

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán."

I. Resumen Ejecutivo

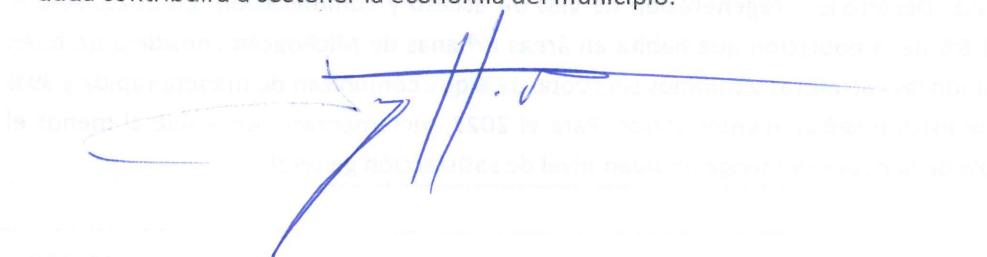
La obra que se propone consiste en la **REHABILITACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS TRAMOS CARRETEROS QUE COMPONEN EL GRUPO LERMA - CHAPALA, EN EL ESTADO DE MICHOACÁN**. El cual se pretende rehabilitar en una longitud de 134.84 KM, durante esta fase para que opere como un camino alimentador más rápido, seguro y con mayor funcionalidad a lo largo de sus 134.84 Km. Atender la demanda de la zona en el sentido de contar con una vía de comunicación más rápida y eficiente dentro de las comunidades.

Con la rehabilitación del tramo se pretende agilizar el traslado de mercancías y personas, disminuyendo los tiempos de recorrido y acelerando el desarrollo de la región generando un beneficio social importante, además de una reducción en el desgaste de los vehículos que transitaran normalmente por estas rúas estatales No. MICH-04, MICH-07 y MICH-57.

Con la ejecución del proyecto se obtendrá una mejoría en la infraestructura de comunicaciones de los municipios en cita, beneficiando directamente durante esta fase de trabajos a los poblados de Zamora, Jacona, Periban, Tocumbo, Cotija y Puente Jaripo con sus cabeceras municipales, además de otras rancherías cercanas, mismas que contarán con un mejor vínculo. Lo que traerá grandes beneficios en las actividades económicas del municipio y la región.

En general la ejecución del proyecto beneficiará directamente a una población total de alrededor de 512,258 personas.

LA REHABILITACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS TRAMOS CARRETEROS QUE COMPONEN EL GRUPO LERMA - CHAPALA, EN EL ESTADO DE MICHOACÁN. Beneficiará a las localidades ya que les permitirá una comunicación más ágil en las cabeceras municipales, además del beneficio social, el tramo contribuirá a agilizar la comercialización y el traslado de los productos que se generan en esta hacia los mercados comerciales de la zona, fomentando el movimiento de insumos y mercancías de estas ciudades hacia la comunidad beneficiada con el tramo a restituir para el buen funcionamiento de esta obra, lo que sin duda contribuirá a sostener la economía del municipio.



Problemática, objetivo y descripción del PPI

Las carreteras estatales Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora son unas vías importantes en materia de conectividad carretera para el estado de Michoacán, la cual permite enlazar a los municipios de Zamora, Jacona, Tinguindin, Tocumbo, Los Reyes y Periban.

La rehabilitación de las carreteras estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57, en sus tramos Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora, permitirá a los usuarios contar con una velocidad constante a lo largo de su recorrido, al corregir el deterioro existente caracterizado por agrietamientos y deformaciones longitudinales, así como roderas y expulsión de finos.

Derivado de las mejoras realizadas en la vía, se obtendrán mayores velocidades de operación, y se disminuirán los costos de operación vehicular y tiempos de recorrido, a efecto de contribuir con el desarrollo estatal económico y social, conectando de una forma más eficiente a estos municipios de la zona.

Objetivo del PPI

El presente proyecto se encuentra alineado con el **Plan Nacional de Desarrollo 2019 - 2024**, a través de la Directriz 3. *Desarrollo económico incluyente*, y se vincula con el objetivo 3.6. *Impulsar la reactivación económica, el mercado interno y el empleo*.

Conforme al **Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020-2024**, el presente proyecto se alinea con el Objetivo Prioritario 1: *Contribuir al bienestar social mediante la construcción, modernización y conservación de infraestructura carretera accesible, segura, eficiente y sostenible, que conecte a las personas de cualquier condición, con visión de desarrollo regional e intermodal*.

De acuerdo con el **Plan de Desarrollo Integral del Estado de Michoacán 2015-2021**, el proyecto de referencia se alinea con el Eje 3. *Prosperidad Económica*, 3.2. Impulsar la competitividad del estado y la integración de los territorios con infraestructura, equipamiento, tecnologías digitales e iniciativas estratégicas, incluyentes, sostenibles, eficientes, accesibles y seguros, basadas en una visión de desarrollo regional.

3.2.1. Desarrollo y regeneración de vías de acceso y comunicación: En 2021, solo el 21.6% de la población que habita en áreas urbanas de Michoacán considera en buen estado las carreteras y caminos sin cuota, 32% que comunican de manera rápida y 39% que existen señalamientos claros. Para el 2027, incrementaremos a que al menos el 50% de la población tenga un buen nivel de satisfacción general.

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Problemática Identificada	La problemática existente se presenta en la dificultad del tránsito de mantener una velocidad constante a lo largo de los 134.84 kilómetros que conforman la carretera estatal MICH-04, MICH-07 y MICH-57, en sus tramos Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora, esto en consecuencia de un deterioro severo de la vía, caracterizado por agrietamientos
---------------------------	--

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

y deformaciones longitudinales, así como roderas y expulsión de finos, lo cual, a su vez es causa de la incapacidad de la estructura del pavimento de atender el tránsito actual, el cual asciende a poco más de 26,674 veh/día.

Derivado de lo anterior, la superficie de rodamiento de las carreteras estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57, se ha deteriorado hasta llegar a niveles no satisfactorios, esta condición afecta a los usuarios de forma directa y disminuye la funcionalidad de uno de los tramos carreteros más importantes para el Estado de Michoacán.

Breve descripción del PPI

La obra que se propone consiste en la REHABILITACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS TRAMOS CARRETEROS QUE COMPONEN EL GRUPO LERMA - CHAPALA, EN EL ESTADO DE MICHOACÁN. El cual se pretende rehabilitar en una longitud de 134.84 Km, durante esta fase para que opere como un camino alimentador más rápido, seguro y con mayor funcionalidad.

El proyecto propuesto no contempla el cambio de uso de suelo para la implementación de la obra en los diferentes municipio como Zamora, Jacona, Tocumbo y Periban el cual es el origen y concluye en Zamora, Periban y Puente Jaripo, en terrenos forestales, hortalizas y frutales pertenecientes a los municipios de Zamora, Jacona, Tocumbo y Periban, en el Estado de Michoacán.

Actualmente existen varios puntos en malas condiciones de circulación, además de que las lluvias ocasionaron arrastres hacia la superficie de rodamiento y su desgaste natural y requiere de mantenimiento rutinario.

El proyecto comprende, deshierbe, el desazolve de obras de drenaje, limpieza de cunetas, la reconstrucción de obras de drenaje y cunetas donde así se requiera, la rehabilitación del cuerpo de rodamiento asfáltico el cual consiste en bachejar superficies aisladas, tanto superficiales como profundas, construcción de base estabilizada con óxido de cal puesto en obra y la posterior colocación de carpeta asfáltica con mezcla en Caliente de granulometría densa, incluyendo acarreo, compactada al 95% conforme lo indicado en el proyecto, trabajos diversos según alcances, colocación de sello premezclado con material 3E para proteger y formar una nueva superficie de rodamiento. Así como señalamiento horizontal y vertical. A fin de optimizar recursos económicos, evitar mayores afectaciones y menor movimiento de materiales, la construcción se efectuará dentro del camino, para que opere en mejores condiciones de circulación más rápidas, seguras y con mayor funcionalidad.

Horizonte de evaluación, costos y beneficios del PPI

Horizonte de Evaluación

El horizonte de evaluación del proyecto es de 31 años, en tanto que la vida útil del proyecto es por un periodo de 30 años, debido a que el primer año es para su rehabilitación (2023).

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Descripción de los principales costos del PPI

Costo de inversión. El monto total de inversión se estima en 705.01 mdp que incluye el Impuesto al Valor Agregado (IVA), conforme a la siguiente tabla:

Monto total de inversión

Componentes/Rubros	Monto sin IVA	IVA	Monto con IVA
PAVIMENTOS	424,442,312.82	67,910,770.05	492,353,082.87
OBRAS DE DRENAJE	15,650,402.60	2,504,064.42	18,154,467.02
SEÑALAMIENTO	49,965,865.72	7,994,538.52	57,960,404.24
FUNCIONALIDAD DEL DERECHO DE VIA	5,310,173.66	849,627.79	6,159,801.45
GASTOS FIDUCIARIOS	652,400.00	104,384.00	756,784.00
SUPERVISION BANCARIA	2,796,000.00	447,360.00	3,243,360.00
COMISION DE APERTURA DE CREDITO	9,194,044.09	1,471,047.05	10,665,091.14
COBERTURA DE TASA DE CREDITO	8,000,000.00	1,280,000.00	9,280,000.00
GASTOS ESTRUCTURACION	7,925,900.08	1,268,144.01	9,194,044.09
INTERESES CREDITO	64,378,995.22		64,378,995.22
FONDO DE RESERVA DEL SERVICIO DE LA DEUDA (FRSD)	18,000,000.00		18,000,000.00
RENDIMIENTO DEL CAPITAL DEL CONTRATISTA	14,865,520.35		14,865,520.96
Total	621,181,615.15	83,829,935.07	705,011,550.99

Costos de conservación. El costo de mantenimiento es lo que se destina a la conservación de la infraestructura con el fin de mantener en niveles óptimos de operación. Para el caso del pavimento asfáltico existen cuatro tipos de mantenimiento, según su periodicidad, mientras que para el caso de pavimento con concreto hidráulico se dividen en tres, las cuales se indican en las siguientes tablas:

Costos de conservación para pavimento asfáltico.

Concepto	Periodicidad	Costo unitario \$/km/c
	Años	
Conservación rutinaria	1	36,000
Riego de sello	4	310,000
Sobrecarpa	8	1,075,000
Reconstrucción	16	2,750,000

Fuente: Dirección General de Conservación de Carreteras.

Costos por molestia. El proyecto objeto de estudio, considera como parte de los trabajos la rehabilitación de la carretera estatal MICH-04, MICH-07 y MICH-57, en sus tramos Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Peribán y Libramiento Sur de Zamora, por lo que se consideraron costos por molestias a los usuarios. Los montos correspondientes a costos por molestia se presentan en la siguiente tabla:

Costos por molestia (miles de pesos)

Situación actual		Periodo de obra		Costos por molestia		
COV	Tiempo	COV	Tiempo	COV	Tiempo	TOTAL
5,826,767,202	4,397,337,897	6,917,967,599	5,937,444,184	1,091,200,398	1,540,106,287	2,631,306,685

Fuente: Cálculo de indicadores

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Descripción de los principales beneficios del PPI

La rehabilitación de las carreteras estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57, en sus tramos Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora, permitirá mejorar las condiciones de operación para los usuarios.

En el primer año de operación el proyecto:

- Permitirá una reducción en los Costos Generalizados de Viaje (CGV) del 4% en comparación con la situación sin proyecto, que representan una reducción de \$412,348,176 de forma absoluta.
- Incrementará las velocidades de operación de los diferentes tipos de vehículos en un 6%, que representa un incremento de 4.0 km/h en vehículos ligeros y hasta 10 km en vehículos pesados.
- Mejorará la accesibilidad entre los municipios de Zamora, Jacona, Tinguindin, Tocumbo, Los Reyes y Periban.
- Se generarán 170 empleos directos eventuales y 24,630 Jornales.

Monto total de inversión (con IVA)

\$ 705,011,550.99

Riesgos asociados al PPI

- Falta de los recursos presupuestales necesarios para concluir la obra en el tiempo previsto.
- Retrasos en la entrega por problemas técnicos y fenómenos inflacionarios, los cuales podrían incrementar su costo y el tiempo de ejecución.
- Incremento en el monto de inversión
- Demanda social de obras adicionales al momento de la construcción.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Indicadores de Rentabilidad del PPI

Valor Presente Neto (VPN)

6,952,821,998.54

Tasa Interna de Retorno (TIR)

22.84%

Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI)

12.68%

Conclusión

La rehabilitación de las carreteras estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57, en sus tramos Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora cumple con el propósito de hacer más seguro y eficiente el movimiento de bienes y personas, entre los municipios de Zamora, Jacona, Tinguindin, Tocumbo, Los Reyes y Periban.

Además, permitirá un desplazamiento con mayores velocidades, contribuyendo en la disminución de los costos de operación vehicular y tiempos de recorrido, lo cual se traduce en una mayor competitividad del transporte carretero. De acuerdo con los indicadores obtenidos en el presente estudio, se concluye lo siguiente:

Conclusión del Análisis del PPI

Se recomienda iniciar la rehabilitación de las carreteras estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57, en sus tramos Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora, debido a que el momento óptimo para operar es en el año 2024, cuando el valor de la Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI) es de 12.68%, el cual es mayor a la tasa social de descuento.

Uno de los criterios de inversión para determinar el costo – beneficio de tomar una decisión, es el Valor Presente Neto (VPN), en el caso del presente proyecto, debido a que el valor del VPN resulta mayor a cero, éste se acepta; además, representa beneficios adicionales por 6,952,831,998.54.

La Tasa Interna de Retorno (TIR), es una tasa que resume toda la información de un proyecto y que vuelve cero al VPN, es decir, depende propiamente del proyecto y de los flujos de éste. Con relación al presente proyecto, el resultado del valor de la TIR 22.84% es mayor que la tasa social de descuento (la cual corresponde al 10.0%), por lo anterior, el presente proyecto es socioeconómicamente factible.

II. Situación Actual del PPI

a) Diagnóstico de la Situación Actual

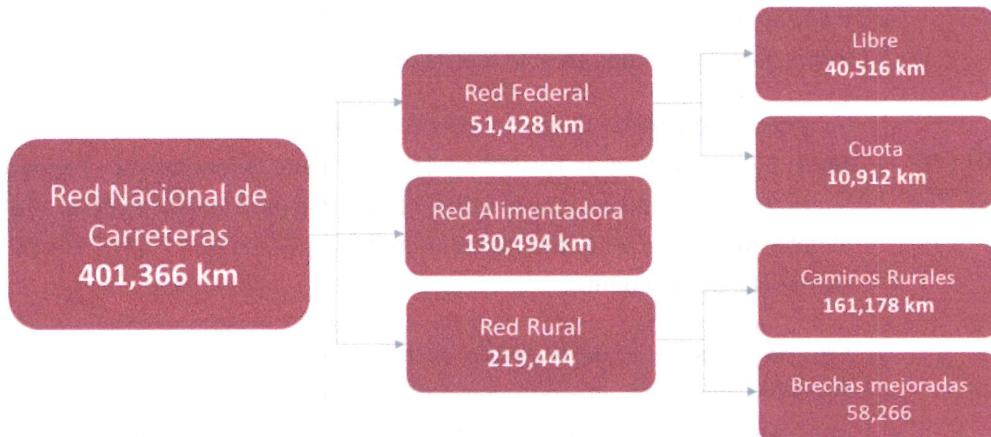
ANTECEDENTES.

El desarrollo de una sociedad implica que se incremente la necesidad de movilidad, por lo que la demanda de transporte aumenta. Esta necesidad de transporte se atiende en un mayor porcentaje por infraestructura carretera. En el ámbito carretero circula el 56.9% (513.0 millones de toneladas) del transporte de carga y el 96.4% (2,277.0 millones de pasajeros al año) de los pasajeros que transitan por las diversas regiones del país según el Anuario estadístico Sector Comunicaciones y Transportes, de ahí la importancia de que México cuente con una Red Nacional de Carreteras que atienda las necesidades de transporte actuales y futuras.

