a que los vehículos en la dirección Sur-Norte utilizan ambas vías.

Para realizar esta corrección es necesario disminuir los flujos direccionales, de tal manera que su suma en las diferentes carreteras utilizadas sea igual a los valores estimados de los aforos. Dado que existe un número infinito de formas de realizar este ajuste, se emplearon modelos matemáticos para realizarlo.

DIRECCION	CARRETERA		
	México–Qro. Libr. Noreste	Qro.–SLP	Qro.–Irapuato
NO		1 460	1 460
SN	10 760	9 380	
SO	17 430		17 430
QN		8 770	
QS	22 220		
QO			11 860
SUMA	50 410	19 610	30 750
AFORO 2001	50 350	18 500	29 640
Diferencia	+ 60	+ 1 110	+ 1 110

Tabla 11. Relación entre tránsito diario en las direcciones principales y aforos en carreteras

En particular se emplearon modelos de programación lineal, desarrollados con este propósito (Instituto Mexicano del Transporte (1991b)). Dichos modelos permitieron considerar diferentes objetivos al realizar el ajuste, como fueron: minimizar la suma total de cambios en los flujos y minimizar los cambios relativos entre los flujos. A su vez este último objetivo se dividió en dos sub-objetivos: minimizar los cambios en las relaciones entre los diferentes tipos de vehículos (automóviles, autobuses y camiones) y minimizar los cambios en las relaciones entre los diferentes flujos direccionales. El modelo utilizado se resume en el **apéndice 3**.

En la **tabla 12** se presentan los resultados finales obtenidos con la información existente. Para una mayor precisión, sería necesario realizar costosos estudios origen-destino en todas las carreteras troncales de Querétaro.

	A	B	C	TOTAL
NO	700	70	640	1 410
SN	3 380	820	6 200	10 400
SO	8 670	1 690	6 450	16 810
De Paso	12 750	2 580	13 290	28 620
QN	5 350	510	860	6 720
QS	16 560	1 500	5 100	23 160
QO	9 250	660	1 520	11 430
O/D Querétaro	31 160	2 670	7 480	41 310
TOTAL	43 910	5 250	20 770	69 930

Tabla 12. Tránsito promedio diario por carretera con origen o destino Querétaro y de paso en 2001

### 3. OFERTA ACTUAL DE LIBRAMIENTOS

En esta sección se analizan las características que tienen actualmente los libramientos de la ciudad de Querétaro. Dado que sólo el Libramiento Noreste de Querétaro fue construido con tal propósito, se estudian también los tramos de carreteras que actualmente cumplen de alguna manera con esta función. Estos libramientos y tramos carreteros pueden verse en la **figura 2**, en donde también se incluyen las opciones de las nuevas vialidades analizadas en la sección 5.

#### 3.1 DIRECCIÓN SUR–NORTE

A lo largo de los años, el tránsito en esta dirección ha seguido las carreteras México-Querétaro y Querétaro-San Luis Potosí. La primera de ellas ha pasado de la actual Avenida Constituyentes a su ubicación actual, al concluirse su modernización a autopista de cuatro carriles en el año de 1968 totalmente dentro de la zona urbana de Querétaro. La carretera Querétaro-San Luis Potosí no ha tenido cambios de ubicación, sin embargo al ser también alcanzada por la zona urbana propició la construcción del Libramiento Norte de la ciudad en el año 1972. Tiempo después, gracias a la existencia de este libramiento, los primeros seis kilómetros de la carretera Querétaro-San Luis Potosí se transformaron en la avenida urbana 5 de Febrero.

El Libramiento Norte se construyó muy cerca de la zona urbana, por lo que fue rebasado por ésta en muy poco tiempo, contribuyendo a la construcción del actual Libramiento Noreste, este sí suficientemente alejado de la ciudad. Cuando tal libramiento entró en operación en el año 1992, el Libramiento Norte se transformó en la avenida urbana Bernardo Quintana, quedando prohibido el paso de vehículos de carga a través de ella.

El Libramiento Noreste se construyó mediante un convenio entre la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y el Gobierno del Estado, mismo que recibió la concesión para su construcción y operación, teniéndose también la participación de la iniciativa privada. Tiene una longitud de 37 kilómetros, iniciando en la autopista México-Querétaro a la altura de El Colorado y terminando en la carretera Querétaro-San Luis Potosí, a la altura del entronque con la carretera a San Miguel de Allende.

Hasta hace apenas un año, este libramiento había tenido un aforo relativamente pequeño debido a la percepción de los transportistas de que la cuota era elevada y al mismo tiempo por la facilidad y comodidad de circular a través de la ciudad de Querétaro a velocidades relativamente altas y sin detener la marcha en ningún momento.

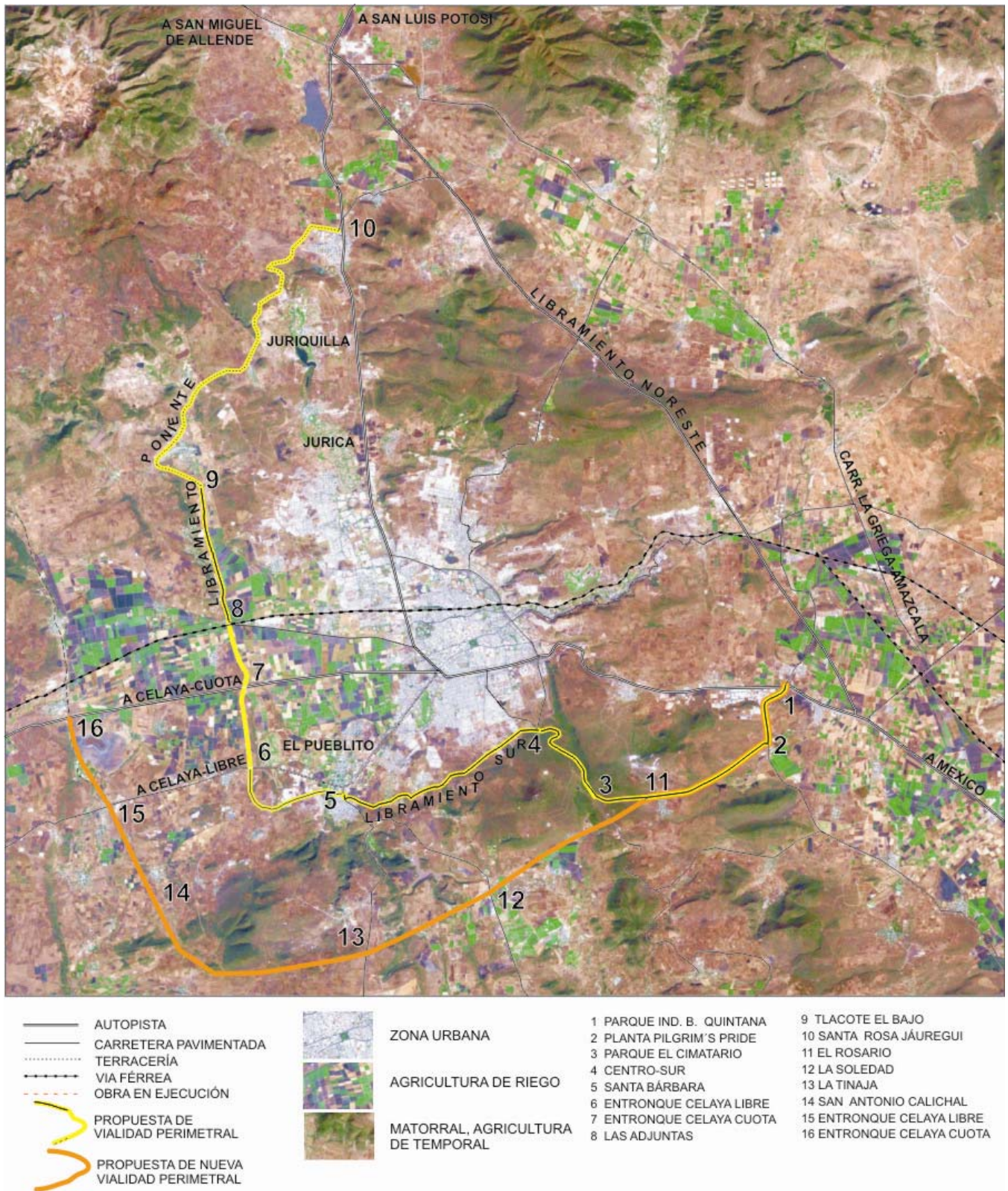


Figura 2 Libramientos carreteros de la ciudad de Querétaro

Esta situación se pone de manifiesto al compararse su aforo con el del Libramiento Oriente de San Luis Potosí en el año 1998 (**tabla 13**)

	Libramiento Noreste de Querétaro	Libramiento Oriente de San Luis Potosí
Longitud (km)	37	34
Longitud vía alterna (km)	50	45
Tarifa T3-S2 año 1998 (\$)	45	54
Tarifa T3-S2 año 1998 (\$/km)	1.20	1.59
TDPA (carga) 1998	1 776	2 625
Demanda diaria vehículos carga 1998	4 050	3 500
Captación vehículos carga 1998 (%)	44	75

Tabla 13. Comparación de la captación de transporte de carga en los libramientos de Querétaro y San Luis Potosí en el año 1998

Como puede verse, ambos libramientos tienen casi la misma longitud, cobraban similares tarifas, la vía alterna cubre casi la misma distancia y el movimiento potencial de carga es en su mayor parte el mismo. Este movimiento de carga en el Libramiento de San Luis Potosí se forma con los vehículos que van de la ciudad de México o el sur del país al Noroeste del mismo. La diferencia tan grande en captación puede explicarse también por la disposición del municipio de San Luis Potosí de no permitir el paso de camiones de carga por la ciudad durante el día.

La demanda para el libramiento de Querétaro en el año 1998 se estimó siguiendo el mismo procedimiento descrito en la sección anterior. La demanda para el libramiento de San Luis Potosí se estimó como un 86 por ciento de la de Querétaro. Este porcentaje se calculó con los estudios de 1989, sumando los pares que podrían hacer uso del libramiento de San Luis pero no del de Querétaro, y restar aquellos que podrían hacer uso de este último pero no del primero.

Debido principalmente a su baja utilización, el Libramiento Noreste de Querétaro fue incluido en las obras concesionadas rescatadas por el Gobierno Federal y entregadas para su operación a Caminos y Puentes Federales de Ingreso (CAPUFE). A pesar de sus aforos reducidos, y debido posiblemente a una mala construcción, el libramiento tuvo que sufrir recientemente la colocación de una nueva carpeta de concreto hidráulico de 30 centímetros de espesor, obra concluida en el año 2000.

A su vez, esta baja utilización ocasionó un aumento sensible del tránsito de vehículos de carga en la avenida 5 de Febrero de la ciudad de Querétaro, presentándose la combinación de este tráfico con la presencia de un gran

número de vehículos ligeros. Simultáneamente, la ocurrencia frecuente de accidentes motivó al Gobierno del Estado a lograr también en el año 2000, un convenio con CAPUFE y asociaciones de transportistas para lograr que éstos utilicen el Libramiento Noreste con tarifas reducidas. Como resultado de este convenio, el aforo en el libramiento ha crecido considerablemente, lográndose simultáneamente una mayor utilización de esta infraestructura y mejores condiciones de seguridad en la avenida urbana 5 de Febrero.

Como alternativa a este libramiento, un número pequeño de transportistas, con el propósito de evitar el pago de cuota, usan la carretera La Griega-Amazcala, que parte de El Colorado, pasa por las citadas localidades y entronca con la carretera a San Luis Potosí a la altura de la desviación a San Miguel de Allende, prácticamente en paralelo con el Libramiento Noreste. En la actualidad se está trabajando en la construcción de pequeños libramientos en las localidades de Amazcala y La Griega, quedando pendiente la conexión de esta vía con la carretera a San Luis Potosí.

Las características generales de estas carreteras se presentan en la **tabla 14**, en la que además se presenta una estimación del número máximo (capacidad) de vehículos de carga que podrían circular por día, bajo un nivel de servicio D. El nivel de servicio es una medida cualitativa que define las condiciones de operación de un tramo carretero y su percepción por el usuario. Estos niveles van desde A (el mejor) hasta F (el peor). La capacidad en el nivel de servicio D podría interpretarse como el número máximo de vehículos que podrían circular en condiciones de flujo todavía estables. En la **tabla 14** y en posteriores se usan las abreviaturas T para indicar entronque y NS para indicar nivel de servicio.

TRAMO	Long. (km)	No. carriles	Ancho carril (m)	Ancho Acotamiento (m)	Capacidad veh. carga (NS D)
<b>1. LIBRAMIENTO NORESTE</b>					
El Colorado					
T. San Miguel Allende	37	4	3.50	1.50	17 400
<b>2. CARRETERA LA GRIEGA-AMAZCALA</b>					
El Colorado					
T. Bernal	3.3	2	3.50	0.00	5 500
Chichimequillas	23.3	2	3.50	0.00	5 500
T. San Miguel Allende	16.7	2	3.50	1.50	2 300
<b>Total</b>	<b>43.3</b>				<b>2 300</b>

Tabla 14. Características generales de libramientos en la dirección Sur-Norte

En el **apéndice 1** se presentan definiciones simplificadas de nivel de servicio, adaptadas del Manual de Capacidad de Carreteras (Instituto Mexicano del Transporte (1991a)) y en el **apéndice 2** se presenta un resumen del método

empleado para calcular estas capacidades, también tomado de la anterior referencia.

### 3.2 DIRECCIÓN SUR–OCCIDENTE

A diferencia de los libramientos en la dirección Sur-Norte, en la dirección referida nunca se ha tenido un libramiento completo. Actualmente se tiene terminado sólo un tramo para dar servicio a los vehículos que circulan en dicha dirección. Este tramo de libramiento se conoce como Sur-Poniente, aunque en este trabajo se le dará el nombre de Libramiento Sur, para diferenciarlo del tramo Poniente, el cual tiene una demanda (tránsito en la dirección Norte-Occidente) bastante más reducida.

Esta parte del Libramiento Sur fue construida por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, a petición del Gobierno del Estado de Querétaro. Actualmente se tiene terminado un tramo de 9.5 kilómetros que conduce de la salida de la carretera Querétaro-Huimilpan (en la **figura 2** este punto es llamado Centro Sur) a Santa Bárbara, en el municipio de Corregidora. Además, durante el año 2000 se empezó la construcción del tramo que va de Santa Bárbara hasta el entronque con la carretera libre a Celaya (5.7 kilómetros), incluyendo un puente vehicular sobre el río El Pueblito. Falta por terminar sólo un pequeño tramo (aproximadamente 500 metros) cerca de la zona urbana de Santa Bárbara.

Queda pendiente la conexión de estos tramos con la autopista México-Querétaro en un extremo y con la carretera de cuota a Celaya, en otro. La primera de ellas se planeó realizar desde la localidad de La Noria, sin embargo debido a lo accidentado del terreno no ha sido construida, contemplándose ahora la alternativa de usar tramos de tres carreteras estatales para lograr esta conexión.

El primer tramo, de aproximadamente 2.8 kilómetros, pertenece a la carretera estatal 431; empieza en la autopista México-Querétaro a la altura del Parque Industrial Bernardo Quintana y termina cerca de la fábrica Pilgrim's Pride. En este último punto se continúa con la carretera estatal 420, la cual pasa por la localidad El Rosario y termina a la altura del Parque El Cimatario. Este segundo tramo cubre una longitud de 7.8 kilómetros. El tercer tramo corresponde a una parte de la carretera estatal 400 que va de Querétaro a Huimilpan, mismo que tiene un recorrido de 5.5 kilómetros, después del cual y a la altura del Centro Sur de Querétaro continúa con el tramo ya construido del Libramiento Sur. Las características generales de estas carreteras se presentan en la **tabla 15**.



TRAMO	Long. (km)	No. carriles	Ancho carril (m)	Ancho Acot. (m)	Capacidad veh. carga (NS D)
<b>1. LIBRAMIENTO SUR</b>					
P. Bernardo Quintana					
Pilgrim's Pride	2.8	2	3.50	0.00	1 700
Parque El Cimatario	7.8	2	3.50	0.00	1 700
Centro Sur	5.5	2	3.50	0.00	900
Santa Bárbara	9.5	2	3.50	1.00	2 100
T. Celaya Libre	5.7	2	3.50	1.00	6 900
T. Celaya Cuota	3.6	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>34.9</b>				<b>900</b>

Tabla 15. Características generales de libramientos en la dirección Sur-Occidente

### Capacidad de las vías utilizables

A diferencia de la dirección Sur-Norte, donde hay un libramiento de gran capacidad, o de la dirección Norte-Occidente donde la demanda es baja, en esta dirección se presenta el más fuerte problema, la demanda es la más alta de las tres direcciones y no existe un libramiento que pueda satisfacerla. Por esta razón se estudia con mayor detalle la capacidad de cada uno de los tramos que podrían conformar este Libramiento Sur.

Las carreteras señaladas como vías que pueden usarse para canalizar el flujo de vehículos Sur-Poniente, actualmente sólo pueden satisfacer una parte muy pequeña de la demanda, situación que se complicaría bastante a futuro al crecer previsiblemente la demanda.

Los tramos mencionados, al ser de sección angosta y en terrenos de lomerío o aún de lomerío fuerte en las inmediaciones del Cimatario, presentan una capacidad muy limitada. Aplicando la metodología del Manual de Capacidad de Carreteras, puede estimarse el número máximo de vehículos (principalmente de carga) que podrían circular por aquellos tramos. Los datos utilizados en este proceso están resumidos en la **tabla 16**. En este caso, para estimar el máximo número de camiones se utilizó un porcentaje de automóviles y autobuses igual a cero. Para pasar de flujos en vehículo por hora a vehículos diarios, y por la falta de datos más precisos, se utilizó un factor horario de 0.1. Este factor significa que en la hora de mayor demanda circula el 10 por ciento del total diario.

En la **tabla 17** se presenta el número máximo de camiones que podrían circular para diferentes niveles de servicio. Como era de esperarse, el tramo del Cimatario al Centro Sur es el de menor capacidad. En dicho tramo podrían circular aproximadamente un máximo de 2 240 camiones diarios. Para apreciar la

problemática, debe decirse que esta última cantidad no es ni siquiera el 40 por ciento de la demanda actual y el nivel de servicio E se tiene cuando se acerca a la capacidad máxima de un tramo, por lo que las condiciones de operación son bastantes malas, con flujo inestable, velocidades sumamente reducidas y sin posibilidad práctica de maniobra. Por otra parte, la demanda se espera que crezca en el futuro a tasas muy elevadas.

Tramo	Terreno	% No-Rebase	No. Carril.	Ancho (m)	
				Carril	Acot.
Parque industrial Bernardo Quintana					
Pilgrim's Pride	Lomerío	60	2	3.50	0.00
Parque El Cimatario	Lomerío	60	2	3.50	0.00
Centro Sur	Lomerío Fuerte	80	2	3.50	0.00
Santa Bárbara	Lomerío	80	2	3.50	1.00
T. Celaya Libre	Plano	40	2	3.50	1.00

Tabla 16. Parámetros para determinar flujos máximos

TRAMO	Nivel de Servicio				
	A	B	C	D	E
Parque Bernardo Quintana					
Pilgrim's Pride	220	610	1 150	1 700	4 070
Parque El Cimatario	220	610	1 150	1 700	4 070
Centro Sur	100	320	600	900	2 240
Santa Bárbara	230	690	1 370	2 100	4 500
T. Celaya Libre	1 030	2 190	3 750	6 900	12 500

Tabla 17. Número máximo de camiones de carga bajo diferentes niveles de servicio

Estos números, de hecho, serían menores de considerarse un nivel de servicio más adecuado y sumando la circulación de autobuses y automóviles. En la **figura 3** se presenta esta capacidad al nivel de servicio D, al variar el porcentaje de camiones del 0 al 100, siendo el porcentaje restante exclusivamente de automóviles. Cuando este porcentaje es cero, se obtendría el máximo de vehículos diarios bajo este nivel de servicio (aproximadamente 7400 automóviles); cuando este porcentaje es 100, se obtiene el mínimo número de vehículos, pero máximo número de camiones, que es de 870. Un dato más realista sería suponer porcentajes máximos de camiones de carga de 50 o 60 por ciento, en cuyo caso el número máximo de camiones sería de aproximadamente 800.