Asimismo, la Red Nacional de Carreteras en su conjunto tiene la finalidad de enlazar en forma rápida, segura, y con menores costos de operación vehicular a las principales zonas de producción industrial y agropecuaria, así como a los centros poblacionales y turísticos.

Durante los últimos años la Red Nacional de Carretera se ha desarrollado de manera gradual permitiendo la comunicación directa con casi todas las regiones y comunidades del país; actualmente se estima que existen 401,366 kilómetros de carreteras, de los cuales 12.81% corresponde a la Red Federal, 32.51% a la Red Alimentadora, y 54.68% a la Red Rural, conforme a lo siguiente:

Figura 1. Composición de la Red Nacional de Carreteras.



Fuente: Elaboración propia con base en información de "Anuario Estadístico Sector Comunicaciones y Transportes 2021", de Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2021.

De los 32 estados considerados en el Anuario Estadístico del Sector Comunicaciones y Transportes 2021, 18 de estos se encuentran por debajo del promedio de la densidad carretera en comparación con la media nacional (0.204). Como se puede observar en la tabla siguiente, de los estados con una menor superficie tienden a tener una alta densidad, como es el caso de Tlaxcala, México e Hidalgo, mientras que estados con una alta superficie tienen una mayor cantidad de kilómetros de carreteras, pero su densidad es muy baja como, lo es Baja California Sur, Coahuila y Chihuahua.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Tabla 1. Densidad carretera a nivel Estatal.

No.	Estado	Superficie (km ²)	Carreteras (km)	Densidad (km/km ²)	Pavimentada (Km)	Revestida (km)
1	Tlaxcala	3,997	3,017	0.755	1,790	1,227
2	México	22,333	15,129	0.677	7,377	7,753
3	Hidalgo	20,856	13,798	0.662	4,890	6,518
4	Morelos	4,892	3,093	0.632	1,824	360
5	Guanajuato	30,621	13,674	0.447	7,171	6,503
6	Jalisco	78,630	33,931	0.432	14,696	7,252
7	Colima	5,627	2,386	0.424	1,236	1,101
8	Aguascalientes	5,625	2,376	0.422	1,425	590
9	Tabasco	24,747	9,828	0.397	6,485	4,376
10	Veracruz	71,856	28,311	0.394	10,618	12,775
11	Oaxaca	93,343	32,682	0.350	8,018	1,040
12	Chiapas	73,681	23,303	0.316	7,433	15,433
13	Yucatán	39,671	12,424	0.313	6,294	2,511
14	Puebla	34,251	10,450	0.305	5,850	4,395
15	Guerrero	63,618	18,960	0.298	6,749	6,220
16	Sinaloa	57,331	17,035	0.297	5,428	3,537
17	Querétaro	11,658	3,451	0.296	2,599	801
18	San Luis Potosí	61,165	14,895	0.244	8,478	6,027
19	Nayarit	27,862	5,503	0.198	2,902	2,204
20	Tamaulipas	80,148	14,075	0.176	5,408	8,544
21	Baja California	71,546	12,192	0.170	3,061	4,134
22	Michoacán	58,667	9,965	0.170	8,238	1,469
23	Zacatecas	75,416	12,265	0.163	6,509	4,456
24	Sonora	179,516	25,331	0.141	7,484	4,376
25	Quintana Roo	42,535	5,819	0.137	3,203	2,616
26	Durango	123,367	16,469	0.133	5,607	7,731
27	Nuevo León	64,203	7,384	0.115	4,910	2,462
28	Campeche	57,727	5,100	0.088	4,229	244
29	Baja California Sur	73,943	5,979	0.081	1,853	1,655
30	Ciudad de México	1,485	105	0.071	105	0
31	Coahuila de Zaragoza	151,445	8,763	0.058	5,018	3,745
32	Chihuahua	247,487	13,674	0.055	9,710	202

Fuente: Elaboración propia con base en información de "Anuario Estadístico Sector Comunicaciones y Transportes 2021", de Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2021.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

En el caso particular del estado de Michoacán, se encuentra ubicado en una posición 22 de densidad carretera con un valor de 0.170km/ km², es decir, es uno de los estados que tienen un menor número de kilómetros de carreteras por kilómetro cuadrado de extensión territorial.

Otro atributo que permite identificar el grado de calidad de servicio que prevalece en cada tramo de la red carretera, es el nivel de servicio. De acuerdo con el último informe de Capacidad y niveles de servicio en la Red Federal de Carreteras (2021) emitido por la Dirección General de Servicio Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, solo el 46.34% de las vías que integran la Red Libre y la Red de Cuota del estado de Michoacán presenta un nivel de servicio adecuado (A, B o C), mientras que un 53.66% el nivel de servicio es deficiente (D, E o F).

Tabla 2. Niveles de servicio de la Red Libre y Red de Cuota en el Estado de Michoacán.

Nivel de servicio	Red libre		Red Cuota		Ambas redes	
	Longitud (km)	%	Longitud (km)	%	Longitud (km)	%
A	341.330	14.89%	1.410	0.24%	342.740	11.93%
B	207.590	9.05%	314.700	54.44%	522.290	18.19%
C	381.810	16.65%	84.100	14.55%	465.910	16.22%
D	644.530	28.10%	103.700	17.94%	748.230	26.06%
E	556.270	24.25%	74.200	12.83%	630.470	21.96%
F	161.970	7.06%			161.970	5.64%
Total	2,293.5	100%	578.1	100%	2,871.6	100%

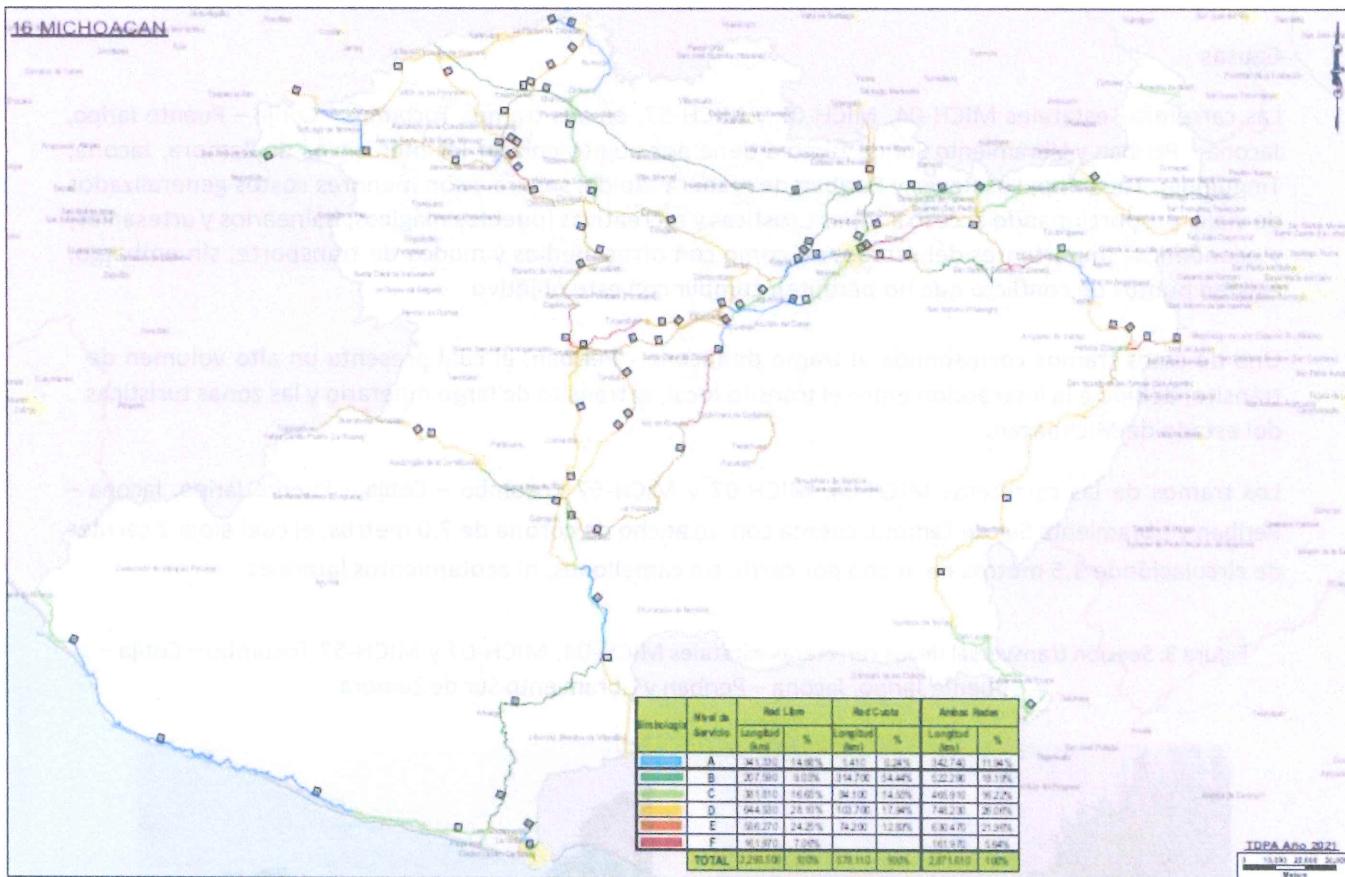
Fuente: Elaboración propia con base en información de "Capacidad y Niveles de Servicio de la Red Federal de Carreteras", de Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, 2021.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Con base en lo anterior, se puede concluir que a pesar de que el Estado de Michoacán no cuenta con una alta densidad de vías de comunicación carretera, sin embargo, ni tampoco presenta un nivel de servicio adecuado en su totalidad.

Figura 2. Niveles de servicio de la Red Libre y Red de Cuota en el Estado de Michoacán.



Fuente: Capacidad y Niveles de Servicio de la Red Federal de Carreteras", de Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2021.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Como se observa en la figura anterior, la zona del proyecto los niveles de servicio que se presentan, no son aceptables en la mayor parte de su recorrido (D, E y F), sin embargo, aún existen tramos que permiten ofrecer un flujo continuo al tránsito.

PROBLEMÁTICA EXISTENTE

Causas

Las carreteras estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57, en sus tramos Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora tiene por objeto enlazar los municipios de Zamora, Jacona, Tinguindin, Tocumbo, Los Reyes y Periban de manera rápida, segura y con menores costos generalizados de viaje, proporcionando acceso a zonas turísticas y recreativas (pueblos mágicos, balnearios y artesanías) y económicas importantes del estado, así como con otros medios y modos de transporte, sin embargo, existen puntos de conflicto que no permiten cumplir con este objetivo.

Uno de estos tramos corresponde al tramo de Jacona - Periban, el cual presenta un alto volumen de tránsito, debido a la interacción entre el tránsito local, el tránsito de largo itinerario y las zonas turísticas del estado de Michoacán.

Los tramos de las carreteras MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora, cuenta con un ancho de corona de 7.0 metros, el cual aloja 2 carriles de circulación de 3.5 metros de ancho por carril, sin camellones, ni acotamientos laterales.

Figura 3. Sección transversal de las carreteras estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora



Fuente: Reporte Fotográfico

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

El tramo de las Carreteras MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora, aloja dos carriles de circulación de 3.5 metros de ancho por carril, cuenta con cunetas de ancho variable, no cuenta con acotamientos laterales, asimismo, falta balizamiento.

Figura 4. Sección transversal de las Carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora



Fuente: Reporte Fotográfico.

Las carreteras estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora, en el tramo Jacona – Periban tiene un volumen de tránsito superior a los 16,022 vehículos, según lo reportado en Datos Viales, en los puntos cercanos a Libramiento Sur de Zamora registra 5,828 en este tramo carretero se registra el mayor volumen de tránsito en comparación a los demás.

Figura 5. Volumen vehicular en Carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora

56 CARR. Tocumbo - Cotija		ESTACION		CLASIFICACION VEHICULAR EN PORCENTAJE										COORDENADAS						
LUGAR	KM	TE	SC	TOTA	A	B	C1	C2	T352	T363	T365MA	OTROS	A	B	C	K'	D	LATITUD	LONGITUD	
T. C. Jacona - Buenavista	0.00	3	0	4079	4.1	84.1	1.5	5.3	2.1	1.6	1.1	0.1	0.1	68.2	1.5	10.3	0.079	0.509	19.697771	-102.495816
Cotija de La Paz	28.99	0	0																	

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

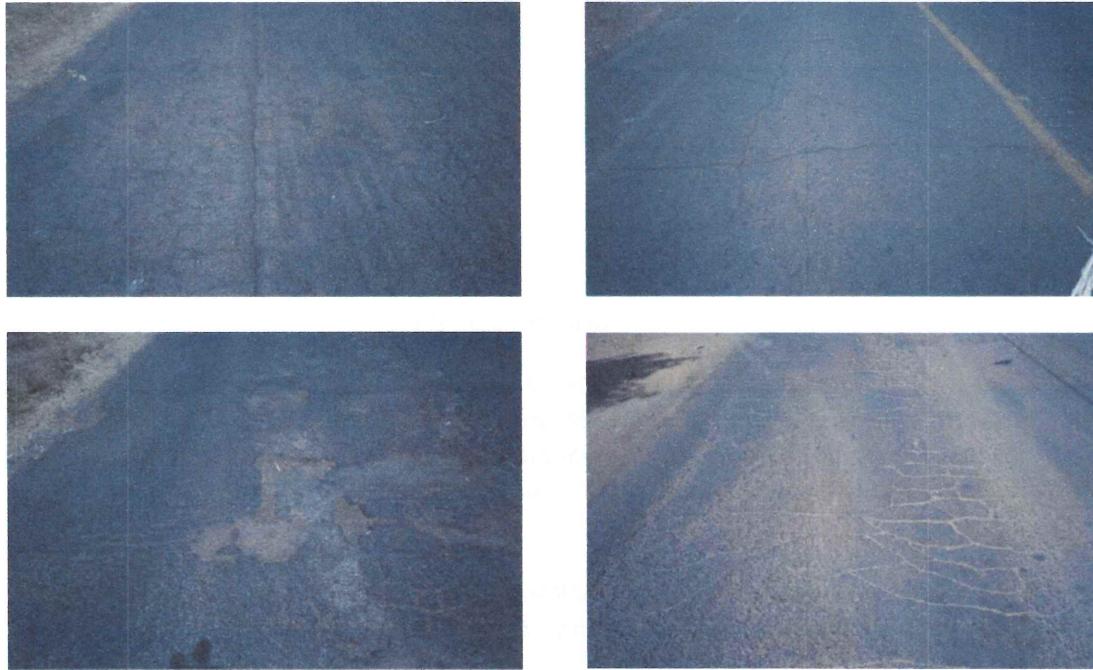
LUGAR	ESTACION	CLASIFICACION	VEHICULAR EN PORCENTAJE	COORDENADAS				AÑO: 2022															
				KM	TE	SC	TOPA	A	B	C	K	D	LATITUD	LONGITUD									
Jacona				0.00	3	0	6887	4.3	78.9	1.4	10.7	2.3	1.2	0.7	0.2	0.3	63.2	14	15.4	0.097	0.503	19.934605	-102.327332
T. Der. Cotija de La Paz				47.00	1	0	7052	3.6	76.2	1.4	12.4	2.8	1.8	1.0	0.4	0.4	79.8	14	18.8	0.078	0.507	19.698545	-102.493321
Los Reyes de Salgado				60.00	1	0	14367	2.8	84.3	1.1	7.4	1.5	1.8	0.5	0.4	0.2	87.1	1.1	11.8	0.097	0.505	19.626504	-102.488301
Los Reyes de Salgado				60.00	3	0	18428	3.6	82.1	0.7	7.1	1.8	2.1	1.1	0.6	0.9	85.7	0.7	13.6	0.072	0.507	19.568623	-102.458090
Peribán de Ramos				70.00	1	0	14266	5.1	83.2	0.6	7.0	1.5	1.6	0.2	0.6	0.2	88.3	0.6	11.1	0.080	0.507	19.552382	-102.445232
Peribán de Ramos				70.00	3	0	4339	2.6	81.5	1.5	9.4	1.9	1.4	0.9	0.6	0.2	84.1	1.5	14.4	0.100	0.507	19.500842	-102.428273
Buenavista				123.00	1	0	3704	5.8	80.2	1.3	7.1	2.9	1.4	0.6	0.3	0.2	86.0	1.3	12.7	0.080	0.501	19.239662	-102.582133

Fuente: Datos Viales SCT.