Debe señalarse también que no se consideró el tránsito actual en estos tramos, el cual ya es considerable en el tramo que va del Parque Bernardo Quintana a

Pilgrim's Pride. Aunque este tránsito es menor en el tramo que resulta ser el cuello de botella, aún reduciría más este número.

Con todas estas consideraciones se estima que la demanda que podría absorberse, en lugar de ser casi el 40 por ciento, llegaría sólo al 15 ó 20. Del mismo Manual de Capacidad de Carreteras, puede inferirse que al aumentar el ancho de carril e introducir acotamientos aumentaría la capacidad solamente en un 30 o 40 por ciento. Por lo dicho se llega a la conclusión de que los tramos citados, para servir realmente como libramientos, tendrían que modernizarse a vías de cuatro carriles.

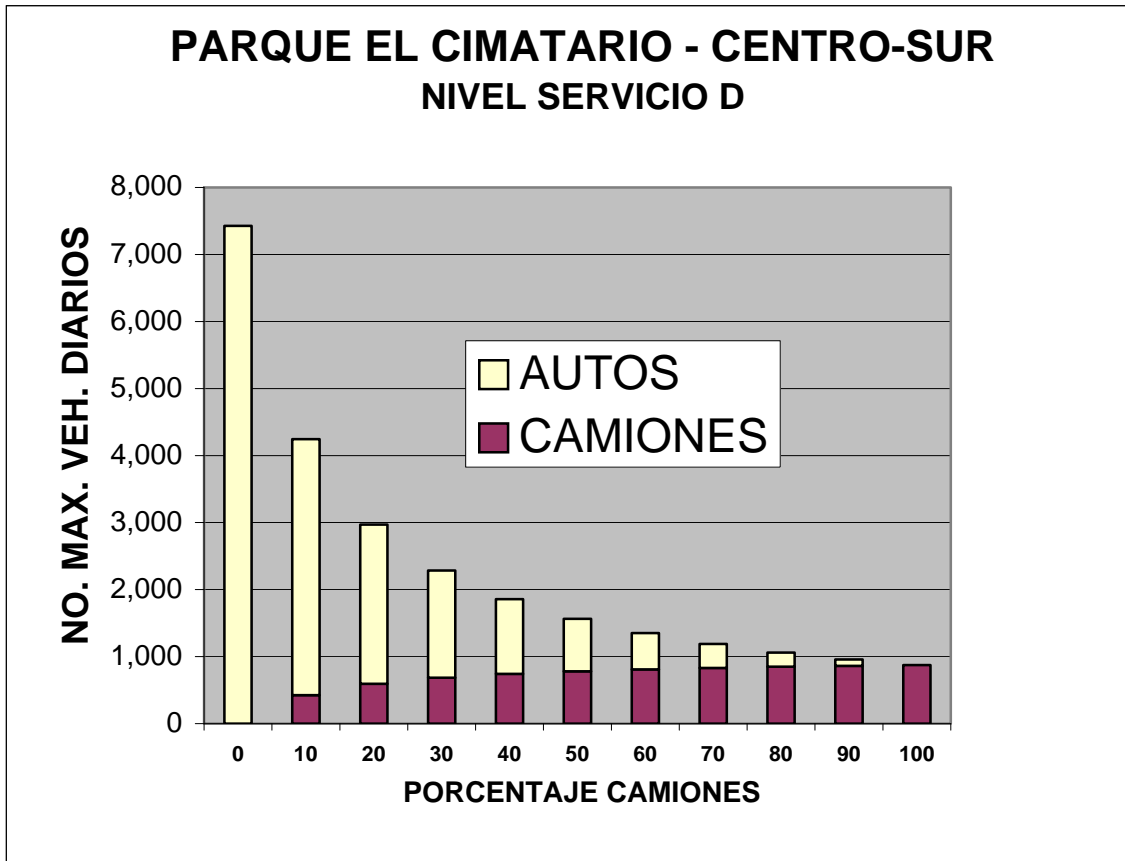


Figura 3. Número máximo de automóviles y camiones de carga en el tramo Parque El Cimatario-Centro Sur

## Intersecciones

Al estar formado este posible libramiento por tramos de distintas carreteras, se tiene un gran número de intersecciones: en Parque industrial Bernardo Quintana, Pilgrim's Pride, Parque El Cimatarío, Centro Sur y Santa Bárbara. Todas estas intersecciones, a excepción de la primera, son a nivel y diseñadas para flujos de tránsito muy pequeños, por lo que requerirían inversiones cuantiosas para adecuarlas. La primera intersección, aunque utiliza un paso a desnivel de la autopista México–Querétaro, no es de capacidad suficiente, aun para el tránsito actual.

### 3.3 DIRECCIÓN NORTE–OCCIDENTE

Aunque en esta dirección no se tiene ninguna vía para desviar el tránsito, desde hace más de 15 años se inició la construcción de un libramiento que parte del poblado de Santa Rosa Jáuregui y que, librando a la ciudad de Querétaro, se comunica con las carreteras de cuota y libre a Celaya. Existe una terracería que va de Santa Rosa Jáuregui hasta entroncar con el camino pavimentado estatal a Tlacote El Bajo. Este tramo de terracería puede unirse con parte de la carretera de esta última ciudad a Querétaro, y después desde un lugar llamado Adjuntas podría construirse la conexión con la carretera de cuota a Celaya (ver **figura 2**).

Dados los niveles relativamente bajos de la demanda en esta dirección, el Libramiento podría ponerse en operación completando estos tramos, construyendo los pasos a desnivel necesarios en los extremos del libramiento y reforzando el pavimento de la Carretera a Tlacote. Las características generales de esta vía se presentan en la **tabla 18**.

TRAMO	Long. (km)	No. carriles	Ancho carril (m)	Ancho Acot. (m)	Capacidad veh. carga (NS D)
<b>1. LIBRAMIENTO PONIENTE</b>					
T. Celaya Cuota					
Las Adjuntas	3.0	-	-	-	
Tlacote El Bajo	4.7	2	3.50	0.00	5 500
Santa Rosa Jáuregui	17.1	-	-	-	
<b>Total</b>	<b>24.8</b>				<b>5 500</b>

Tabla 18. Características generales de libramientos en la dirección Norte-Occidente

## **4. CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN**

En esta sección se estudian las principales características de operación de los libramientos o de las vías que sirven como tales a la ciudad de Querétaro. Se estiman sus tiempos de recorrido y costos de operación y se comparan estas características con las que se tienen, haciendo el recorrido a través de la ciudad. Las condiciones señaladas se estiman para vehículos de carga, por ser éstos los que representan el mayor problema a su paso por la ciudad. Las estimaciones se hicieron de manera precisa en la dirección Sur-Norte, en donde existe un libramiento completo, y de manera mucho más aproximada en las vías correspondientes a las otras dos direcciones, al no contarse con libramientos completos.

Para los vehículos de carga se utiliza la notación: C2 y C3 para indicar camiones unitarios de dos y tres ejes respectivamente; T3-S2 y T3-S3 para indicar camiones articulados con tractor de tres ejes en ambos casos y semirremolque de dos y tres ejes respectivamente; finalmente T3-S2-R4 para indicar camiones articulados con tractor de tres ejes, semirremolque de dos ejes y remolque de cuatro ejes. Estas cinco opciones son las que conforman la mayoría de los camiones de carga en circulación en nuestro país.

### **4.1 DIRECCIÓN SUR-NORTE**

En esta sección se comparan los tiempos y costos de operación de vehículos de carga, circulando por el Libramiento Noreste o a través de la ciudad de Querétaro. Actualmente no está permitido el tránsito de los vehículos en esta dirección por la ciudad, sin embargo se incluyen los resultados obtenidos para resaltar las ventajas que obtienen los transportistas al circular por el libramiento.

#### **4.1.1 TIEMPOS DE RECORRIDO**

En esta dirección se midieron de manera precisa, utilizando el método de placas (L. Lazo y G. Sánchez (1981)), los tiempos de recorrido de vehículos de carga, usando el Libramiento Noreste y circulando a través de la ciudad de Querétaro. En este último caso el tiempo de recorrido se tomó empezando en la autopista México-Querétaro a la altura del entronque al Libramiento Noreste, siguiendo después la avenida 5 de Febrero y finalmente la carretera Querétaro-San Luis Potosí, hasta el entronque con el mismo Libramiento Noreste.

En el caso del recorrido a través de la ciudad, el estudio se realizó el día 17 de agosto del 2000, en el sentido Norte-Sur. En el caso del Libramiento Noreste, se hizo el día 18 de agosto del 2000 y en el sentido Sur-Norte. En ambos casos se llevó a cabo entre las 9:00 y las 10:30 horas, tiempo que se consideró representativo de las horas de mayor demanda. Ambos sentidos utilizados tienen los tiempos más desfavorables por las pendientes de ascenso que presentan.

La tabla de frecuencias de los tiempos de recorrido a través de la ciudad de Querétaro se presentan en la **tabla 19**, el histograma de estos tiempos en la **figura 4** y un resumen de sus estadísticas principales en la **tabla 20**.

Rango	Frecuencia
31-35	9
36-40	15
41-45	17
46-50	6
51-55	2
>55	2
<b>TOTAL</b>	<b>51</b>

Tabla 19. Tabla de frecuencias de los tiempos de recorrido de vehículos de carga a través de la ciudad de Querétaro en la dirección Sur-Norte

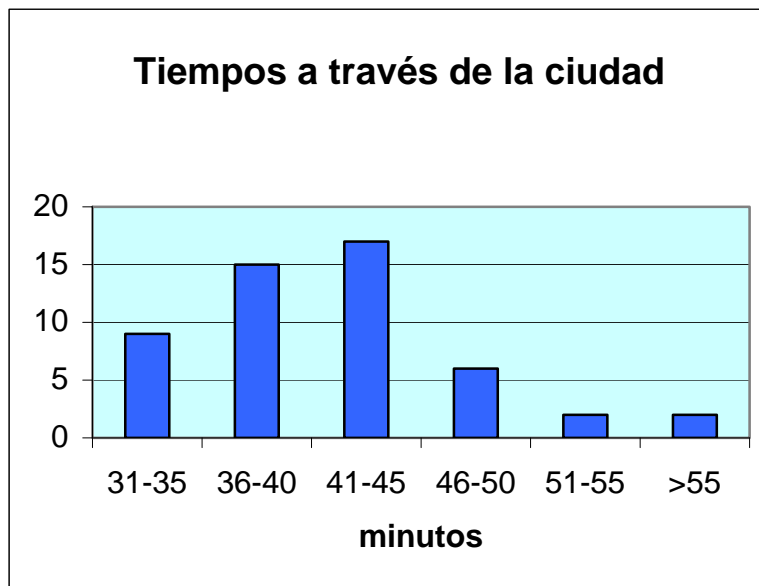


Figura 4. Tiempos de recorrido de vehículos de carga a través de la ciudad de Querétaro en la dirección Sur-Norte

Estadística	
Número de observaciones	51
Tiempo mínimo (minutos)	31
Tiempo máximo (minutos)	56
Media muestral (minutos)	41.27
Desviación estándar (minutos)	5.96
Coefficiente de variación	0.14
Intervalo de confianza (95%) de la media	(40.44, 42.10)
Error de estimación	2.0 %

Tabla 20. Resumen de estadísticas del tiempo de recorrido a través de la ciudad de Querétaro en la dirección Sur-Norte

La tabla de frecuencias de los tiempos de recorrido a través del Libramiento Noreste se presenta en la **tabla 21**, el histograma de estos tiempos en la **figura 5**, mientras que un resumen de sus estadísticas principales en la **tabla 22**.

En ambos casos se tuvo una estimación con un porcentaje de error pequeño y se observó que no existen diferencias significativas en los tiempos de recorrido entre diferentes tipos de vehículos de carga.

Rango	Frecuencia
21-25	5
26-30	9
31-35	4
36-40	1
41-45	2
TOTAL	21

Tabla 21. Tabla de frecuencias de los tiempos de recorrido de vehículos de carga a través del Libramiento Noreste

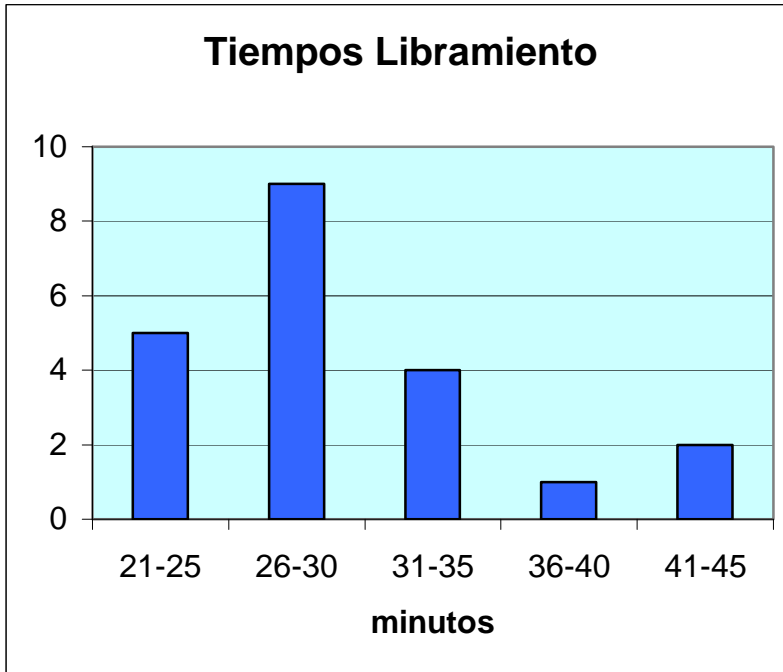


Figura 5. Tiempos de recorrido de vehículos de carga a través del Libramiento Noreste

Estadística	
Número de observaciones	21
Tiempo mínimo (minutos)	23
Tiempo máximo (minutos)	44
Media muestral (minutos)	29.38
Desviación estándar (minutos)	5.71
Coefficiente de variación	0.19
Intervalo de confianza (95%) de la media	(28.13, 30.63)
Error de estimación	4.3 %

Tabla 22. Resumen de estadísticas del tiempo de recorrido a través de la ciudad de Querétaro en la dirección Sur-Norte

#### 4.1.2 COSTOS DE OPERACIÓN

Para estimar los costos de operación de vehículos que circulan por el libramiento noreste o por su alternativa a través de la avenida 5 de Febrero, se utilizaron ecuaciones derivadas del Modelo VOC (Vehicle Operating Costs) del Banco Mundial. Las ecuaciones pueden consultarse en la publicación *Criterios para Establecer la Cuota Optima en una Autopista de Cuota* (Instituto Mexicano del Transporte (1995)). De esta misma publicación se tomaron los datos de IIR (Índice Internacional de Rugosidad) y pendiente media del camino. Los datos fueron actualizados a enero del 2001 con el Índice Nacional de Precios. Los parámetros utilizados se indican en la **tabla 23**.



TIPO DE VEHICULO	CUOTA			LIBRE		
	Velocidad Km/hr	IIR m/km	Pendiente %	Velocidad Km/hr	IIR m/km	Pendiente %
C2	77	2.5	3	70	4	3
C3	77	2.5	3	70	4	3
T3-S2	77	2.5	3	70	4	3
T3-S3	77	2.5	3	70	4	3
T3-S2-R4	77	2.5	3	70	4	3

Tabla 23. Datos para el cálculo de costos de operación de vehículos de carga en la dirección Sur-Norte

En la **tabla 24** se indican los costos de operación unitarios en ambas alternativas y en el total de sus recorridos. Como puede verse, resulta una disminución considerable en los costos para el transportista, al circular sobre la autopista de cuota.

TIPO DE VEHICULO	LIBRAMIENTO DE CUOTA (37 km)				LIBRE (48.1 km)		Ahorro en Libr. (\$)
	Costo oper. (\$/km)	Costo oper. (\$)	Tarifa (\$)	Costo oper. total (\$)	Costo oper. (\$/km)	Costo oper. total (\$)	
C2	5.12	189.35	40	229.35	6.21	298.58	69.23
C3	7.16	265.06	40	305.06	8.21	395.08	90.02
T3-S2	13.05	483.02	45	528.02	14.60	702.23	174.21
T3-S3	13.80	510.77	45	555.77	15.30	736.09	180.32
T3-S2-R4	17.35	642.05	60	702.05	18.81	904.86	202.81

Tabla 24. Costos de operación de vehículos de carga en la dirección Sur-Norte

El mismo procedimiento se siguió para calcular costos de operación en la carretera La Griega-Amazcala, mientras que los tiempos de recorrido en esta carretera fueron sólo estimados sobre la base de un recorrido por ella. El resumen de las condiciones de operación en esta dirección se presenta en la **tabla 25**, sólo para los vehículos tipo T3-S2.

TRAMO	Longitud (km)	Tiempo (min)	Costo oper. (\$)	Tarifa (\$)
Libramiento Noreste	37	29	480	45
Carretera La Griega-Amazcala	43.3	42	640	0
A través de la ciudad de Querétaro	48.1	41	700	0

Tabla 25. Condiciones de operación para vehículos de carga en la dirección Sur-Norte

## 4.2 DIRECCIÓN SUR–OCCIDENTE

En esta dirección, los tiempos de recorrido para los tramos existentes de libramiento se estimaron también sobre la base de un recorrido por ellos, y para los tramos no terminados simplemente se usó una velocidad típica para vehículos de carga circulando en carreteras de dos carriles con similar pendiente del terreno. Dichas velocidades fueron también usadas para estimar costos de operación. Para el recorrido por la zona urbana, se utilizaron las velocidades obtenidas en los recorridos a través de Querétaro en la dirección Sur-Norte. El resumen se presenta en la **tabla 26**.

TRAMO	Longitud (km)	Tiempo (min)	Costo oper. (\$)	Tarifa (\$)
Libramiento Sur	34.9	33	520	0
A través de la ciudad de Querétaro	24.0	19	320	0

Tabla 26. Condiciones de operación para vehículos de carga (T3-S2) en la dirección Sur-Occidente

Debe de notarse que, a diferencia de la dirección Sur-Norte, en la que el libramiento ofrecía un recorrido de menor distancia y ayudaba a obtener menores tiempos de recorrido y costos de operación, en esta dirección el libramiento presenta un recorrido mucho más largo al tener que rodear la ciudad. Como consecuencia no se tiene una situación como la anterior, en la que al usarse el libramiento se obtienen beneficios tanto para los transportistas como para los usuarios urbanos.

Aun cuando estuvieran todos los tramos del libramiento completos y en las condiciones adecuadas, el tiempo de recorrido para el transportista de carga y por consiguiente sus costos de operación aumentarían sensiblemente. Por otro lado, el volumen tan alto de vehículos pesados que circula junto con vehículos ligeros en la parte de la autopista México-Querétaro ya totalmente dentro de la mancha urbana, presenta condiciones de seguridad poco aceptables.

## 4.3 DIRECCIÓN NORTE-OCCIDENTE

En esta dirección, para estimar tiempos, se hizo un recorrido por la carretera a Tlacote, y en el tramo sin pavimentar se usaron velocidades típicas para vehículos de carga. Para el recorrido por la zona urbana se utilizaron también las velocidades obtenidas en los recorridos a través de Querétaro en la dirección Sur-Norte. El resumen se presenta en la **tabla 27**.

TRAMO	Longitud (km)	Tiempo (min)	Costo oper. (\$)	Tarifa (\$)
Libramiento Poniente	24.8	23	360	0
A través de la ciudad de Querétaro	27.5	23	330	0

Tabla 27. Condiciones de operación para vehículos de carga en la dirección Norte-Occidente

En esta dirección, al igual que en la Sur-Norte, existe el potencial de beneficios mutuos tanto para transportistas de carga como para usuarios urbanos. Como puede verse en la tabla anterior, el tiempo en ambas opciones sería prácticamente el mismo, lo cual se debe a que el proyecto de este libramiento es ya muy antiguo, corre casi en forma paralela al trayecto urbano y por lo mismo no ahorra mucha distancia.

#### 4.4 CONCLUSIONES

Solamente en la dirección Sur-Norte se tiene un libramiento que ofrece ventajas tanto al transporte de paso como a los residentes locales, pues por una parte se evita el paso del transporte pesado por la ciudad, y por la otra, éste circula con menores costos y tiempos al usar el libramiento.

En la dirección Sur-Occidente, el transporte de paso circula por el tramo urbano de la autopista México-Querétaro en condiciones inclusive más ventajosas que las que tendría de existir un libramiento en esta dirección. Sin embargo los residentes locales tienen que circular junto con este transporte en condiciones de inseguridad, además de soportar el ruido y la emisión de contaminantes.