Efectos

Derivado del volumen de tránsito que utiliza las carreteras estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo –Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Peribán y Libramiento Sur de Zamora, la capacidad de esta vía se ha visto rebasada, ocasionando undeterioro acelerado de la superficie de rodamiento, caracterizado por agrietamientos y deformaciones longitudinales, así como roderas y expulsión de finos, esto ha provocado que los usuarios no mantengan una velocidad constante a lo largo de su recorrido.

Figura 6. Deterioro en la superficie de rodamiento en las carreteras estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Peribán y Libramiento Sur de Zamora



Fuente: Elaboración propia.

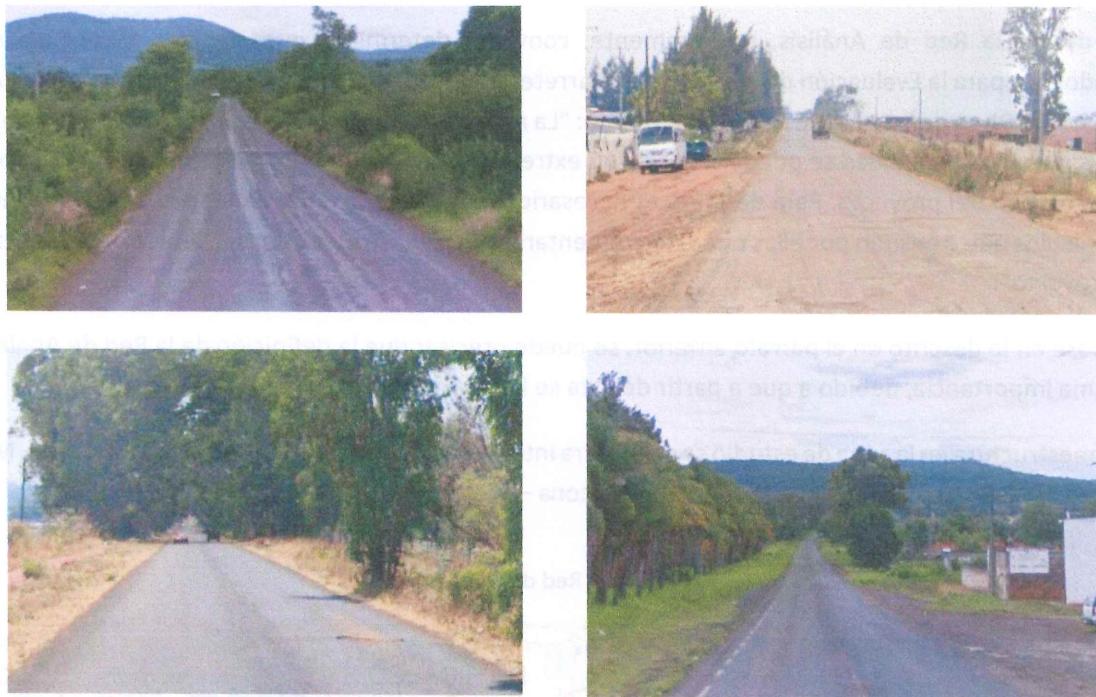
Derivado de lo antes mencionado, las condiciones operativas para los usuarios no son óptimas, incrementando los tiempos de recorrido, costos de operación vehicular, los usuarios no pueden desarrollar una velocidad constante.



Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Figura 7. Malas condiciones en las carreteras estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora



Fuente: Elaboración propia

Descripción de la problemática

La problemática identificada se presenta en la dificultad del tránsito de mantener una velocidad constante a lo largo de los 134.84 kilómetros que conforman las carreteras estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora, esto es consecuencia de un deterioro severo de la vía, caracterizado por agrietamientos y deformaciones longitudinales, así como roderas y expulsión de finos, lo cual, a su vez es causa de la incapacidad de la estructura del pavimento de atender el tránsito actual, el cual asciende a poco más de 26,674 veh/día.

Derivado de lo anterior, el nivel de servicio de las carreteras estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora, se ha deteriorado hasta llegar a niveles no satisfactorios, esta condición afecta a los usuarios de forma directa y disminuye la funcionalidad de uno de los tramos carreteros más importantes para el Estado de Michoacán.

Diseño Multianual 2023

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

b) Análisis de la Oferta Existente

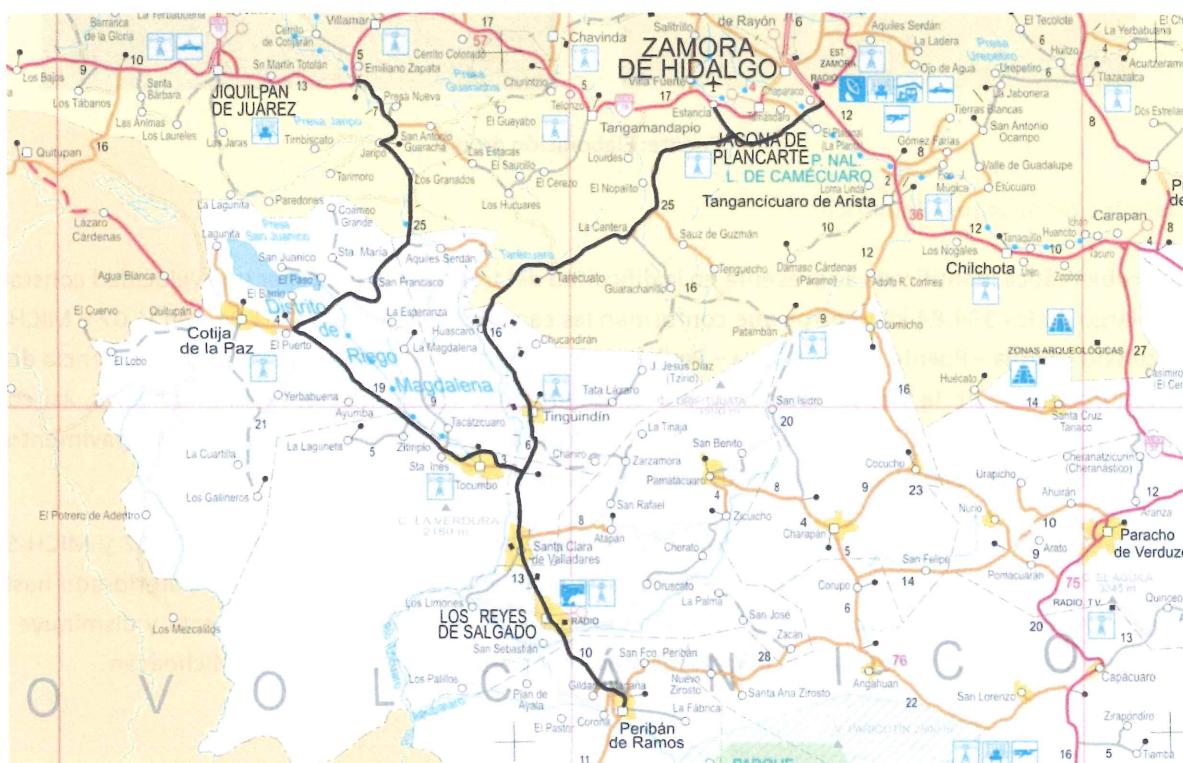
Definición de Red de Análisis.

Para definir la Red de Análisis, primeramente, conviene determinar que significa. Con base en la Metodología para la Evaluación de Proyectos de Carreteras emitida por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), se define a la Red de Análisis como: "La red relevante está formada por todas las carreteras por las que en la actualidad se puede viajar de un extremo a otro o a un punto intermedio de la carretera que es motivo del proyecto. Para definirla es necesario identificar todas las vialidades donde la cantidad de vehículos que transitan por ellas puede incrementarse o reducirse como consecuencia de la realización del proyecto".

Con base en lo descrito en el párrafo anterior, se puede precisar que la definición de la Red de Análisis es de suma importancia, debido a que a partir de ésta se llevará a cabo el análisis posterior.

La infraestructura en la zona de estudio se encuentra integrada por las carreteras estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Peribán y Libramiento Sur de Zamora.

Figura 8. Red de análisis.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Caracterización de la oferta.

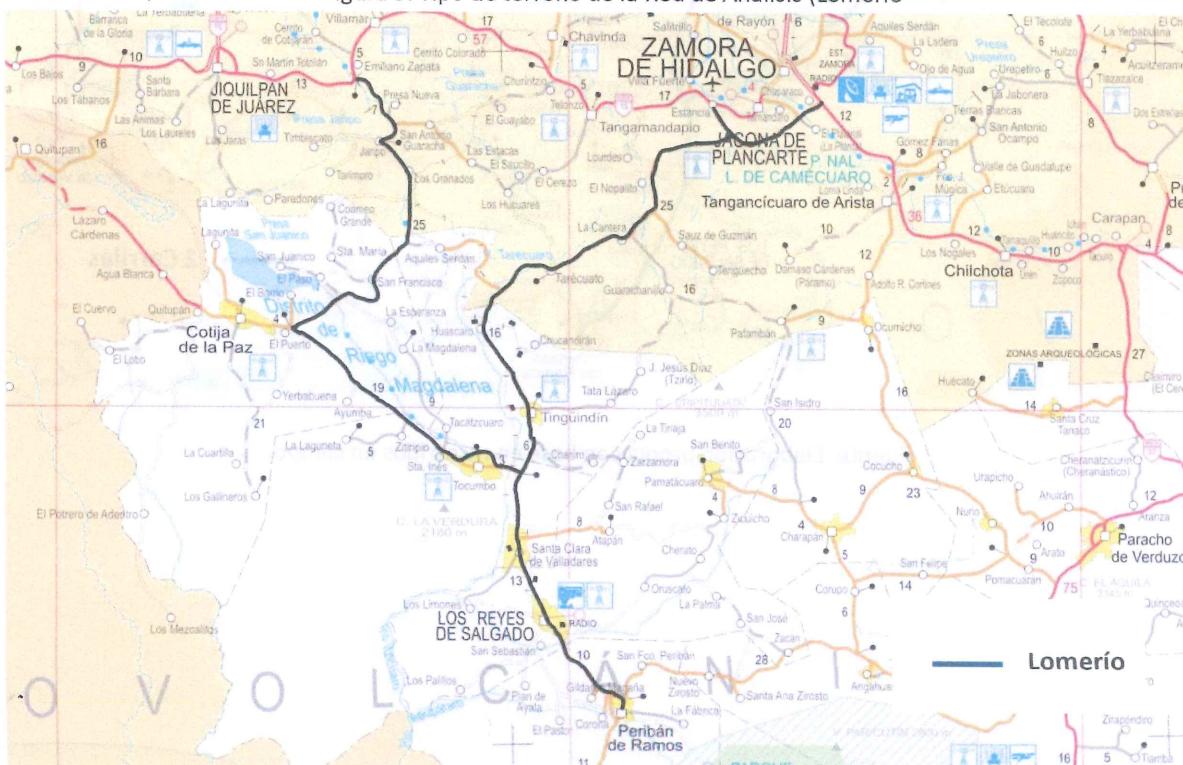
El levantamiento de las características físicas permite establecer las condiciones geométricas y operativas de la red. Para conocer los rasgos significativos de las vialidades en estudio, se recabo información documental y se realizaron diversos recorridos sobre la zona de influencia para obtener la siguiente información:

- Tipo de terreno (plano, lomerío o montañoso).
- Sección transversal (ancho de corona, número de carriles, acotamientos).
- Tipo de pavimento (asfalto).
- Estado del pavimento (IRI).
- Velocidades.

a) **Tipo de terreno:** El tipo de terreno es un factor que puede influir significativamente en las características geométricas de una carretera, por tal motivo la Secretaría de Comunicaciones y Transportes a través de las Normas de Servicios Técnicos para proyecto geométrico, establece tres tipos de terreno de acuerdo con las características topográficas del terreno: plano, lomerío y montañoso. Según el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM, por sus siglas en inglés) en su versión última, el tipo de terreno se clasifica según la pendiente en el tramo acorde con los siguientes criterios: Plano ≤ 2.0 , $2.0 < \text{Lomerío} \leq 4.0$, Montañoso >4.0

En la siguiente figura se observa que el total del tramo se encuentra en un tipo de terreno tipo lomerío, al contar con una pendiente mayor al 2%.

Figura 9. Tipo de terreno de la Red de Análisis (Lomerío)



Fuente: Elaboración propia con base en recorridos en campo.

Análisis Costo-Beneficio

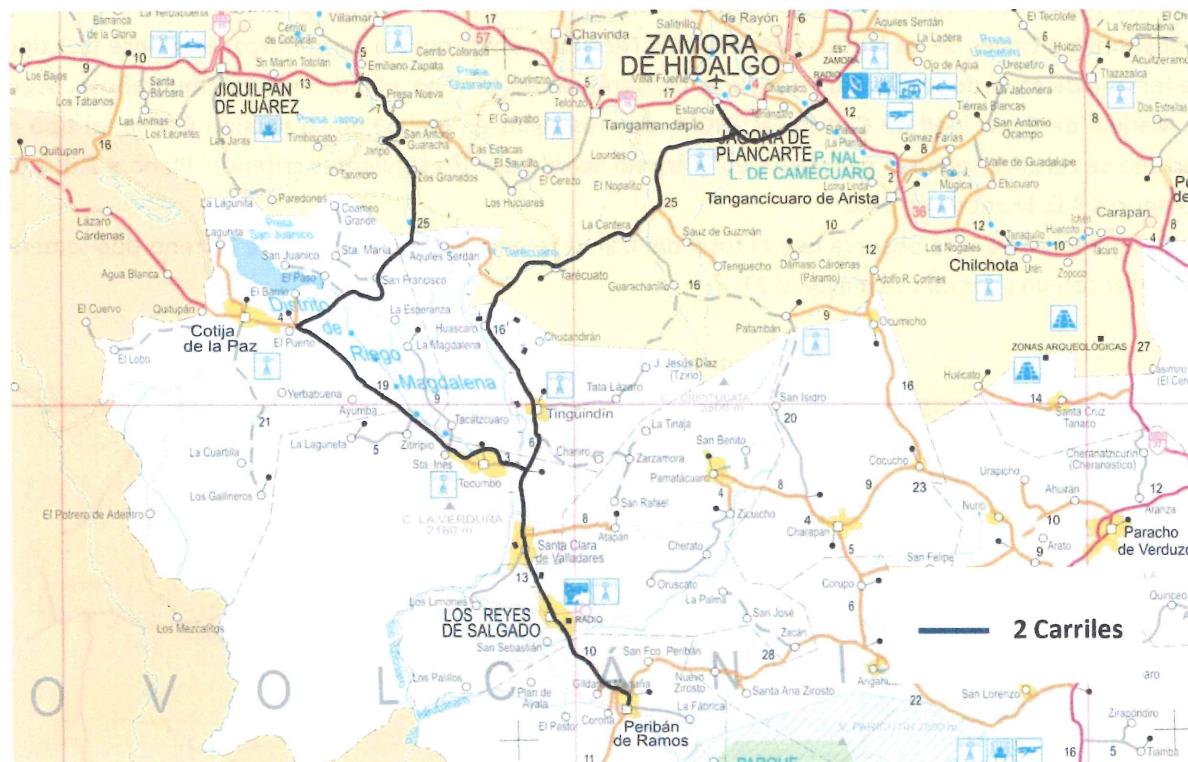
"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

b) Sección transversal. Se identificó el ancho de cada uno de los componentes que integran la sección de la carretera, ancho de corona, ancho y número de carriles, acotamientos, faja separadora, etc, de cada uno de los tramos que integran la Red de Análisis.

- El tramo de las Carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora, cuenta con un ancho de corona de 7.0 metros, la cual aloja 2 carriles de circulación de 3.5 metros de ancho por carril, sin camellones ni acotamientos laterales.

En la siguiente figura se resume la idea anterior:

Figura 10. Número de carriles en la Red de Análisis (2 Carriles – 7m ancho).