La situación se invierte en el sentido Norte-Occidente, donde el transporte pesado no circula por la ciudad, pero al ser desviado tiene que soportar mayores tiempos y costos de operación.

En la siguiente sección se analizan opciones tendientes a resolver estos problemas.

## 5. PROPUESTAS

En esta sección se analizan diferentes propuestas para satisfacer la demanda de tránsito de paso actual y a futuro. Se empieza haciendo proyecciones a la matriz origen-destino estimada para el año 2001 y posteriormente se proponen acciones en cada una de las tres direcciones que sigue el tránsito de paso en Querétaro.

### 5.1 ESCENARIOS DE CRECIMIENTO

A partir de la matriz estimada en la **tabla 12** y de acuerdo a las tasas de crecimiento observadas (**tabla 3**), se calculó el crecimiento posible de este tránsito, suponiendo dos escenarios: escenario bajo (crecimiento medio del 2 por ciento anual) y escenario alto (crecimiento medio del 5 por ciento anual). En la **tabla 28** se presentan estas proyecciones.

AÑO	TRANSITO PROMEDIO DIARIO					
	NORTE-OCCIDENTE		SUR-NORTE		SUR-OCCIDENTE	
	Esc. bajo (2%)	Esc. alto (5%)	Esc. bajo (2%)	Esc. alto (5%)	Esc. bajo (2%)	Esc. alto (5%)
2001	1 410	1 410	10 400	10 400	16 810	16 810
2002	1 438	1 481	10 608	10 920	17 146	17 651
2003	1 467	1 555	10 820	11 466	17 489	18 533
2004	1 496	1 632	11 037	12 039	17 839	19 460
2005	1 526	1 714	11 257	12 641	18 196	20 433
2006	1 557	1 800	11 482	13 273	18 560	21 454
2007	1 588	1 890	11 712	13 937	18 931	22 527
2008	1 620	1 984	11 946	14 634	19 309	23 653
2009	1 652	2 083	12 185	15 366	19 696	24 836
2010	1 685	2 187	12 429	16 134	20 090	26 078
2011	1 719	2 297	12 678	16 941	20 491	27 382
2012	1 753	2 412	12 931	17 788	20 901	28 751
2013	1 788	2 532	13 190	18 677	21 319	30 188
2014	1 824	2 659	13 454	19 611	21 746	31 698
2015	1 860	2 792	13 723	20 591	22 180	33 283
2016	1 898	2 931	13 997	21 621	22 624	34 947
2017	1 936	3 078	14 277	22 702	23 077	36 694
2018	1 974	3 232	14 563	23 837	23 538	38 529
2019	2 014	3 393	14 854	25 029	24 009	40 455
2020	2 054	3 563	15 151	26 280	24 489	42 478
2021	2 095	3 741	15 454	27 594	24 979	44 602

Tabla 28. Escenarios de crecimiento del tránsito de paso por la ciudad de Querétaro

Estas proyecciones deben tomarse sólo como un marco de referencia, en el que podría hablarse de un rango de valores entre los cuales, con mucha probabilidad, se tendría esta demanda en el futuro. Existen sin embargo eventos que podrían reducir esta demanda. Entre ellos se tiene el aumento en la actividad de los ferrocarriles después de su privatización y la posibilidad de una mayor utilización de la autopista México-Guadalajara.

Los porcentajes de automóviles, autobuses y camiones se suponen constantes e iguales a los estimados en el año base, como se presentan en la **tabla 29**.

DIRECCION	TIPO DE VEHICULO		
	A (%)	B (%)	C (%)
Norte-Occidente	50	5	45
Sur-Norte	32	8	60
Sur-Occidente	52	10	38

Tabla 29. Composición vehicular supuesta

## 5.2 DIRECCIÓN SUR-NORTE

En esta dirección el actual Libramiento Noreste de Querétaro tiene capacidad suficiente para absorber la demanda futura, por lo que no se propone realizar ninguna obra. En la **tabla 30** se presentan los niveles de servicio que se tendrían bajo los dos escenarios de demanda mencionados, calculados en su tramo más crítico (terreno de lomerío). Puede observarse que este nivel sería muy bueno o satisfactorio excepto en el caso de que la demanda creciera muy fuertemente (escenario alto) y en un periodo cercano a los 20 años. Aun en ese caso, podría ser suficiente la construcción de un carril de ascenso en el tramo crítico de lomerío solamente.

	TPD (ESC. BAJO)	NIVEL SERVICIO	TPD (ESC. ALTO)	NIVEL SERVICIO
<b>2001</b>	10 400	B	10 400	B
<b>2006</b>	11 482	B	13 273	B
<b>2011</b>	12 678	B	16 941	C
<b>2016</b>	13 997	C	21 621	D
<b>2021</b>	15 454	C	27 594	F

Tabla 30. Nivel de Servicio del Libramiento Noreste para los dos escenarios de demanda

### 5.3 DIRECCIÓN SUR-OCCIDENTE

La oferta actual de libramientos es insuficiente para satisfacer la demanda, por lo que se espera en el futuro que se siga utilizando el tramo urbano de la autopista México-Querétaro tanto para el tránsito de paso como para el local, empeorando la situación actual de inseguridad. Se proponen tres soluciones a este problema: la primera consiste en completar y modernizar a cuatro carriles el actual Libramiento Sur; la segunda en desarrollar un libramiento totalmente nuevo; la tercera en confinar los carriles centrales de la autopista México-Querétaro en su paso por la ciudad, para separar los flujos locales de los flujos de largo itinerario.

Los costos unitarios usados para evaluar estas alternativas y otras en este trabajo, se obtuvieron a partir de datos del *Catálogo de Costos de Mantenimiento de Carreteras* (Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1999b)).

#### 5.3.1 COMPLETAR EL LIBRAMIENTO ACTUAL

En esta alternativa se propone construir los tramos que faltan para unir el actual Libramiento Sur a las autopistas México-Querétaro y Querétaro-Irapuato. Como se mencionó anteriormente, es necesario ampliar a cuatro carriles esta vía en toda su extensión, para tener la capacidad suficiente para satisfacer la demanda. Las acciones necesarias se pueden agrupar en los siguientes rubros:

##### **Pavimentos**

Construcción de dos carriles en 25.6 kilómetros de terreno en lomerío con un costo de \$ 2'860 000 por kilómetro-carril, que da como resultado un total de \$ 146'432 000; dos carriles en 5.7 kilómetros de terreno plano con un costo de \$ 2'200 000 por kilómetro-carril lo que resulta en \$ 25'080 000; y cuatro carriles en 3.6 kilómetros al mismo costo, lo que da \$ 31'680 000.

##### **Estructuras**

Construcción de seis pasos superiores con enlaces, a un costo de \$ 20'000 000, lo que da un total de \$ 120'000 000. Los pasos se ubicarían en los siguientes lugares: entronque con la carretera a los Cues, entronque con la carretera Querétaro-Huimilpan, desarrollo Centro Sur, Santa Bárbara, entronque con la carretera Querétaro-Irapuato y entronque con la autopista Querétaro-Irapuato.

##### **Expropiaciones**

Expropiar terrenos pendientes cerca de la zona de Santa Bárbara. Se estima un área de 500 metros de longitud por 60 metros de ancho (para completar el

derecho de vía), lo que equivale a 30 000 metros cuadrados, que a razón de \$ 200 por metro cuadrado da un total de \$ 6'000 000.

El resumen de los costos de estas obras se presenta en la **tabla 31**.

TRAMO	Long. (km)	No. carriles	Terreno	Acción	Costo est. (miles \$)
<b>PAVIMENTOS</b>					
P. Bernardo Quintana					
Pilgrim's Pride	2.8	2	Lomerío	Ampliar a 4 carriles	16 016
Parque El Cimatarío	7.8	2	Lomerío	Ampliar a 4 carriles	44 616
Centro Sur	5.5	2	Lomerío fuerte	Ampliar a 4 carriles	31 460
Santa Bárbara	9.5	2	Lomerío	Ampliar a 4 carriles	54 340
T. Celaya Libre	5.7	2	Plano	Ampliar a 4 carriles	25 080
T. Celaya Cuota	3.6	-	Plano	Carretera 4 carriles	31 680
<b>Suma</b>	<b>34.9</b>				<b>203 192</b>
<b>ESTRUCTURAS</b>					<b>120 000</b>
<b>EXPROPIACIONES</b>					<b>6 000</b>
<b>TOTAL</b>					<b>329 192</b>

Tabla 31. Acciones necesarias para completar el Libramiento Sur

### Capacidad

En la **tabla 32** se presentan los niveles de servicio que se tendrían bajo los dos escenarios de demanda calculados en el tramo más crítico (lomerío fuerte) de este libramiento. Este nivel sería muy poco satisfactorio después de los primeros cinco años, lo que puede explicarse al compararlo con la situación en la autopista México-Querétaro. En el escenario alto, dentro de 20 años, la demanda estimada y el tipo de terreno serían equivalentes a las condiciones actuales de esta autopista México-Querétaro en la Cuesta China. En este último tramo se tienen además de los seis carriles normales, dos carriles adicionales que resultan de habilitar como tales a los acotamientos.

	TPD (ESC. BAJO)	NIVEL SERVICIO	TPD (ESC. ALTO)	NIVEL SERVICIO
<b>2001</b>	16 810	C	16 810	C
<b>2006</b>	18 560	D	21 454	E
<b>2011</b>	20 491	D	27 382	F
<b>2016</b>	22 624	F	34 947	F
<b>2021</b>	24 979	F	44 602	F

Tabla 32. Nivel de Servicio al completar el Libramiento Sur (tramo más crítico)

La recomendación sería construir la carretera de cuatro carriles y ampliarla cuando aumente significativamente su demanda, sólo en los tramos que así lo requieran.

### 5.3.2 CONSTRUCCIÓN DE UN NUEVO LIBRAMIENTO

Algunos tramos del actual Libramiento Sur están localizados dentro de la zona urbana de Querétaro; es de esperarse que en el futuro esta situación se agrave, al crecer la zona metropolitana aún más hacia el sur. La segunda opción es construir un nuevo libramiento que quede lo suficientemente alejado de la actual zona urbana, como para asegurar que en el futuro no sea absorbido por ésta.

A continuación se presenta una primera aproximación a la localización de este libramiento (ver **figura 2**), una localización más precisa requeriría de estudios de mayor detalle, que están fuera del alcance de este trabajo. Empezaría desde la autopista México–Querétaro a la altura del Parque Industrial Bernardo Quintana, un primer tramo sería igual al propuesto para completar el libramiento actual, usando la carretera estatal 431, hasta la fábrica Pilgrim’s Pride y la carretera estatal 420, pasando por la localidad El Rosario. Aproximadamente medio kilómetro después de esta punto, empezaría una nueva carretera.

Este nuevo trazo cruzaría la carretera Querétaro-Huimilpan; pasaría por el sur del Cerro del Cimatarío (a la altura de La Noria); cruzaría la carretera Corregidora-Huimilpan; pasaría el río El Pueblito (a la altura de Purísima de San Rafael); pasaría la localidad de La Poza; cruzaría la carretera Corregidora-Coroneo (a la altura de la localidad La Tinaja); pasaría por el sur de los cerros La Cruz y Las Vacas; pasaría al oeste del poblado San Antonio Calichal (ya en el estado de Guanajuato); cruzaría la carretera libre Querétaro-Irapuato; y finalmente entroncaría con la autopista Querétaro-Irapuato al oeste de la laguna El Salitre. Para lo anterior se requieren las siguientes acciones:

#### **Pavimentos**

Construir 43 kilómetros de carretera, de los cuales 17 kilómetros son de cuatro carriles en terreno plano a un costo de \$ 2’200 000 por kilómetro-carril, resultando en \$ 149’600 000; 20.2 kilómetros están en terreno de lomerío a un costo de \$ 2’860 000 por kilómetro-carril, de los cuales 8.8 kilómetros requieren sólo dos carriles adicionales y 11.4 requieren los cuatro carriles, totalizando \$ 180’752 000; y 5.8 kilómetros en terreno montañoso a \$ 5’500 000 por kilómetro-carril, resultando en \$ 127’600 000. El total sería de \$ 457’952 000.

#### **Derecho de vía**

Comprar 60 metros a lo largo de 34.2 kilómetros y suponiendo un costo promedio de \$ 60 por metro, resulta en un total de \$ 123’120 000.



## Estructuras

Construir nueve estructuras: Una glorieta en el entronque de la autopista México-Querétaro con la desviación a los Cues a un costo de \$ 900 000; cinco pasos superiores y enlaces a un costo de \$ 20'000 000 por unidad, lo que resulta en \$ 100'000 000; y tres pasos superiores a un costo de \$ 15'600 00 cada uno y suma de \$ 46'800 000. Estas acciones tendrían un costo total de \$ 147'700 000.

Los pasos superiores con enlaces se ubicarían en: entronque con la carretera a los Cues; entronque con la carretera Querétaro–Huimilpan; entronque con la carretera Corregidora–Coroneo; entronque con la carretera Querétaro–Celaya; y entronque con la autopista Querétaro–Irapuato. Los pasos superiores estarían en: entronque con la carretera Corregidora–Huimilpan; puente sobre el Río Pueblito; y puente sobre el Río Bravo.

Las principales características de este libramiento se presentan en la **tabla 33**.

TRAMO	Km	Acum	Terreno	Acción	Costo est. (miles \$)
<b>PAVIMENTOS</b>					
T. Autopista México-Querétaro	0.0	0.0			
Pilgrim's Pride	2.8	2.8	Lomerío	Ampliar a 4 carriles	16 016
El Rosario + 0.5 km	6.0	8.8	Lomerío	Ampliar a 4 carriles	34 320
T. Carr. Querétaro-Huimilpan	2.0	10.8	Lomerío	Construir 4 carriles	22 880
La Noria	1.2	12.0	Montañoso	Construir 4 carriles	26 400
Carretera Corregidora-Huimilpan	4.8	16.8	Plano	Construir 4 carriles	42 240
La Poza	3.4	20.2	Plano	Construir 4 carriles	29 920
La Tinaja	2.5	22.7	Lomerío	Construir 4 carriles	28 600
T. Carr. Corregidora-Coroneo	0.9	23.6	Plano	Construir 4 carriles	7 920
	0.7	24.3	Plano	Construir 4 carriles	6 160
	3.7	28.0	Lomerío	Construir 4 carriles	42 328
	4.6	32.6	Montañoso	Construir 4 carriles	101 200
San Antonio Calichal	3.2	35.8	Lomerío	Construir 4 carriles	36 608
T. Carr. Querétaro-Irapuato	3.0	38.8	Plano	Construir 4 carriles	26 400
T. Autopista Querétaro-Irapuato	4.2	43.0	Plano	Construir 4 carriles	36 960
<b>Suma</b>	<b>43.0</b>				<b>457 952</b>
<b>DERECHO DE VIA</b>					<b>123 120</b>
<b>ESTRUCTURAS</b>					<b>147 700</b>
<b>TOTAL</b>					<b>728 772</b>

Tabla 33. Acciones necesarias para construir el nuevo Libramiento Sur

## Capacidad

En este caso el análisis de capacidad sería similar al mostrado en la **tabla 32** y por consiguiente se tendría la misma recomendación: construir la carretera de cuatro carriles y ampliarla cuando se incremente la demanda.

### 5.3.3 CONFINAR CARRILES CENTRALES DE LA AUTOPISTA MÉXICO-QUERÉTARO

Esta opción consiste en separar los flujos generados por el tránsito de paso (de largo itinerario) y el tránsito local, a través de confinar los carriles centrales de la autopista mediante barreras separadoras e implementar un control estricto de accesos, de tal suerte que no puedan mezclarse estos dos flujos. Adicionalmente convendría complementar esta acción con la construcción del tramo entre las dos carreteras a Celaya (parte de las dos opciones anteriores) para tener un mejor control del tránsito pesado que usa la carretera libre a Celaya.

Actualmente los tránsitos tanto de largo itinerario como local son bastante intensos y no se tiene ningún control de accesos, lo que repercute en mucha inseguridad para todos los usuarios y una contaminación ambiental significativa tanto en emisiones a la atmósfera como en ruido. De acuerdo al trabajo *Estudio de Vialidad y Transporte Urbano de Querétaro, Qro. Informe de Inventario* (Cal y Mayor y Asociados S. C. (1994)), se tenía en el año 1993 un tránsito diario promedio superior a 65 000 vehículos. Proyectando este volumen, es muy probable que actualmente circulen cerca de 90 000 vehículos diarios, de los cuales la mayoría son locales. Dentro de esta alternativa, sería necesario entonces construir además de los carriles centrales confinados, una vía rápida lateral para absorber este intenso tránsito local. La sección tipo se muestra en la **figura 6**.

#### Carriles centrales

En esta solución, se convertiría la actual vialidad de 5 500 metros (desde el final de la Cuesta China hasta la plaza de toros Santa María) en dos vías simultáneas: al centro una vía rápida (*expressway*) sin entradas ni salidas, confinando totalmente cuatro carriles de alta velocidad lo suficientemente anchos (4.00 metros más sus respectivos acotamientos), como para que el tránsito pesado pueda circular con seguridad a velocidades máximas de 120 kilómetros por hora.

#### Carriles laterales

Para el tránsito urbano que requiere de accesos y salidas en todas las avenidas que convergen a esta vía, se propone la construcción de dos carriles adicionales, para tener en total ocho carriles de 3.60 metros de ancho cada uno. Cuatro de estos carriles formarían una vía rápida exclusiva para el tránsito local (dos



### Pasos peatonales

En virtud del confinamiento descrito, se propone la construcción de al menos tres pasos peatonales de 60 metros de largo cada uno, lo que representa una longitud total de 180 metros a un costo de \$ 22 000 por metro (incluyendo rampas de acceso e iluminación), dando un total de \$ 3'960 000.

### Señalamientos

En virtud de las características descritas para el confinamiento de vehículos de largo itinerario y la circulación libre del tránsito urbano en los carriles laterales, es de vital importancia un señalamiento de tránsito especial, tanto al inicio como al final de la nueva vía. Este señalamiento indicaría al usuario que entra a la vía rápida central que no habrá ninguna entrada o salida intermedia a lo largo de los siguientes 5.5 kilómetros y alertaría al tránsito urbano para usar los ocho carriles laterales tanto para circular como para acceder las avenidas convergentes. El costo estimado para dos señales de 53 metros de ancho con iluminación es de \$ 2'350 000.

### Pavimentos

Construcción de 2 carriles nuevos a lo largo de 5.5 kilómetros, que a \$ 2'200 000 por kilómetro-carril, da un total de \$ 24'200 000.

### Estructuras

Ampliación de 4 puentes de longitud promedio de 50 metros en dos carriles, que a un costo de \$ 54 000 por metro-carril, representa \$ 21'600 000.

Un resumen de estos costos se presenta en la **tabla 34**.

Acción	Costo estimado (miles de pesos)
Barreras New Jersey	14 025
Malla ciclónica	3 597
Pasos Peatonales	3 960
Señalamiento	2 350
Pavimentos	24 200
Estructuras	21 600
<b>TOTAL</b>	<b>69 732</b>

Tabla 34. Acciones necesarias para confinar carriles centrales de la autopista México-Querétaro

## Capacidad

En la **tabla 35** se presenta el análisis de capacidad para esta opción, puede observarse que para la sección proyectada el nivel de servicio sería muy bueno inclusive en el escenario alto y dentro de 20 años. Esto es consecuencia de que el tramo más crítico es terreno plano. El cruce del terreno de montaña de los vehículos en esta dirección, sería usando el tramo actual de la autopista en la Cuesta China.

	TPD (ESC. BAJO)	NIVEL SERVICIO	TPD (ESC. ALTO)	NIVEL SERVICIO
<b>2001</b>	16 320	A	16 320	A
<b>2006</b>	18 019	A	20 829	B
<b>2011</b>	19 894	A	26 584	B
<b>2016</b>	21 965	B	33 928	C
<b>2021</b>	24 251	B	43 302	C

Tabla 35. Nivel de Servicio al confinar los carriles centrales de la autopista México-Querétaro

### 5.3.4 RECOMENDACIONES

El resumen de las tres propuestas se presenta en la **tabla 36**. La primera opción no se recomienda como libramiento por encontrarse ya dentro de la zona urbana, aunque se recomienda terminarla para ser usada como vialidad perimetral urbana. La segunda opción sería la más conveniente pues permitiría satisfacer la demanda y al mismo tiempo atenuar los efectos ambientales adversos sobre la Zona Metropolitana de Querétaro. Sin embargo y debido al alto costo de esta segunda opción, se recomienda en caso de no ser posible su implementación en el corto plazo, llevar a cabo lo más pronto posible la opción de confinar los carriles centrales de la autopista, junto con la construcción de un enlace entre las dos carreteras a Celaya. Esta última opción tendría la ventaja de su menor costo.

	PROPUESTA	COSTO (miles de pesos)
1	Completar el libramiento actual	329 000
2	Construir un nuevo libramiento	729 000
3	Confinar carriles centrales de la autopista	70 000

Tabla 36. Resumen de propuestas en la dirección Sur-Occidente

## 5.4 DIRECCIÓN NORTE-OCCIDENTE

En esta dirección la única acción propuesta es completar la parte poniente del antiguo proyecto del Libramiento Surponiente de Querétaro. En este tramo se tienen construidas las terracerías en su mayor parte y a diferencia de la parte sur del proyecto, casi no se tienen problemas de crecimiento de la mancha urbana. Sin embargo habría que cuidar que no se rebasara a este libramiento, principalmente en las inmediaciones de Juriquilla y Santa Rosa Jáuregui. Por otra parte, dado que la demanda es relativamente pequeña, no es necesario aumentar los dos carriles propuestos en el proyecto original.

El estado actual de las terracerías implica la construcción de dos tipos de pavimentos, dependiendo de los terrenos de cimentación existentes: de buena calidad en el tramo entre Santa Rosa Jáuregui y Tlacote El Bajo (17.1 kilómetros) y de calidad pobre en el tramo entre este último poblado y la autopista a Celaya (7.7 kilómetros).

El costo estimado de estas acciones sería:

### Pavimentos

En el tramo entre Santa Rosa Jáuregui y Tlacote El Bajo, con buen terreno de cimentación y ubicado en lomerío, es necesario solamente construir tres capas: sub base, base y carpeta asfáltica. Estos trabajos tienen un costo estimado de \$ 2'263 000 por kilómetro, por lo que en una longitud de 17.1 kilómetros representa un total de \$ 38'697 300. En el segundo tramo, dado el pobre terreno de cimentación, habría que construir cinco capas: mejora del terreno de cimentación, subrasante, sub base, base y carpeta asfáltica. Estas actividades en terreno plano, tienen un costo aproximado de \$ 5'657 000 por kilómetro, que por los 7.7 kilómetros de longitud del tramo dan como resultado un total de \$ 43'558 900.

### Estructuras

Se necesitan construir dos pasos a desnivel con sus respectivos enlaces en los entronques con las autopistas a Celaya y a San Luis Potosí, con un costo estimado cada uno de \$ 14'000 000. Además se necesita un paso superior para cruzar las vías del ferrocarril, con un costo estimado de \$10'000 000. En total se tiene un costo de \$38'000 000.

El resumen de estos costos se presenta en la **tabla 35**.

Acción	Costo estimado (miles de pesos)
Pavimentos	82 256
Estructuras	38 000
<b>TOTAL</b>	<b>120 256</b>

Tabla 35. Acciones necesarias para construir el Libramiento Poniente

## Capacidad

Haciendo el análisis para la sección más crítica (lomerío), puede observarse en la **tabla 36** que el nivel de servicio sería adecuado e incluso podría soportar cantidades moderadas del tránsito urbano que pudiera usar esta vía.

	TPD (ESC. BAJO)	NIVEL SERVICIO	TPD (ESC. ALTO)	NIVEL SERVICIO
<b>2001</b>	1 410	B	1 410	B
<b>2006</b>	1 557	C	1 800	C
<b>2011</b>	1 719	C	2 297	C
<b>2016</b>	1 898	C	2 931	D
<b>2021</b>	2 095	C	3 741	D

Tabla 36. Nivel de Servicio del Libramiento Poniente

## 6. CONCLUSIONES

El Libramiento Noreste de cuota satisface la demanda en la dirección Sur–Norte en condiciones favorables para los transportistas, además de evitar el paso diario de alrededor de 6 000 unidades de carga por la ciudad de Querétaro.

En el caso de la dirección Sur–Occidente, el Libramiento Sur no tiene actualmente la capacidad suficiente como para soportar el tránsito actual y en consecuencia se agravaría el problema en el futuro. Además en el tramo Centro Sur–Santa Bárbara se vislumbra un crecimiento de la mancha urbana, que en poco tiempo convertiría esta vía en vialidad local e incrementaría los riesgos que provoca la mezcla de tránsito de carga con unidades ligeras en cantidades importantes.

Para la solución a este problema se contemplan otras dos alternativas: una es la construcción de un nuevo libramiento que evite completamente la zona urbana, y la otra es separar el tránsito urbano del de largo itinerario en la actual autopista México-Querétaro mediante el empleo de barreras separadoras y un control estricto de accesos en la zona urbana. La primera opción sería la más recomendable desde el punto de vista de los usuarios y de los efectos ambientales, sin embargo su alto costo conduce a recomendar la construcción de la segunda opción en el corto plazo (acompañada de la construcción de un enlace entre las dos carreteras a Celaya) y aplazar para años futuros la construcción del nuevo libramiento.

Por lo que respecta a la dirección Norte–Occidente, aunque el aforo actual es bajo, los costos de operación para las unidades de carga son elevados al no permitírseles actualmente el paso por la ciudad. La solución inmediata parece ser el completar el viejo proyecto del Libramiento Poniente de Querétaro.

La gravedad de los problemas actuales se debe tanto al crecimiento explosivo de la demanda, como a la falta de planeación de los tres niveles de gobierno. Es significativo que en la ciudad de Querétaro no existen vías rápidas que hayan sido concebidas como tales. Todas las vialidades de este tipo han sido en algún momento carreteras, habilitadas posteriormente como vías urbanas al ser invadidas por la zona urbana. Existe la necesidad de realizar estudios que contemplen un horizonte de largo plazo, para planear en forma adecuada la solución de problemas.

Durante el presente estudio se detectó un crecimiento muy grande del transporte de carga que tiene como origen o destino la ciudad de Querétaro. Es indispensable la realización de estudios para determinar la infraestructura necesaria para que este transporte circule dentro de la ciudad, lo cual debería a su vez hacerse dentro de un marco general de planeación de vialidades y transporte urbano de la zona metropolitana de Querétaro.



## REFERENCIAS

S. J. Anderson, R. Harrison, M. A. Euritt, H. S. Mahmassani, C. M. Walton and R. Heloakoski (1993). **Economic Impact of Highway Bypasses**. Research Report 1247-3F. Center for Transportation Research. Austin, Texas.

Cal y Mayor y Asociados S. C. (1994). **Estudio de Vialidad y Transporte Urbano de Querétaro, Qro. Informe de Inventario**. Querétaro, Qro.

Instituto Mexicano del Transporte (1991a). **El Manual de Capacidad Vial de 1985 (Una Visión Ejecutiva)**. Publicación Técnica No. 17. Querétaro, Qro.

Instituto Mexicano del Transporte (1991b). **Estimación de Demanda de Tránsito en Carreteras Combinando Estudios Origen-Destino con Aforos**. Publicación Técnica No. 25. Querétaro, Qro.

Instituto Mexicano del Transporte (1991c). **Estudio del Sistema de Transporte de la Región de Querétaro**. Publicación Técnica No. 27. Querétaro, Qro.

Instituto Mexicano del Transporte (1995). **Criterios para Establecer la Cuota Optima en una Autopista de Cuota**. Publicación Técnica No. 60. Querétaro, Qro.

L. Lazo y G. Sánchez (1981). **Una Fisonomía de la Ingeniería de Tránsito**. Miguel Angel Porrúa, México, D.F.

R. Steuer (1986). **Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation and Application**. John Wiley and Sons, New York.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1990). **Datos Viales 1989**. México, D. F.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1992). **Estudios Origen–Destino 1989–1990**. México, D. F.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1993). **Datos Viales 1992**. México, D. F.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1996). **Datos Viales 1995**. México, D. F.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1999a). **Datos Viales 1998**. México, D. F.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1999b). **Catálogo de Costos de Mantenimiento de Carreteras**. Dirección General de Conservación. México, D.F.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1999c). **Anuario Estadístico de Autopistas de Cuota 1998**. Unidad de Autopistas de Cuota. México, D.F.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2000). **Datos Viales 1999**. México, D. F.

**APÉNDICE 1**  
**DESCRIPCIÓN SIMPLIFICADA DE NIVÉLES DE SERVICIO**

Nivel de servicio	Descripción
A	Flujo libre, muy alta libertad para seleccionar la velocidad y efectuar maniobras
B	Flujo estable, prácticamente la misma libertad para seleccionar velocidad, pero no para efectuar maniobras
C	Flujo estable, difícil seleccionar la velocidad, las maniobras tienen que realizarse con gran cuidado
D	Flujo cerca de inestable, la libertad para seleccionar la velocidad y maniobrar están severamente restringidas
E	Flujo inestable, velocidades muy bajas aunque uniformes, libertad de maniobra extremadamente difícil
F	Flujo forzado, operación caracterizada por ciclos de paro total y velocidades muy pequeñas

Tabla A1.1 Descripción simplificada de niveles de servicio

## APÉNDICE 2 DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO

### A) CARRETERAS DE DOS CARRILES

El flujo máximo en vehículos por hora asociado a cada nivel de servicio ( $SF_i$ ), se calcula de acuerdo con el Manual de Capacidad de Carreteras con la fórmula:

$$SF_i = 2800 (v/c_i) (f_d) (f_w) (f_{HV})$$

En donde 2 800 vehículos por hora es el máximo flujo que podría circular en ambos sentidos bajo condiciones ideales. El factor  $v/c_i$  es la relación máxima volumen-capacidad asociada con el nivel de servicio  $i$ . En el caso de carreteras de dos carriles, esta relación está determinada por el tipo de terreno y por el porcentaje de zonas en las que no se puede rebasar. Algunos valores utilizados se presentan en la **tabla A2.1**.

TERRENO	ZONAS DE NO-REBASE (%)	NIVEL DE SERVICIO					
		A	B	C	D	E	F
Plano	20	0.12	0.24	0.39	0.62	1.00	
Plano	40	0.09	0.21	0.36	0.60	1.00	
Lomerío	40	0.07	0.19	0.35	0.50	0.92	
Lomerío	60	0.05	0.17	0.32	0.48	0.91	
Montañoso	80	0.02	0.12	0.20	0.37	0.80	

Tabla A2.1 Relación ( $v/c_i$ ) utilizada

El factor  $f_d$  es un factor de distribución direccional del tránsito, toma el valor de 1.00 en el caso ideal de una distribución 50-50 por ciento en ambas direcciones. En este trabajo se consideró un valor de 0.94 que corresponde a una distribución 60-40 por ciento. El factor  $f_w$  está relacionado con el ancho de acotamiento y sus valores se obtuvieron conforme a la **tabla A2.2**.

Ancho acotamiento (m)	Carriles 3.65 m		Carriles 3.35 m		Carriles 3.00 m	
	Nivel servicio		Nivel servicio		Nivel servicio	
	A - D	E	A - D	E	A - D	E
> 1.80	1.00	1.00	0.93	0.94	0.84	0.87
1.20	0.92	0.97	0.85	0.92	0.77	0.85
0.60	0.81	0.93	0.75	0.88	0.68	0.81
0.00	0.70	0.88	0.65	0.82	0.58	0.75

Tabla A2.2 Factor  $f_w$  por ancho de acotamiento

El factor  $f_{HV}$  es un factor por la presencia de vehículos pesados, y se calcula con la fórmula:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + p_t(E_t - 1) + p_b(E_b - 1)}$$

en donde  $p_t$  y  $p_b$  representan la proporción de camiones y autobuses en un tramo determinado, datos que usualmente se obtienen de aforos de tránsito.  $E_t$  y  $E_b$  son factores que representan el número de vehículos equivalentes para camión y autobús, respectivamente. Estos factores, dependen del tipo de terreno y del nivel de servicio, y de acuerdo al Manual de Capacidad, son:

	Nivel de Servicio	TERRENO		
		Plano	Lomerío	Montaña
$E_t$	A	2.0	4.0	7.0
	B y C	2.2	5.0	10.0
	D y E	2.0	5.0	12.0
$E_b$	A	1.8	3.0	5.7
	B y C	2.0	3.4	6.0
	D y E	1.6	2.9	6.5

Tabla A2.3 Vehículos equivalentes en carreteras de dos carriles

## B) CARRETERAS DE CUATRO CARRILES

El flujo máximo en vehículos por hora, asociado a cada nivel de servicio ( $SF_i$ ) para carreteras de más de dos carriles, se calcula con:

$$SF_i = 2000 N (v/c_i) (f_w) (f_{HV}) (f_p) (f_E)$$

en donde 2 000 vehículos por hora es el máximo flujo que podría circular en cada carril bajo condiciones ideales. El factor  $N$  es precisamente el número de carriles que, en este trabajo, es igual a 4. El factor  $v/c_i$  es la relación máxima volumen-capacidad asociada con el nivel de servicio  $i$ , que en este caso está determinada únicamente por la densidad del tráfico. Los valores utilizados se presentan en la **tabla A2.4**.

El factor  $f_w$  es un factor de ajuste por anchos de carril y distancia libre de obstrucciones. Para las carreteras de cuatro carriles propuestas en el trabajo (carriles de 3.65 de ancho, acotamientos de 1.35 y barrera protectora dividiendo los dos sentidos), este factor se estimó igual a 0.94

Nivel de Servicio	V/C
A	0.36
B	0.54
C	0.71
D	0.87
E	1.00

Tabla A2.4 Relación ( $v/c_i$ ) utilizada en carreteras de cuatro carriles

El factor  $f_p$  es un factor para tomar en cuenta la presencia de conductores no cotidianos en la carretera, que se ignoró en este trabajo. El factor  $f_E$  toma en cuenta el tipo de división entre flujos de tránsito opuestos, que se estimó para las acciones propuestas igual a 0.94. El factor  $f_{HV}$ , tiene el mismo significado descrito anteriormente, sólo que ahora no dependen del nivel de servicio. Los factores de vehículos equivalentes se calculan de acuerdo a la **tabla A2.5**.

	TERRENO		
	Plano	Lomerío	Montaña
$E_t$	1.7	4.0	8.0
$E_b$	1.5	3.0	5.0

Tabla A2.5 Vehículos equivalentes en carreteras de cuatro carriles

### APÉNDICE 3 MODELO PARA COMBINAR AFOROS Y FLUJOS DIRECCIONALES

Se definieron las siguientes variables:

$F_{XY}$  = Tránsito diario promedio en la dirección XY, donde XY es:

- SN (Sur-Norte)
- SO (Sur-Occidente)
- NO (Norte-Occidente)
- QS (Querétaro-Sur)
- QN (Querétaro-Norte)
- QO (Querétaro-Occidente)

$F_{XY}^Z$  = Tránsito diario promedio en la dirección XY, de vehículos tipo z, donde Z es:

- A (automóvil)
- B (autobús)
- C (camión)

Con estas variables se formularon los siguientes grupos de restricciones:

- 1) El volumen de tránsito en cada dirección es igual a la suma de los volúmenes en dicha dirección de los tres tipos de vehículos:

$$F_{XY} = \sum_{Z=A,B,C} F_{XY}^Z, \text{ para } XY = SN, SO, NO, QS, QN, QO$$

- 2) Los volúmenes en todas las direcciones cumplen exactamente con los aforos:

$$F_{SN} + F_{SO} + F_{QS} = 50\ 350 \text{ (autopista México-Querétaro y Libramiento Noreste)}$$

$$F_{NO} + F_{SN} + F_{QN} = 18\ 500 \text{ (carretera Querétaro-San Luis Potosí)}$$

$$F_{NO} + F_{SO} + F_{QO} = 29\ 640 \text{ (autopistas Querétaro-Irapuato)}$$

Con las mismas variables y junto con los datos de entrada:

$K_{XY}$  = Tránsito diario promedio estimado (preliminar) en la dirección XY

$K_{XY}^Z$  = Tránsito diario promedio estimado (preliminar) en la dirección XY, de vehículos tipo z

$C_{XY}^Z$  = peso relativo asignado al tránsito estimado en la dirección XY de vehículos tipos z. Se usó un peso igual a dos en los flujos estimados con estudio origen-destino (más confiables) y uno en caso contrario.

Usando  $|x|$  para representar el valor absoluto de cualquier número x, se formularon los siguientes tres objetivos:

1) Minimizar la suma de desviaciones con respecto a los volúmenes estimados:

Min  $Z_1 =$

$$\sum_{Z=A,B,C} C_{SN^Z} |F_{SN^Z} - K_{SN^Z}| + \sum_{Z=A,B,C} C_{SO^Z} |F_{SO^Z} - K_{SO^Z}| + \sum_{Z=A,B,C} C_{NO^Z} |F_{NO^Z} - K_{NO^Z}|$$

$$\sum_{Z=A,B,C} C_{QS^Z} |F_{QS^Z} - K_{QS^Z}| + \sum_{Z=A,B,C} C_{QN^Z} |F_{QN^Z} - K_{QN^Z}| + \sum_{Z=A,B,C} C_{QO^Z} |F_{QO^Z} - K_{QO^Z}|$$

2) Minimizar los cambios en las relaciones de automóviles, autobuses y camiones:

Min  $Z_2 =$

$$|F_{SN^A} - AB_{SN} F_{SN^B}| + |F_{SN^C} - CB_{SN} F_{SN^B}| + |F_{SO^A} - AB_{SO} F_{SO^B}| +$$

$$|F_{SO^C} - CB_{SO} F_{SO^B}| + |F_{NO^A} - AB_{NO} F_{NO^B}| + |F_{NO^C} - CB_{NO} F_{NO^B}| +$$

$$|F_{QS^A} - AB_{QS} F_{QS^B}| + |F_{QS^C} - CB_{QS} F_{QS^B}| + |F_{QN^A} - AB_{QN} F_{QN^B}| +$$

$$|F_{QN^C} - CB_{QN} F_{QN^B}| + |F_{QO^A} - AB_{QO} F_{QO^B}| + |F_{QO^C} - CB_{QO} F_{QO^B}| +$$

en donde:

$ZW_{XY}$  es la relación de vehículos tipo Z entre vehículos tipo W en la dirección XY.

3) Minimizar los cambios en las relaciones entre los diferentes flujos:

Min  $Z_3 =$

$$|F_{SN} - SN_{NO} F_{SO}| + |F_{SN} - SN_{SO} F_{SO}| + |F_{QS} - QS_{QN} F_{QN}| + |F_{QS} - QS_{QO} F_{QO}| +$$

$$|F_{SN} + F_{SO} + F_{NO} - P_L (F_{QS} + F_{QN} + F_{QO})|$$

en donde:

$XY_{WZ}$  es la relación entre los flujos en la dirección XY y en la dirección WZ.

$P_L$  es la relación entre los flujos de paso y los flujos locales.

El modelo se resolvió usando el método de las combinaciones convexas (Steuer (1986)), que consiste en asignar diferentes pesos ( $w_i$ ) a los objetivos para resolver problemas equivalentes de un objetivo. Estos pesos (siendo k el número de objetivos) son: extremos (uno en un objetivo y cero en todos los demás); centrales: ( $1/k$  en cada objetivo) e intermedios: ( $(k+1) / k^2$  en dos de los objetivos y  $1 / k^2$  en el otro).

Los resultados en los tres objetivos obtenidos para todos los pesos mencionados se presentan en la **tabla A.3.1**. Se decidió utilizar los resultados obtenidos por igual con los modelos 2, 3, 6 y 7, pues presentan los mejores valores a nivel general en los diferentes objetivos, así como valores más lógicos en las variables de decisión.

	PESOS			RESULTADOS		
	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$
1	1	0	0	2800	520	11270
2	0	1	0	5198	0	7976
3	0	0	1	5198	0	7976
4	4/9	4/9	1/9	3085	5	11271
5	4/9	1/9	4/9	4496	1087	7976
6	1/9	4/9	4/9	5198	0	7976
7	1/3	1/3	1/3	5198	0	7976

Tabla A.3.1 Resultados obtenidos en el modelo multiobjetivos





**CONCYTEQ**

Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro  
Luis Pasteur Sur No. 36, Col. Centro. Querétaro, Qro



Publicación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro