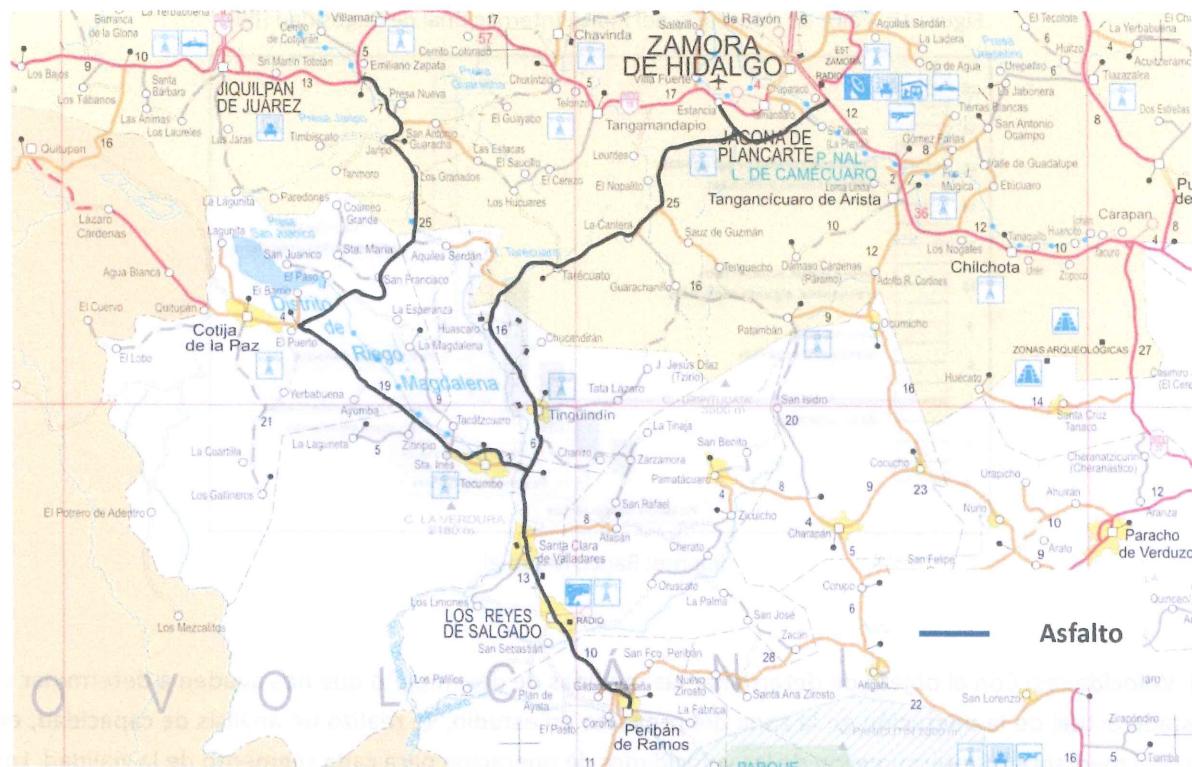
Fuente: Elaboración propia con base en recorridos en campo.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

c) **Tipo de pavimento:** La red de Análisis se encuentra compuesta en su totalidad por tramos con un pavimento tipo asfáltico.

d) Figura 11. Tipo de Pavimento de la Red de Análisis.



Fuente: Elaboración propia con base en recorridos en campo.

e) **Estado del pavimento:** El estado del pavimento representa una importante característica física y operativa de una vía, ya que interviene como un factor en la toma de decisión de un usuario, pues está directamente asociado a la seguridad y velocidad que se puede desarrollar, es decir, un pavimento en buen estado permite a los usuarios conducir a una velocidad constante, sin contratiempos, y ofrece mayor seguridad en caso de requerir detener un vehículo por un imprevisto.

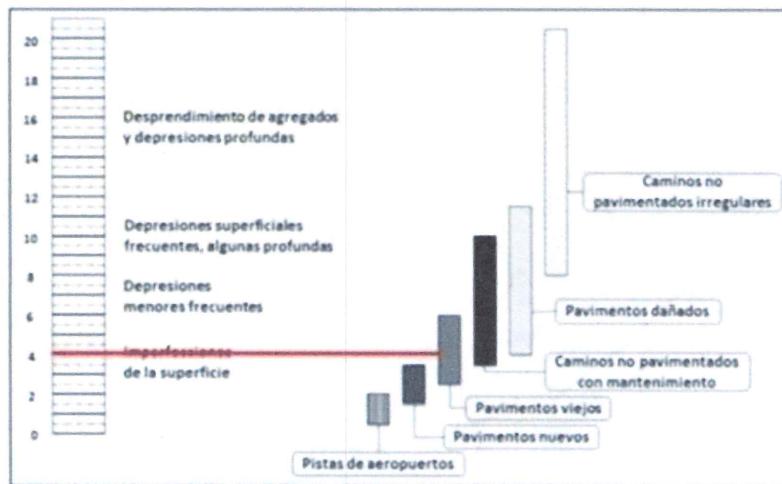
Para establecer criterios de calidad y comportamiento de los pavimentos que indican las condiciones actuales del estado superficial de un camino, se hizo uso del Índice Internacional de Rugosidad, mejor conocido como IRI (por sus siglas en inglés, International Roughness Index), el cual nos permite medir la calidad de la superficie de rodamiento de un camino. Para los caminos pavimentados el rango esperado del IRI es de 0 a 12 m/km, donde 0 representa una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Para la determinación del valor del IRI, se utilizó como referencia la escala del IRI planteada por el Banco Mundial, y con base en la evaluación del pavimento observado en las fotografías anteriores, se propuso un valor del IRI de 4.0 m/km, el cual corresponde a un pavimento viejo que presenta imperfecciones en su superficie.

Figura 12. Valor de referencia del Índice Internacional de Rugosidad (IRI).



Fuente: Banco Mundial.

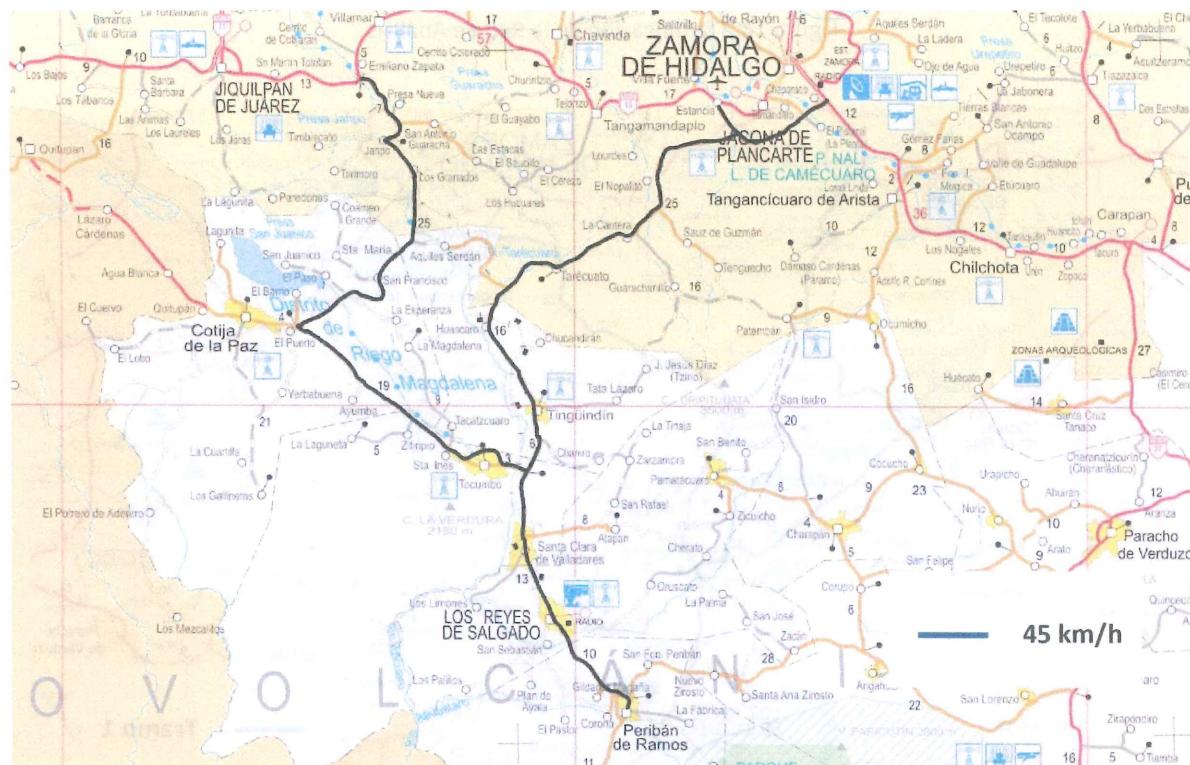
f) **Velocidades:** Con el objeto de determinar las medidas de desempeño que nos ayuden a determinar el estado actual de la operación en la zona del proyecto en estudio, se realizó un análisis de capacidad, en el cual mediante la determinación de las velocidades de operación para cada segmento de la vialidad. Las velocidades de operación de los vehículos se ven afectadas por diversas circunstancias como la composición vehicular, la pendiente de la vía, los peatones, las maniobras del transporte público, cruceros, etcétera.

Para determinar las velocidades promedio en la situación actual en las vialidades que conforman la Red de Análisis, se consideraron por un lado las velocidades máximas permitidas de acuerdo con el señalamiento que se encuentra alojado a lo largo de la carretera en cuestión; por otro lado, se consideraron los resultados de diversas mediciones de tiempo de recorrido realizadas a través del método de vehículo flotante.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Figura 13. Velocidad de operación de la Red de Análisis.



Fuente: Elaboración propia con base en recorridos en campo.

Con base en lo anterior, se pudo identificar que la velocidad promedio en los tramos: Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Peribán y Libramiento Sur de Zamora es de 45 km/h, mientras que para los demás tramos, también es de 45.0 km/h.

Tramificación de la Red de Análisis.

La metodología utilizada para llevar a cabo la selección de los tramos considerados se realizó con base en Guía General para la Preparación y Presentación de Estudios de Evaluación Socioeconómica de Proyectos Carreteros, elaborado por el Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP), en su edición de noviembre de 2004.

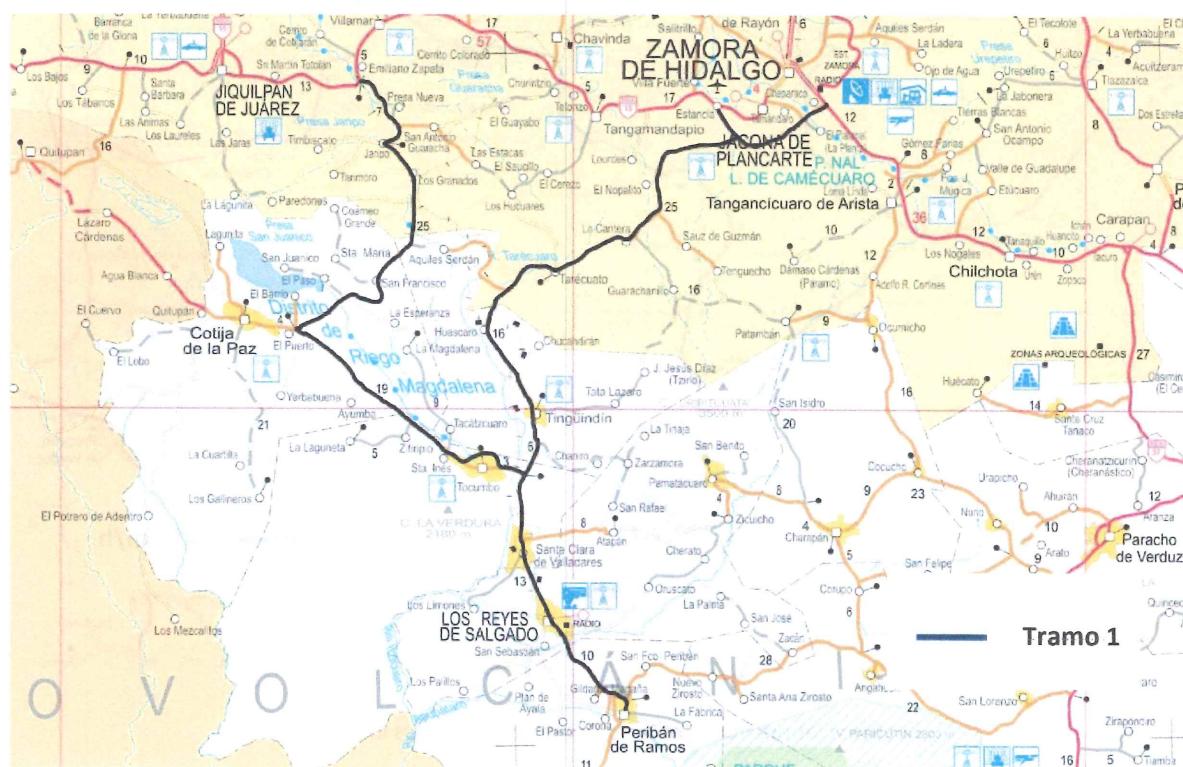
Los criterios utilizados para llevar a cabo la tramificación del proyecto se basan en la oferta (tipo de terreno, sección transversal, estado del pavimento y velocidad de operación) y demanda (TDPA).

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

De acuerdo con los criterios indicados anteriormente planteados, se identificaron un total de 1 tramos conforme a lo siguiente:

Figura 14. Tramificación de la Red de Análisis



Fuente: Elaboración propia con base en recorridos en campo.

A continuación, se presentan se hace una descripción de los tramos que conforman el proyecto en la situación actual, así como sus principales características:

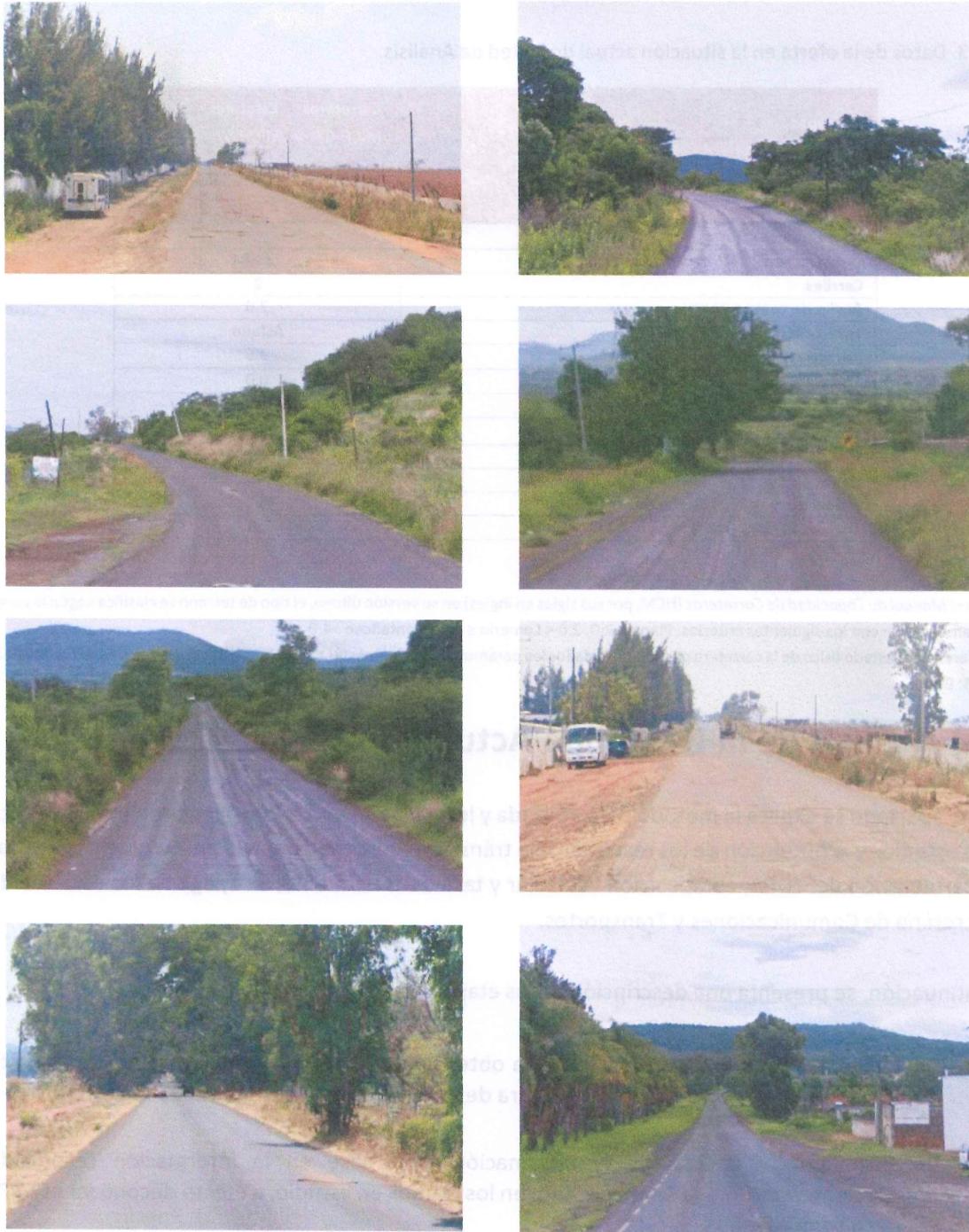
Tramo 1. Jacona - Peribán. El tramo 1 inicia en el municipio de Jacona en el Km 0+000 y finaliza en el municipio de Peribán en el Km 134+840. El tramo cuenta con una sección transversal de 7.0 metros, en la mayor parte de su sección.

Cuenta con carriles centrales que corresponden a una sección tipo C2, la cual aloja dos carriles, uno por sentido de circulación de 3.5 metros de ancho, sin acotamientos, ni camellones; en este tramo las pendientes son mayores al 2.0%, por lo anterior, el tipo de terreno se clasifica como lomerío; el tipo de pavimento es asfáltico, se encuentra en malas condiciones; la velocidad promedio de operación asciende a 45.0 km/hr.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Figura 15. Carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora



Fuente: Elaboración propia con base en recorridos en campo.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

A continuación, se presenta una tabla resumen de los subtramos que conforman la Red de Análisis para el proyecto, rehabilitación y conservación de las carreteras estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Peribán y Libramiento Sur de Zamora

Tabla 3. Datos de la oferta en la situación actual de la Red de Análisis.

Concepto	Carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Peribán y Libramiento Sur de Zamora
No de tramo	1
Longitud, km	134.84
Carriles	2
Ancho de corona, metros	7.0
Tipo de carretera	Asfalto
Ancho de carriles, metros	3.5
Ancho de acotamiento exterior, metros	0.0
Ancho de acotamiento interior, metros	0.0
Velocidad, km/hr	45.0
Tipo de terreno ^{a/}	Lomerío
Estado físico	No Satisfactorio
Índice internacional de rugosidad (IRI) ^{b/}	4.0
Tiempo de recorrido (min)	60

Nota:

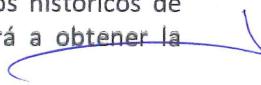
^{a/}Según el *Manual de Capacidad de Carreteras* (HCM, por sus siglas en inglés) en su versión última, el tipo de terreno se clasifica según la pendiente en el tramo acorde con los siguientes criterios: Plano \leq 2.0, 2.0 < Lomerío \leq 4.0, Montañoso $>$ 4.0

^{b/}En referencia al estado físico de la carretera observado, y dados los parámetros siguientes: IRI $>$ 3.5: No satisfactorio; 2.5 < IRI \leq 3.5: Satisfactorio; IRI \leq 2.5: Bueno.

c) Análisis de la Demanda Actual

En este apartado se explica la metodología utilizada y los lineamientos que se siguieron para la realización de los estudios y la obtención de los resultados de tránsito; cabe señalar que la metodología utilizada para la determinación del TDPA, composición vehicular y tasa de crecimiento, se apega a los establecido por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

A continuación, se presenta una descripción de las etapas realizadas:

- Recopilación de información. Refiere a la obtención de información recopilada y la clasificación del tránsito que circula por la red carretera de manera anual (Ediciones 2011 al 2021).
- Procesamiento y análisis de la información. Con base en la información recopilada, se identificarán el aforo que se encuentren en los tramos en estudio, a efecto de conocer el TDPA, así como su composición vehicular.
- Obtención de Tasa de Crecimiento Anual. Mediante evaluación de los registros históricos de tránsito de las estaciones de aforo cercanas al área de estudio, se procederá a obtener la determinación de la Tasa de Crecimiento anual (TCA). 

Recopilación de información documental y de tránsito.

La recolección de información para el estudio se realizó a través de investigación documental, a continuación, se muestra la información recolectada en cada una de estas etapas y su funcionalidad dentro del estudio.

Procesamiento y análisis de la información.

Para llevar a cabo el procesamiento de la información, se debió desarrollar con anticipación los siguientes procesos:

- Homogeneización de las bases de datos: organizar, agrupar y concentrar toda la información obtenida en una sola base, permitiendo el uso y consulta de datos eficientemente.
- Análisis de la información: considera todos los procesos intermedios y finales de preparación de la información.

Con la información obtenida, así como el comportamiento estacional del tráfico en la región, se obtuvo el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) para el tramo que corresponden la Red Vial Relevante actual.

En la siguiente imagen se muestra los resultados obtenidos de los aforos vehiculares en campo.

Obtención de Tasa de Crecimiento Anual.

Para conocer el volumen de tránsito futuro que circulará en una vía, se requiere de una serie histórica de los volúmenes que pasan por un punto determinado, esta información sirve para realizar una predicción del tránsito bajo el supuesto de que a futuro se mantiene la tendencia histórica. Estos modelos generalmente correlacionan la cantidad de vehículos con respecto al año en que se obtuvo la medición, y generalmente se expresan como modelos de regresión, para lo cual un análisis estadístico representa una solución válida.

- Proceso metodológico para la obtención de la tasa de crecimiento.

Entonces, se empleará el análisis de regresión lineal aplicando el método de mínimos cuadrados, que permite ajustar una línea o tendencia; la base de esto es porque, en términos generales, la tendencia histórica del flujo vehicular es del tipo lineal. Para ello se emplea la siguiente ecuación:

La recta de mínimos cuadrados que aproxima el conjunto de puntos $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_N, Y_N)$ tiene por ecuación:

$$y = mx + b$$

Donde las constantes quedan fijadas al resolver simultáneamente las ecuaciones:

$$\sum y = m \sum X + bN$$

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

$$\sum XY = m \sum X^2 + b \sum X$$

Que se llaman ecuaciones normales para la recta de mínimos cuadrados.

Las constantes m y b de las ecuaciones anteriores se pueden hallar de las fórmulas siguientes:

$$m = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{N \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{\sum Y \sum X^2 - (\sum X)(\sum XY)}{N \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

Donde:

N = Número de eventos

Y = Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA)

X = Año de Referencia

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Posteriormente, una vez obtenidos la recta correspondiente, se utilizarán los valores Final e Inicial, y se aplicará la siguiente fórmula para la determinación de la tasa de crecimiento en el periodo analizado:

$$i = \left[\left(\frac{P_f}{P_o} \right)^{\frac{1}{t}} - 1 \right] 100$$

Donde:

i = Tasa de crecimiento en el periodo $t_i - t_{i+1}$

P_f = Valor en el año final

P_o = Valor en el año inicial

t = Número de años entre el valor P_o y el valor P_f

- **Cálculo de la tasa de crecimiento.**

Para el cálculo de la tasa de crecimiento se utilizaron los valores del TDPA registrado en las estaciones de aforo ubicadas en las carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora

fueron identificadas un total de dos estaciones, las cuales se analizaron en el periodo comprendido entre los años de 2013 a 2022, esta información fue obtenida de los libros de Datos viales que genera la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST).

Tabla 4. TDPA registrado en las estaciones ubicadas en la Carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora

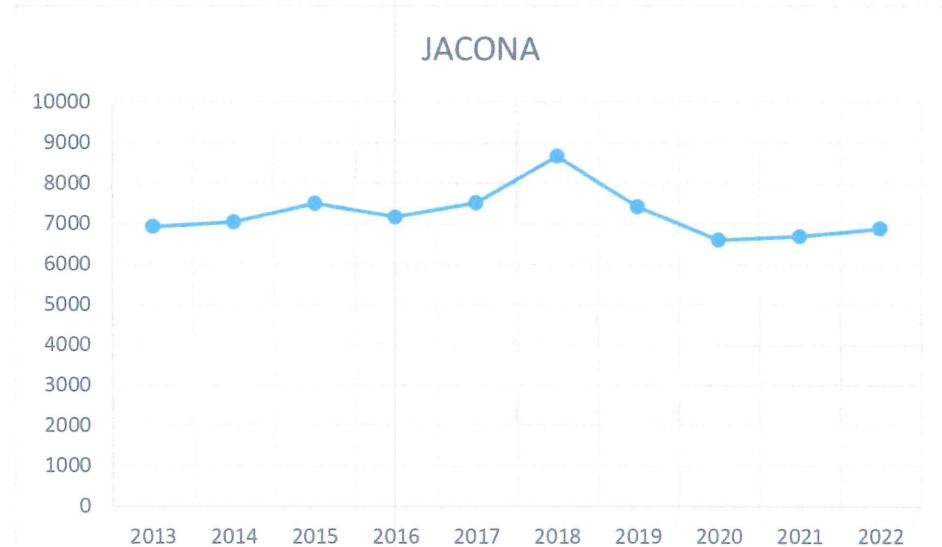
Ruta MICH-04, MICH-07 y MICH-57		CARR: Grupo Lerma - Chapala	
Lugar		Jacona	Periban
km		0+000	134+840
Coordinadas (X, Y)		(19.934605, -102.327332)	(19.552982, -102.445232)
Año			
2013		6,920	10,786
2014		7,046	11,117
2015		7,502	11,466
2016		7,173	11,050
2017		7,519	11,956
2018		8,670	13,352
2019		7,420	13,897
2020		6,600	13,260
2021		6,694	13,779
2022		6,887	14,266
Tasa de crecimiento		1.0%	1.0%
Promedio		1.00%	

Fuente: Datos viales ediciones 2013 – 2022.

Análisis Costo-Beneficio

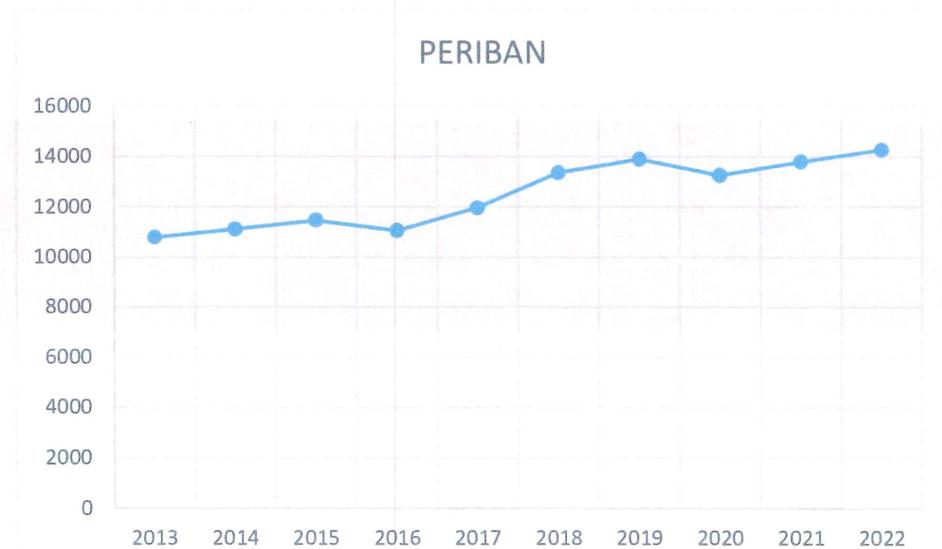
"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Figura 16. Incremento de tránsito en la estación Jacona



Fuente: Elaboración propia con base en Datos Viales.

Figura 17. Incremento de tránsito en la estación Periban



Fuente: Elaboración propia con base en Datos Viales.

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Con base en los resultados obtenidos, se realizó un promedio de la tasa de crecimiento de las tres estaciones, lo que dio como resultados una tasa global del **1.00%** en las Carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora , por lo que será la tasa de crecimiento que se utilizará para el presente documento.

d) Interacción de la Oferta-Demanda

Los niveles de servicio sirven para medir la calidad del flujo vehicular, esta medida se considera una medida cualitativa que describe las condiciones de operación del flujo, y de la percepción por los usuarios que se encuentran en ese momento en la red. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y tiempo de recorrido, la libertad de realizar maniobras, la comodidad, la conveniencia, la seguridad vial y las demoras. De los factores que afectan el nivel de servicio, se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, etc. Entre los externos están las características fijas, tales como el acho de los carriles, la distancia libre lateral, acotamientos, pendientes, etc.

Existen diferentes niveles de análisis, para el presente estudio se realizó un análisis semiurbano que considera carretera libre, autopistas y calles dentro de una población considerando diferentes características como número básico de carriles, sentidos, anchos de carril, acotamientos, volúmenes de tránsito, flujos en hora de máxima demanda, porcentaje de vehículos pesados, etc. Estos datos están basados en los atributos operacionales, por lo que la precisión de esta aplicación es intermedia, más aún por la incertidumbre que existe en pronósticos de la demanda futura de tránsito. El manual de capacidad vial HCM 2000 del TRB ha establecido seis niveles de servicio denominados A, B, C, D, E y F, que van del mejor al peor.

En función del nivel de servicio estará el número de vehículos por unidad de tiempo que puede admitir la carretera o calle, al cual se le denomina flujo de servicio. Este flujo va aumentando a medida que el nivel de servicio va siendo de menor calidad, hasta llegar al nivel E, o capacidad del tramo de carretera o calle. Tradicionalmente se ha considerado la velocidad el principal indicador para identificar el nivel de servicio, sin embargo, se introducen otros factores como densidad y demora. La descripción de los servicios es:

Nivel de servicio A: Representa circulación a flujo libre. Los usuarios, considerados en forma individual, están virtualmente exentos de los efectos de la presencia de otros en circulación. Con alta libertad para seleccionar la velocidad deseada y maniobrar dentro del tránsito. La comodidad y conveniencia proporcionada por la circulación es excelente. Adicionalmente, los conductores pueden viajar a la velocidad deseada. La frecuencia de rebase es alta.

Nivel de servicio B: Está aún dentro del rango de flujo libre, aunque se empiezan a observar otros vehículos integrantes en la circulación. La libertad de selección de las velocidades deseadas sigue relativamente inafectada, aunque disminuye la capacidad de maniobra. La presencia de otros vehículos comienza a influir en el comportamiento individual de cada uno. La demanda por rebase es más significativa. Por encima de esta tasa de flujo, el número de grupos vehiculares se incrementa

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

significativamente.

Nivel de servicio C: Pertenece al rango de flujo estable, pero marca el comienzo del dominio en que la operación de los usuarios individuales se ve afectada de forma significativa por las interacciones con los otros usuarios, la velocidad se ve afectada por la presencia de otros, y la libertad de maniobra comienza a ser restringida, la comodidad y conveniencia desciende notablemente. Aumenta notablemente la formación de grupos de vehículos. Existen más zonas de no rebase, por lo que la capacidad de rebase disminuye. El flujo es estable, pero se presenta congestión debido a vehículos que realizan maniobras de vuelta o a la circulación de vehículos lentos.

Nivel de servicio D: Representa una circulación de densidad elevada, aunque estable. La velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas, la comodidad y conveniencia son bajas, los incrementos de flujo ocasionan problemas de funcionamiento, incluso con formación de pequeñas colas. El Flujo vehicular es inestable. Los volúmenes de tránsito son altos y las maniobras de rebase se tornan difíciles.

Nivel de servicio E: El funcionamiento está en él, o cerca del, límite de su capacidad, la velocidad es baja y uniforme, a maniobra es difícil y se consigue forzando a los vehículos a "ceder el paso", hay frustración en los conductores, la circulación es inestable debido a aumentos de tráfico o perturbaciones del tránsito que producen colapsos. El rebase es prácticamente imposible y los grupos vehiculares son intensos a medida que se encuentran vehículos lentos u otras interrupciones.

Nivel de servicio F: Representa condiciones de flujo forzado. Hay formación de colas, donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque, extremadamente inestables, típicas de los cuellos de botella. Representa flujo congestionado con demandas vehiculares que exceden la capacidad. Las velocidades son muy variables.

Análisis de carretera.

Supuestos: Para llevar a cabo el análisis de capacidad, la vía en cuestión se analizó como una carretera de carriles, que son definidas como "*Son las que tienen uno o más carriles por sentido con características menores a las autopistas, por ejemplo, sin control total de accesos y en algunos casos no divididas o sin faja separadora central. Se encuentran en entornos rurales y zonas suburbanas donde las densidades de desarrollo urbanístico son mayores, aumentando la fricción vehicular por la presencia másfrecuente de movimientos de vuelta y retornos, ocasionando que la operación o el nivel de servicio sean de menor calidad que el ofrecido por las autopistas*" (Cal y Mayor, 2018).

Metodología: El proceso para la determinación del nivel de servicio se realizó con base en la metodología del HCM 2010 para el análisis del tránsito en este tipo de vías. Lo anterior, permite obtener los indicadores necesarios para conocer el comportamiento en la situación con proyecto de la vialidad y tener los insumos suficientes para proponer mejoras a la carretera en estudio, que permita mantener un nivel de servicio adecuado.

Una carretera de este tipo, puede ser caracterizada por tres medidas:

- La densidad, en términos de vehículos de pasajeros por kilómetro por carril.

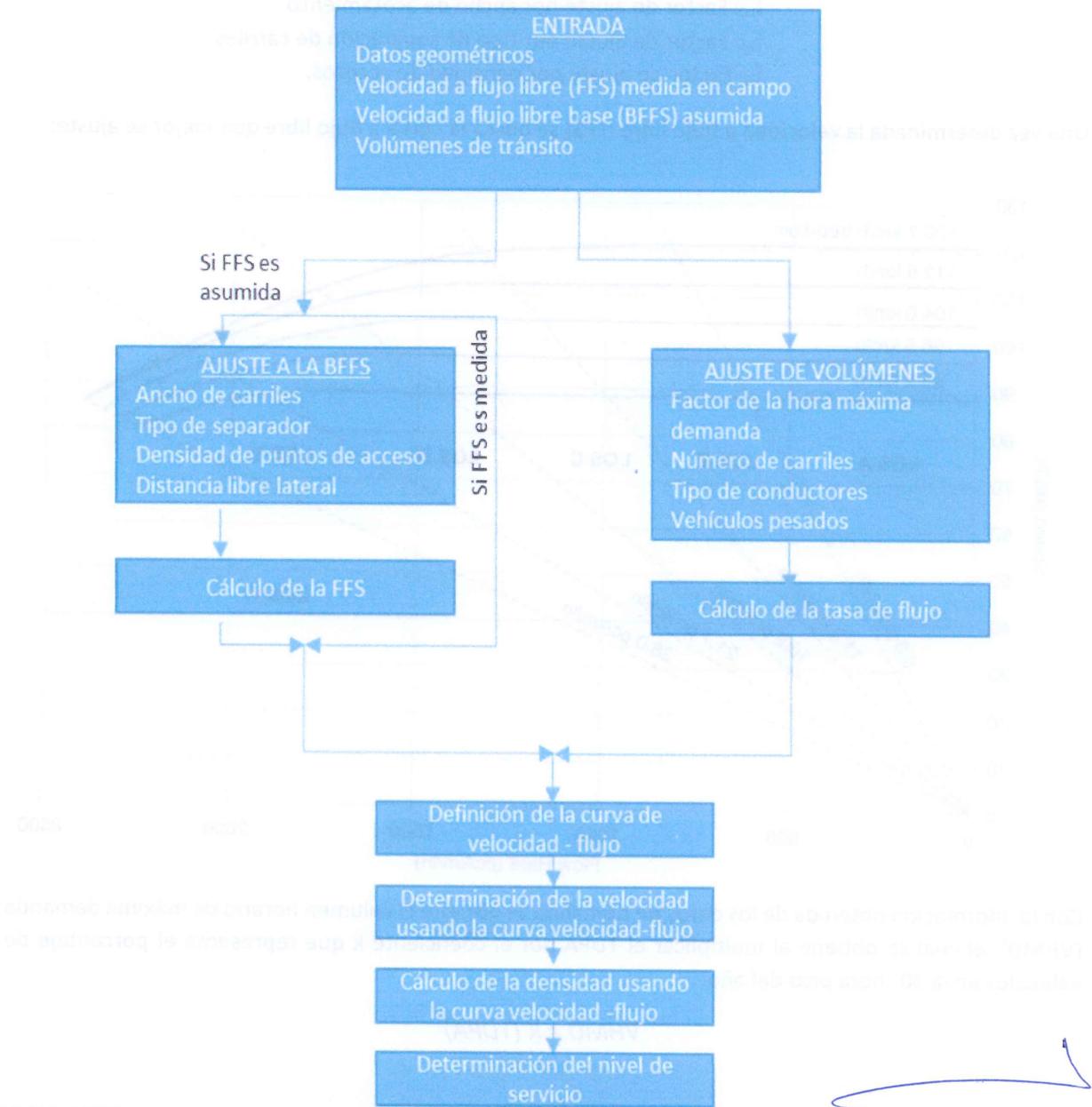
Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

- La velocidad, en términos de la velocidad de los vehículos de pasajeros.
- La relación volumen/capacidad (v/c).

En la figura siguiente, se ilustra la **metodología** de análisis para estas carreteras, desde los datos de entrada y el orden de cómputo, hasta la determinación del nivel de servicio. Estos pasos se describen a continuación:

Figura 18. Esquema metodológico para el análisis de carreteras.



Fuente: TRB. Highway Capacity Manual. HCM 2010.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Cálculo de la FFS

Conforme a la metodología que se plantea en el HCM se calcula la velocidad a flujo libre (FFS) utilizando la siguiente fórmula:

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A$$

Dónde:

FFS: velocidad a flujo libre

BFFS: Velocidad a flujo libre base

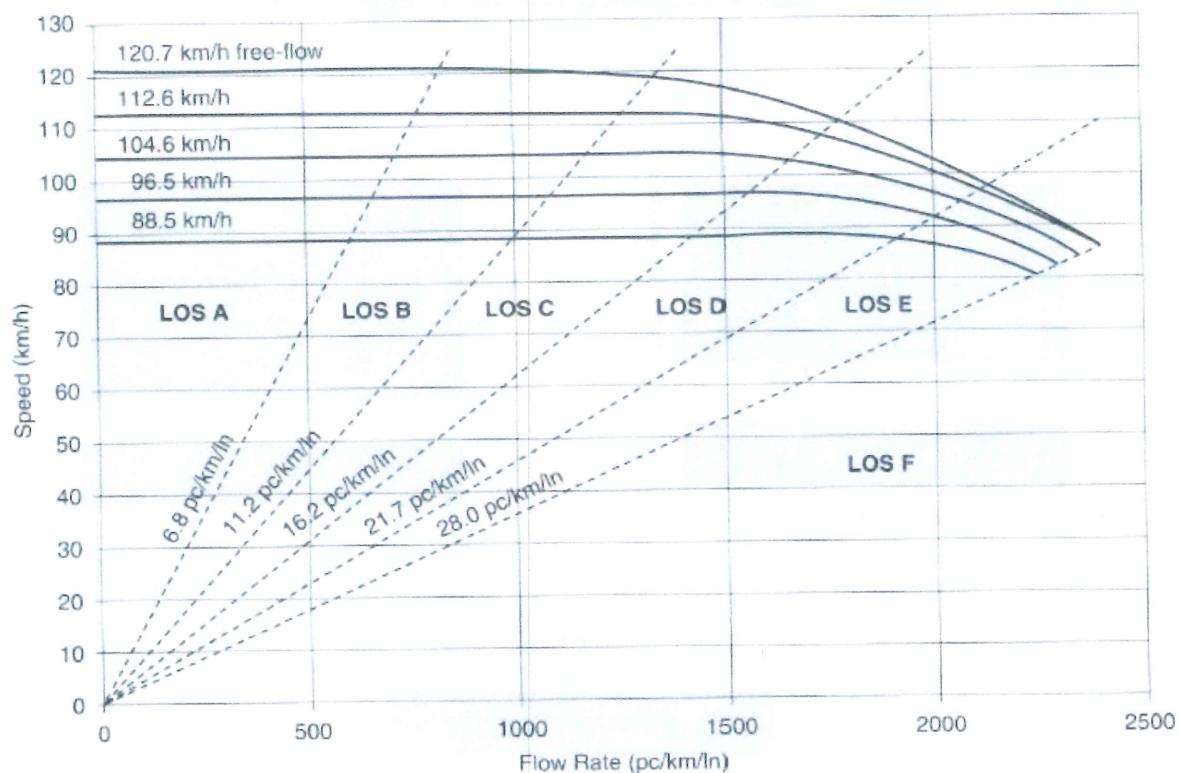
f_{LW} : Factor de ajuste por ancho de carril

f_{LC} : Factor de ajuste por ancho de acotamiento

f_M : Factor de ajuste por tipo de separación de carriles

f_A : Factor de ajuste por densidad de accesos.

Una vez determinada la velocidad a flujo libre (FFS) se busca la curva a flujo libre que mejor se ajuste:



Con la información obtenida de los datos de demanda se obtiene el volumen horario de máxima demanda (VHMD), el cual se obtiene al multiplicar el TDPA por el coeficiente k que representa el porcentaje de vehículos en la 30° hora pico del año.

$$VHMD = K (TDPA)$$

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Cálculo de la tasa de flujo vp

De acuerdo con lo establecido en el HCM, se determina la tasa de flujo con la siguiente fórmula que relaciona el volumen horario de máxima demanda (VHMD), el factor de hora pico (FHP), el número de carriles (N), el factor de ajuste por vehículos pesados (f_{HV}) y el factor por conductor f_p .

$$v_p = \frac{VHMD}{FHP * N * f_{HV} * f_p}$$

Donde:

v_p = Tasa de flujo

N: Número de carriles

VHMD: Valor Horario de Máxima Demanda

f_{HV} : Factor de vehículos pesados

FHP: Factor de Hora Pico

f_p : Factor por conductor

Cálculo de la densidad

Para el cálculo de la densidad se relaciona la tasa de flujo de la autopista con la velocidad media esperada:

$$D = \frac{v_p}{S}$$

Dónde:

D: Densidad

v_p : Tasa de flujo

S: Velocidad media esperada

Determinación del nivel de servicio actual

Una vez determinada la curva que mejor se ajuste a la velocidad a flujo libre FFS determinada en pasos anteriores y con la densidad, se toma como referencia los parámetros establecidos en el HCM 2010.

Parámetros: Con base a la metodología del HCM 2010 para el análisis del tránsito en Carreteras de múltiples carriles, en la siguiente tabla se presentan los parámetros para la determinación de los niveles de servicio correspondientes:

Tabla 5. Niveles de servicio para carreteras de múltiples carriles.

Nivel de servicio	Velocidad a Flujo Libre FFS (Km/h)	Densidad (automóviles/km/carril)
A	Todas	0-7
B	Todas	7-11
C	Todas	11-16
D	Todas	16-22
E	96	22-25
	88	22-26
	80	22-27
	72	22-28
F	96	>25
	88	>26
	80	>27
	72	>28

Fuente: TRB. Highway Capacity Manual HCM 2010.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Tabla 6. Interacción oferta-demanda de las carreteras que integran la Red de Análisis, en la situación actual.

Año	Carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57	
	TDPA	Nivel de Servicio
0	26,674	D
1	26,941	
2	27,210	
3	27,482	
4	27,757	
5	28,035	
6	28,315	D
7	28,598	E
8	28,884	
9	29,173	
10	29,465	
11	29,759	E
12	30,057	F
13	30,358	
14	30,661	
15	30,968	
16	31,277	
17	31,590	
18	31,906	
19	32,225	
20	32,547	
21	32,873	
22	33,202	
23	33,534	
24	33,869	
25	34,208	
26	34,550	
27	34,895	
28	35,244	
29	35,597	
30	35,953	F

Fuente: Elaboración propia.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

De la tabla anterior se puede concluir que en el tramo: Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora actualmente opera en un nivel de servicio "D", y durante la operación llega a condiciones de servicio "F" lo cual representa condiciones de flujo forzado. Hay formación de colas, donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque, extremadamente inestables, típicas de los cuellos de botella. Representa flujo congestionado con demandas vehiculares que exceden la capacidad. Las velocidades son muy variables lo cual representa condiciones de flujo forzado y de saturación de la vía provocando demoras a los usuarios.

Costos Generalizados de Viaje (CGV).

La interacción de la oferta y la demanda se refleja en Costo Generalizado de Viaje (CGV), el cual se define como el costo en el que incurren los usuarios del camino. Éste incluye la valoración del tiempo empleado en el viaje o el costo del tiempo de recorrido (CTR), y el costo de operación de los vehículos (COV) en que se realizan dichos viajes (incluyendo combustibles, neumáticos, lubricantes, etc).

El CGV de la situación sin proyecto debe calcularse por tipo de vehículo para cada tramo, en el periodo de congestión de acuerdo con la expresión:

$$CGV_{i,j,k} = COV_{i,j,k} + CTR_{i,j,k}$$

Donde:

- i puede ser vehículo ligero (A), autobús (B), camión (C).
- j se refiere a cada tramo de la carretera.
- K es el periodo de congestión.
- $CGV_{i,j,k}$ es el Costo Generalizado de Viaje calculado para el tipo de vehículo i en el tramo j, y periodo de congestión k
- $COV_{i,j,k}$ es el Costo de Operación Vehicular o costo variable medio de utilizar un tipo de vehículo i en el tramo j, en el periodo de congestión k.
- $CTR_{i,j,k}$ es el Costo por Tiempo de Recorrido de los pasajeros que viajan en el tipo de vehículo i en el tramo j, en el periodo de congestión k.

El COV mide en términos monetarios el costo que le representa al usuario circular por una carretera. La unidad con que se expresa es pesos por kilómetro recorrido (\$/km). Para su cálculo se incluye el consumo de combustibles y lubricantes, desgaste de llantas y elementos de frenado, deterioro del sistema de suspensión y de embrague, así como los costos de refacciones, mantenimiento y depreciación del vehículo. El COV es sensible a las características geométricas del camino, tales como pendientes, grados de curvatura, así como a la altitud sobre el nivel del mar.

El CTR representa el valor, en términos monetarios, del tiempo de viaje de las personas que viajan en cada tipo de vehículo i. Está dado por el valor unitario del tiempo de las personas (pesos/hora) multiplicado por el tiempo de recorrido en horas y por el número de pasajeros.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

El CGV de la situación actual se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 7. Costos Generalizados de Viaje en la situación actual.

Año	Carretera Estatal MICH-23 San Felipe-Angangueo- Tlalpujahua			
	COV	Tiempo	Conservación	TOTAL
0	5,826,767,202	4,397,337,897	9,708,480	10,233,813,578
1	5,945,864,648	4,531,950,281	9,708,480	10,487,523,410
2	6,091,295,286	4,670,683,453	9,708,480	10,771,687,219
3	6,281,595,463	4,813,663,559	9,708,480	11,104,967,502
4	6,547,828,333	4,961,020,607	9,708,480	11,518,557,420
5	6,941,622,354	5,112,888,585	12,401,280	12,066,912,219
6	7,548,422,268	5,269,405,582	9,708,480	12,827,536,330
7	8,509,512,116	5,430,713,916	9,708,480	13,949,934,512
8	9,075,734,478	5,596,960,261	9,708,480	14,682,403,219
9	9,506,835,566	5,768,295,779	9,708,480	15,284,839,825
10	9,889,961,040	5,944,876,262	17,258,880	15,852,096,181
11	10,288,526,470	6,126,862,270	9,708,480	16,425,097,219
12	10,703,154,086	6,314,419,278	9,708,480	17,027,281,844
13	11,134,491,196	6,507,717,827	9,708,480	17,651,917,503
14	11,583,211,191	6,706,933,679	9,708,480	18,299,853,350
15	12,050,014,602	6,912,247,975	12,401,280	18,974,663,858
16	12,535,630,191	7,123,847,403	9,708,480	19,669,186,074
17	13,040,816,087	7,341,924,365	9,708,480	20,392,448,932
18	13,566,360,976	7,566,677,151	9,708,480	21,142,746,607
19	14,113,085,323	7,798,310,125	9,708,480	21,921,103,928
20	14,681,842,662	8,037,033,905	17,258,880	22,736,135,446
21	15,273,520,921	8,283,065,555	9,708,480	23,566,294,956
22	15,889,043,814	8,536,628,786	9,708,480	24,435,381,080
23	16,529,372,280	8,797,954,157	9,708,480	25,337,034,917
24	17,195,505,983	9,067,279,284	9,708,480	26,272,493,747
25	17,888,484,874	9,344,849,058	12,401,280	27,245,735,212
26	18,609,390,814	9,630,915,866	9,708,480	28,250,015,160
27	19,359,349,264	9,925,739,821	9,708,480	29,294,797,565
28	20,139,531,039	10,229,589,000	9,708,480	30,378,828,519
29	20,951,154,140	10,542,739,683	9,708,480	31,503,602,303
30	21,795,485,652	10,865,476,612	9,708,480	32,670,670,744

Fuente: Elaboración propia.

III. Situación sin el PPI

a) Optimizaciones

Con el fin de optimizar la operación y funcionalidad de las Carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Peribán y Libramiento Sur de Zamora, se proponen las siguientes acciones:

- En caso de que el proyecto no se realice, se realizarían trabajos de conservación y mantenimiento a la carretera en cuestión consistentes en limpieza general y reparación de pequeños desperfectos de la superficie de rodamiento.
- Asimismo, se pretende llevar a cabo un programa de mejora del señalamiento horizontal y vertical.

El monto por llevar a cabo estas acciones se estima en 8.77 millones de pesos (mdp), que incluye el Impuesto al Valor Agregado (IVA). Los datos de esta situación se muestran en la tabla siguiente.

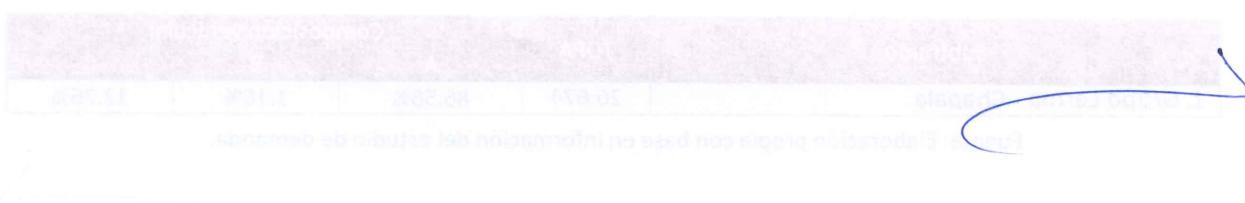
Tabla 8. Monto total de las optimizaciones.

Obras de señalamiento	Unidad	Costo unitario	Cantidad	Monto
Pintado de raya	km	16,371.00	134.84	2,207,465.64
Vialetas e indicadores de alineamiento	pza	49.00	18,529	907,921
Señalamiento vertical	pza	4,311.00	356	1,534,716
Suma				4,650,102.64
Pavimento	Unidad	Costo unitario	Cantidad	Monto
Conservación y mantenimiento	km	30,600.00	134.84	4,126,104
Suma				4,126,104
Total				8,776,206.64

Fuente: Elaboración propia.

Con estas acciones, la velocidad de operación mejoraría, sin embargo, lo haría de forma poco significativa y por un lapso de tiempo corto, dado que no se estaría atendiendo el problema de raíz, es decir, no se estaría atendiendo la estructura de pavimento, por lo que al poco tiempo se presentarían nuevamente agrietamientos y deformaciones longitudinales, así como roderas.

– entre la T-04-H04 y T0-H04M, PG-H04M infiere que no se solucionan las necesidades de conservación y rehabilitación ATOT. El costo estimado es de 102 estimando 100 metros cuadrados de pavimento.



Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

b) Análisis de la Oferta

En caso de llevar a cabo las optimizaciones planteadas, las características geométricas de las carreteras que conforman la Red de Análisis serían las mismas, mientras que el estado superficial (IRI) mejora debido a los trabajos relacionados con la optimización; así también se mejoran marginalmente las velocidades de operación.

En la siguiente tabla se presentan las características, físicas y geométricas en la situación sin proyecto:

Tabla 9. Datos de la oferta en la situación sin proyecto de la red de análisis.

Concepto	Carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora
No de tramo	1
Longitud, km	134.84
Carriles	2
Ancho de corona, metros	7.0
Tipo de carretera	Asfalto
Ancho de carriles, metros	3.5
Ancho de acotamiento exterior, metros	0.0
Ancho de acotamiento interior, metros	0.0
Velocidad, km/hr	47
Tipo de terreno ^{a/}	Lomerío
Estado físico	No satisfactorio
Índice internacional de rugosidad (IRI) ^{b/}	3.5
Tiempo de recorrido (min)	70

Nota:

^{a/}Según el *Manual de Capacidad de Carreteras* (HCM, por sus siglas en inglés) en su versión última, el tipo de terreno se clasifica según la pendiente en el tramo acorde con los siguientes criterios: Plano ≤ 2.0 , $2.0 < \text{Lomerío} \leq 4.0$, Montañoso > 4.0

^{b/}En referencia al estado físico de la carretera observado, y dados los parámetros siguientes: IRI > 3.5 : No satisfactorio; $2.5 < \text{IRI} \leq 3.5$: Satisfactorio; IRI ≤ 2.5 : Bueno.

c) Análisis de la demanda

Debido a que los trabajos de optimización en las carreteras estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora presentan un efecto marginal en las condiciones de operación del tramo, además de tratarse de vialidades existentes, la demanda permanece constante. En este sentido, se considera la misma que fue detallada en la situación actual.

Tabla 10. TDPA actualizado y composición vehicular de la carretera estatal MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora

Subtramo	TDPA	Composición vehicular		
		A	B	C
1. Grupo Lerma - Chapala	26,674	86.56%	1.16%	12.26%

Fuente: Elaboración propia con base en información del estudio de demanda.

d) Diagnóstico de la interacción Oferta-Demanda

Los niveles de servicio sirven para medir la calidad del flujo vehicular, esta medida se considera una medida cualitativa que describe las condiciones de operación del flujo, y de la percepción por los usuarios que se encuentran en ese momento en la red. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y tiempo de recorrido, la libertad de realizar maniobras, la comodidad, la conveniencia, la seguridad vial y las demoras. De los factores que afectan el nivel de servicio, se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, etc. Entre los externos están las características fijas, tales como el acho de los carriles, la distancia libre lateral, acotamientos, pendientes, etc.}

Existen diferentes niveles de análisis, para el presente estudio se realizó un análisis semiurbano que considera carretera libre, autopistas y calles dentro de una población considerando diferentes características como número básico de carriles, sentidos, anchos de carril, acotamientos, volúmenes de tránsito, flujos en hora de máxima demanda, porcentaje de vehículos pesados, etc. Estos datos están basados en los atributos operacionales, por lo que la precisión de esta aplicación es intermedia, más aún por la incertidumbre que existe en pronósticos de la demanda futura de tránsito. El manual de capacidad vial HCM 2000 del TRB ha establecido seis niveles de servicio denominados A, B, C, D, E y F, que van del mejor al peor, los cuales se definen según que las condiciones de operación sean de circulación continua o discontinua.

En función del nivel de servicio estará el número de vehículos por unidad de tiempo que puede admitir la carretera o calle, al cual se le denomina flujo de servicio. Este flujo va aumentando a medida que el nivel de servicio va siendo de menor calidad, hasta llegar al nivel E, o capacidad del tramo de carretera o calle. Tradicionalmente se ha considerado la velocidad el principal indicador para identificar el nivel de servicio, sin embargo, se introducen otros factores como densidad y demora. La descripción de los servicios es:

Nivel de servicio A: Representa circulación a flujo libre. Los usuarios, considerados en forma individual, están virtualmente exentos de los efectos de la presencia de otros en circulación. Con alta libertad para seleccionar la velocidad deseada y maniobrar dentro del tránsito. La comodidad y conveniencia proporcionada por la circulación es excelente.

Nivel de servicio B: Está aún dentro del rango de flujo libre, aunque se empiezan a observar otros vehículos integrantes en la circulación. La libertad de selección de las velocidades deseadas sigue relativamente inafectada, aunque disminuye la capacidad de maniobra. La presencia de otros vehículos comienza a influir en el comportamiento individual de cada uno.

Nivel de servicio C: Pertenece al rango de flujo estable, pero marca el comienzo del dominio en que la operación de los usuarios individuales se ve afectada de forma significativa por las interacciones con los otros usuarios, la velocidad se ve afectada por la presencia de otros, y la libertad de maniobra comienza a ser restringida, la comodidad y conveniencia desciende notablemente.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Nivel de servicio D: Representa una circulación de densidad elevada, aunque estable. La velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas, la comodidad y conveniencia son bajas, los incrementos de flujo ocasionan problemas de funcionamiento, incluso con formación de pequeñas colas.

Nivel de servicio E: El funcionamiento está en él, o cerca del, límite de su capacidad, la velocidad es baja y uniforme, a maniobra es difícil y se consigue forzando a los vehículos a "ceder el paso", hay frustración en los conductores, la circulación es inestable debido a aumentos de tráfico o perturbaciones del tránsito que producen colapsos.

Nivel de servicio F: Representa condiciones de flujo forzado. Hay formación de colas, donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque, extremadamente inestables, típicas de los cuellos de botella.

Análogamente a la situación actual, la interacción oferta-demanda en la situación optimizada queda determinada por el nivel de servicio y se considera es la misma, ya que no se incrementa la capacidad de la vía.

Análisis de carretera.

Supuestos: Para llevar a cabo el análisis de capacidad, la vía en cuestión se analizó como una carretera de carriles múltiples, que son definidas como "*Son las que tienen dos o más carriles por sentido con características menores a las autopistas, por ejemplo, sin control total de accesos y en algunos casos no divididas o sin faja separadora central. Se encuentran en entornos rurales y zonas suburbanas donde las densidades de desarrollo urbanístico son mayores, aumentando la fricción vehicular por la presencia más frecuente de movimientos de vuelta y retornos, ocasionando que la operación o el nivel de servicio sean de menor calidad que el ofrecido por las autopistas*" (Cal y Mayor, 2018).

Metodología: El proceso para la determinación del nivel de servicio se realizó con base en la metodología del HCM 2010 para el análisis del tránsito en las vías. Lo anterior, permite obtener los indicadores necesarios para conocer el comportamiento en la situación con proyecto de la vialidad y tener los insumos suficientes para proponer mejoras a la carretera en estudio, que permita mantener un nivel de servicio adecuado.

Una carretera, puede ser caracterizada por tres medidas:

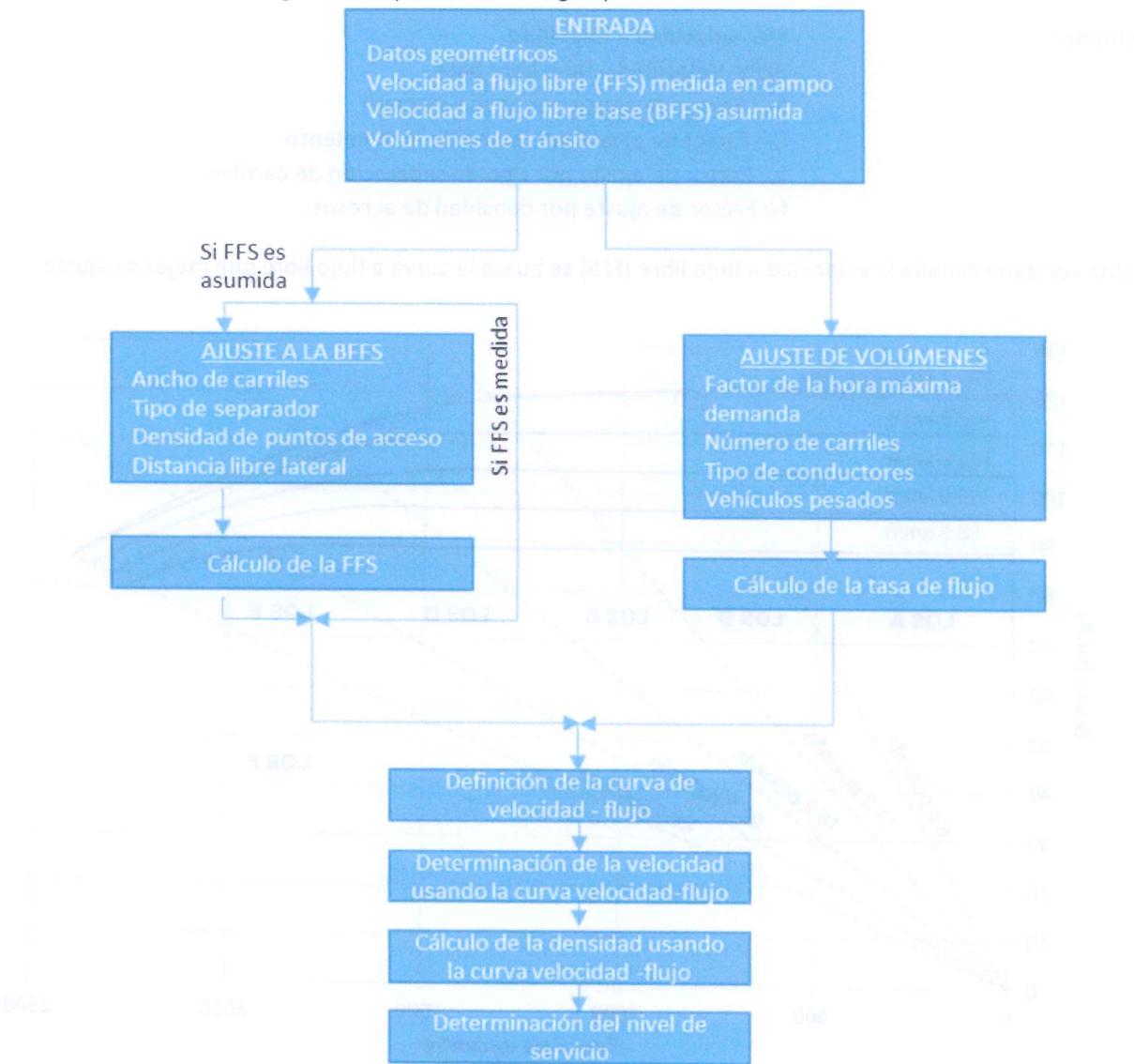
- La densidad, en términos de vehículos de pasajeros por kilómetro por carril.
- La velocidad, en términos de la velocidad de los vehículos de pasajeros.
- La relación volumen/capacidad (v/c).



"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

En la figura siguiente, se ilustra la **metodología** de análisis para carreteras, desde los datos de entrada y el orden de cómputo, hasta la determinación del nivel de servicio. Estos pasos se describen a continuación:

Figura 19. Esquema metodológico para el análisis de carreteras.



Fuente: TRB. Highway Capacity Manual. HCM 2010.

Este diagrama ilustra el procedimiento para el análisis de carreteras. Se comienza con la entrada de datos geométricos, velocidad a flujo libre medida en campo y volúmenes de tránsito. Luego se realizan ajustes a la velocidad a flujo libre base (BFFS) y a los volúmenes de tránsito. Los ajustes a la BFFS dependen de si la velocidad a flujo libre medida en campo es asumida o no. Luego se calcula la velocidad a flujo libre (FFS) y la tasa de flujo. Posteriormente, se define la curva de velocidad-flujo, se determina la velocidad usando esta curva y se calcula la densidad. Finalmente, se determina el nivel de servicio.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Cálculo de la FFS conforme al HCM

Conforme al modelo del HCM se calcula velocidad a flujo libre (FFS)

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A$$

Dónde:

FFS: velocidad a flujo libre

BFFS: Velocidad a flujo libre base

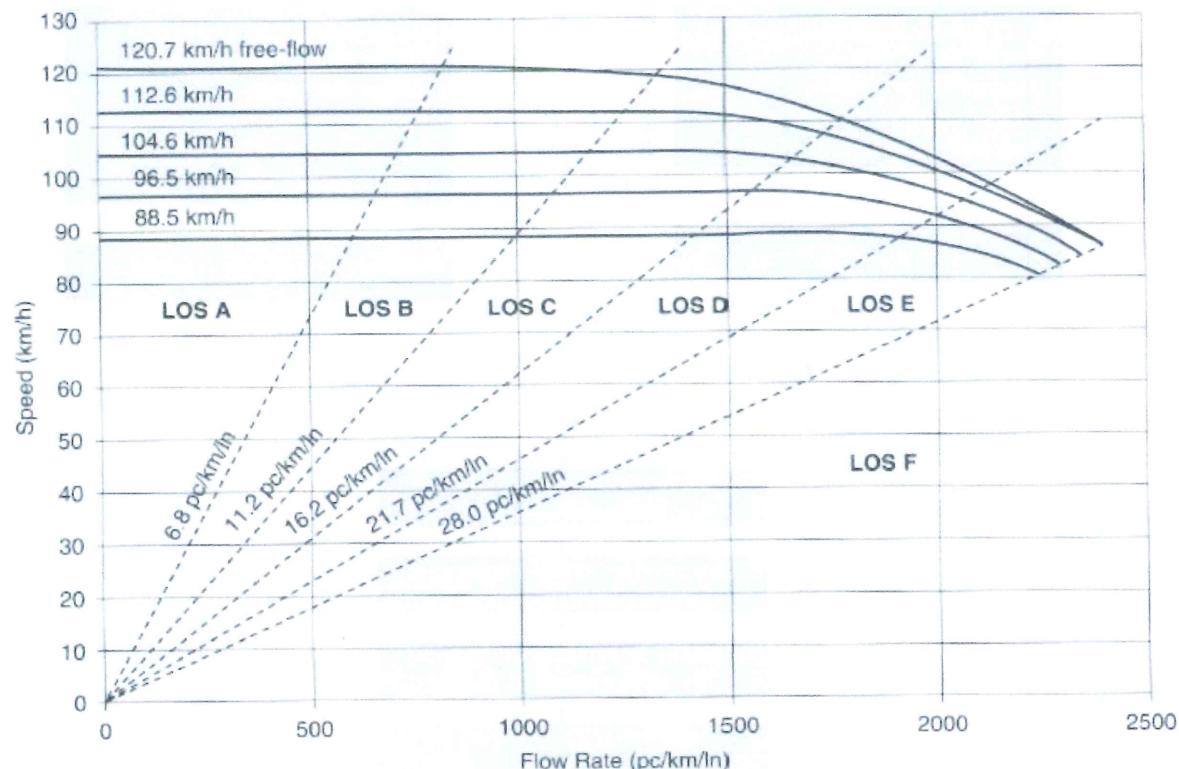
f_{LW} : Factor de ajuste por ancho de carril

f_{LC} : Factor de ajuste por ancho de acotamiento

f_M : Factor de ajuste por tipo de separación de carriles

f_A : Factor de ajuste por densidad de accesos.

Una vez determinada la velocidad a flujo libre (FFS) se busca la curva a flujo libre que mejor se ajuste:



Con la información obtenida de los datos de demanda se obtiene el volumen horario de máxima demanda (VHMD), el cual se obtiene al multiplicar el TDPA por el coeficiente k que representa el porcentaje de vehículos en la 30° hora pico del año.

$$VHMD = K \cdot (TDPA)$$

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Cálculo de la tasa de flujo vp

De acuerdo con lo que establece el HCM, se determina la tasa de flujo con la siguiente fórmula que relaciona el volumen horario de máxima demanda (VHMD), el factor de hora pico (FHP), el número de carriles (N), el factor de ajuste por vehículos pesados (f_{HV}) y el factor por conductor f_p .

$$v_p = \frac{VHMD}{FHP * N * f_{HV} * f_p}$$

Donde:

v_p = Tasa de flujo

N: Número de carriles

VHMD: Valor Horario de Máxima Demanda

f_{HV} : Factor de vehículos pesados

FHP: Factor de Hora Pico

f_p : Factor por conductor

Cálculo de la densidad

Para el cálculo de la densidad se relaciona la tasa de flujo de la autopista con la velocidad media esperada:

$$D = \frac{V_p}{S}$$

Dónde:

D: Densidad

V_p : Tasa de flujo

S: Velocidad media esperada

Determinación del nivel de servicio actual

Una vez determinada la curva que mejor se ajuste a la velocidad a flujo libre FFS determinada en pasos anteriores y con la densidad, se toma como referencia los parámetros establecidos en el HCM 2010.

Parámetros: Con base a la metodología del HCM 2010 para el análisis del tránsito en Carreteras de múltiples carriles, en la siguiente tabla se presentan los parámetros para la determinación de los niveles de servicio correspondientes:

Tabla 11. Niveles de servicio para carreteras de múltiples carriles.

Nivel de servicio	Velocidad a Flujo Libre FFS (Km/h)	Densidad (automóviles/km/carril)
A	Todas	0-7
B	Todas	7-11
C	Todas	11-16
D	Todas	16-22
E	96	22-25
	88	22-26
	80	22-27
	72	22-28
F	96	>25
	88	>26
	80	>27
	72	>28

Fuente: TRB. Highway Capacity Manual HCM 2010.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Tabla 12. Interacción oferta-demanda de la red de análisis, en la situación sin proyecto.

Año	Carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57	
	TDPA	Nivel de Servicio
0	26,674	D
1	26,941	
2	27,210	
3	27,482	
4	27,757	
5	28,035	
6	28,315	D
7	28,598	E
8	28,884	
9	29,173	
10	29,465	
11	29,759	E
12	30,057	F
13	30,358	
14	30,661	
15	30,968	
16	31,277	
17	31,590	
18	31,906	
19	32,225	
20	32,547	
21	32,873	
22	33,202	
23	33,534	
24	33,869	
25	34,208	
26	34,550	
27	34,895	
28	35,244	
29	35,597	
30	35,953	F

Fuente: Elaboración propia.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Tabla 13. Costos Generalizados de viaje en la situación sin proyecto.

Año	Carretera MICH-23 San Felipe-Angangueo-Las Tlalpujahua			
	COV	Tiempo	Conservación	TOTAL
0	5,826,767,202	4,397,337,897	9,708,480	10,233,813,578
1	5,945,864,648	4,531,950,281	9,708,480	10,487,523,410
2	6,091,295,286	4,670,683,453	9,708,480	10,771,687,219
3	6,281,595,463	4,813,663,559	9,708,480	11,104,967,502
4	6,547,828,333	4,961,020,607	9,708,480	11,518,557,420
5	6,941,622,354	5,112,888,585	12,401,280	12,066,912,219
6	7,548,422,268	5,269,405,582	9,708,480	12,827,536,330
7	8,509,512,116	5,430,713,916	9,708,480	13,949,934,512
8	9,075,734,478	5,596,960,261	9,708,480	14,682,403,219
9	9,506,835,566	5,768,295,779	9,708,480	15,284,839,825
10	9,889,961,040	5,944,876,262	17,258,880	15,852,096,181
11	10,288,526,470	6,126,862,270	9,708,480	16,425,097,219
12	10,703,154,086	6,314,419,278	9,708,480	17,027,281,844
13	11,134,491,196	6,507,717,827	9,708,480	17,651,917,503
14	11,583,211,191	6,706,933,679	9,708,480	18,299,853,350
15	12,050,014,602	6,912,247,975	12,401,280	18,974,663,858
16	12,535,630,191	7,123,847,403	9,708,480	19,669,186,074
17	13,040,816,087	7,341,924,365	9,708,480	20,392,448,932
18	13,566,360,976	7,566,677,151	9,708,480	21,142,746,607
19	14,113,085,323	7,798,310,125	9,708,480	21,921,103,928
20	14,681,842,662	8,037,033,905	17,258,880	22,736,135,446
21	15,273,520,921	8,283,065,555	9,708,480	23,566,294,956
22	15,889,043,814	8,536,628,786	9,708,480	24,435,381,080
23	16,529,372,280	8,797,954,157	9,708,480	25,337,034,917
24	17,195,505,983	9,067,279,284	9,708,480	26,272,493,747
25	17,888,484,874	9,344,849,058	12,401,280	27,245,735,212
26	18,609,390,814	9,630,915,866	9,708,480	28,250,015,160
27	19,359,349,264	9,925,739,821	9,708,480	29,294,797,565
28	20,139,531,039	10,229,589,000	9,708,480	30,378,828,519
29	20,951,154,140	10,542,739,683	9,708,480	31,503,602,303
30	21,795,485,652	10,865,476,612	9,708,480	32,670,670,744

Fuente: Cálculo de Indicadores.

e) Alternativas de solución

Con base en lo anterior, y con la finalidad de analizar alternativas que permitan mejorar la operación vial en la carretera en estudio, las cuales mejoren las velocidades de operación y por consiguiente reduzcan las demoras vehiculares, y los incidentes de tránsito, se analizó desde los aspectos de:

1. Su viabilidad técnica.
2. La capacidad de resolver la problemática.
3. Su viabilidad económica.
4. Su viabilidad ambiental.
5. Su viabilidad legal.

A continuación, se describen las alternativas analizadas que permitieron dar solución a la problemática presentada.

Alternativa 1. El proyecto consiste en la rehabilitación de la superficie de rodamiento con concreto hidráulico de la carretera estatal MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora, del km 0+000 al km 134+840 en una longitud total de 134.84 kilómetros conforme a lo siguiente:

Del km 0+000 al km 64+840: Consiste en la rehabilitación del cuerpo existente, el cual aloja 2 carriles, 1 por sentido de circulación, en varios municipios.

Del km 64+840 al km 134+840: Consiste en la rehabilitación del cuerpo existente, el cual aloja 2 carriles, 1 por sentido de circulación, en varios municipios.

El tipo de pavimento es de concreto asfáltico con un IRI de 2.5 m/km y una velocidad de operación de 50 km/hr. El proyecto se estima en 705.01 mdp, que incluye el Impuesto al Valor Agregado (IVA), en un periodo de un año de construcción y una vida útil de 30 años.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Los principales componentes de la alternativa son:

Tabla 14. Monto total de inversión

Componentes/Rubros	Monto sin IVA	IVA	Monto con IVA
PAVIMENTOS	424,442,312.82	67,910,770.05	492,353,082.87
OBRAS DE DRENAGE	15,650,402.60	2,504,064.42	18,154,467.02
SEÑALAMIENTO	49,965,865.72	7,994,538.52	57,960,404.24
FUNCIONALIDAD DEL DERECHO DE VIA	5,310,173.66	849,627.79	6,159,801.45
GASTOS FIDUCIARIOS	652,400.00	104,384.00	756,784.00
SUPERVISION BANCARIA	2,796,000.00	447,360.00	3,243,360.00
COMISION DE APERTURA DE CREDITO	9,194,044.09	1,471,047.05	10,665,091.14
COBERTURA DE TASA DE CREDITO	8,000,000.00	1,280,000.00	9,280,000.00
GASTOS ESTRUCTURACION	7,925,900.08	1,268,144.01	9,194,044.09
INTERESES CREDITO	64,378,995.22		64,378,995.22
FONDO DE RESERVA DEL SERVICIO DE LA DEUDA (FRSD)	18,000,000.00		18,000,000.00
RENDIMIENTO DEL CAPITAL DEL CONTRATISTA	14,865,520.35		14,865,520.96
Total	621,181,615.15	83,829,935.07	705,011,550.99

Fuente: Elaboración propia.

Los costos de conservación de la alternativa 1 son los siguientes:

Costos de conservación para pavimento hidráulico.

Concepto	Periodicidad	Costo unitario
	Años	\$/km/c
Conservación rutinaria	1	36,000
Riego de sello	4	310,000
Sobrecarpeta	8	1,075,000
Reconstrucción	16	2,750,000

Fuente: Dirección General de Conservación de Carreteras.

La presente alternativa cuenta con un VPC de \$927,806,311 una TIR de 22.84%, y una TRI de 12.68%.

Ventajas:

- Contribuye al mejoramiento de la infraestructura carretera en la zona turística del Estado de Michoacán, contribuyendo al desarrollo económico y social de los habitantes del estado.
- Reducción en los Costos Generalizados de Viaje de los diferentes tipos de vehículos.
- Reducción del tiempo de recorrido para el tránsito proveniente de y hacia los municipios de Ocampo, Zitácuaro, Angangueo y Tlalpujahua.
- Incremento de las velocidades de operación de los diferentes tipos de vehículos.
- Menores costos de conservación en el horizonte de evaluación

Desventajas:

- Requiere de una inversión mayor con respecto a la Alternativa 2.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Alternativa 2. En este programa 2, consiste en realizar trabajos de conservación rutinarios que refuerzen en mayor medida la estructura del pavimento de la superficie de rodamiento.

Los trabajos que se desarrollarán con la contratación de este proyecto son:

- Limpieza de la carpeta asfáltica en la superficie de rodamiento, accesos y acotamientos.
- Bacheo superficial aislado sobre la superficie de rodamiento del puente y sobre los accesos.
- Aplicación de riego de liga con emulsión de rompimiento rápido tipo ECR-65.
- Desazolve de drenes.
- Suministro y aplicación del señalamiento preventivo de la obra.:.

Del km 0+000 al km 134+840: Consiste en realizar trabajos de conservación rutinarios que refuerzen en mayor medida la estructura del pavimento de la superficie de rodamiento, el cual aloja 2 carriles, 1 por sentido de circulación.

El tipo de pavimento es asfáltico con un IRI de 3.0 m/km y una velocidad de operación de 48 km/hr. El proyecto se estima en 412.44 mdp, que incluye el Impuesto al Valor Agregado (IVA), en un periodo de dos años de construcción y una vida útil de 29 años.

Los principales componentes de la alternativa son:

Tabla 15. *Monto total de inversión*

Componentes/Rubros	Monto sin IVA	IVA	Monto con IVA
Total	355,556,000	56,888,960	412,444,960

Fuente: Elaboración propia.

Los costos de conservación de la alternativa 2 son los siguientes:

Tabla 16 *Costos de conservación para pavimento asfáltico.*

Concepto	Periodicidad	Costo unitario
	Años	\$/km/c
Conservación rutinaria	1	36,000
Riego de sello	4	310,000
Sobrecarpeta	8	1,075,000
Reconstrucción	16	2,750,000

Fuente: Dirección General de Conservación de Carreteras.

La presente alternativa cuenta con un VPC de \$993,839,664.

Ventajas:

- Contribuye al mejoramiento de la infraestructura carretera en la zona turística del Estado de Michoacán, contribuyendo al desarrollo económico y social de los habitantes del estado.
- Reducción en los Costos Generalizados de Viaje de los diferentes tipos de vehículos.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

- Reducción del tiempo de recorrido para el tránsito de la zona.
- Incremento de las velocidades de operación de los diferentes tipos de vehículos.

Desventajas:

- Presenta mayores costos de conservación a lo largo del horizonte de evaluación en comparativa con la Alternativa 1.
- La presente alternativa tiene un Valor Presente Costo (VPC) mayor en comparación con la alternativa 1.

Además de los beneficios obtenidos, se procedió a realizar el cálculo de indicadores de rentabilidad de ambas alternativas. Adicionalmente, se elaboró una matriz con la comparación entre ambas alternativas.

Tabla 17. Tabla comparativa de la cuantificación de los costos e indicadores de rentabilidad de cada alternativa.

Criterio	Descripción del criterio	Criterio de decisión	Alternativa 1	Alternativa 2
Costo de inversión (mdp) sin IVA	Refiere al monto total de inversión de la alternativa (mdp).	Mayor costo	621.18	355.55
Técnico	Indica si el proyecto presenta un alineamiento conforme a la normativa de la SCT, el cual cumple con pendientes, grados de curvatura, cortes y terraplenes para el tipo de camino	Viabilidad	Viable	Viable
Legal	Indica si el proyecto requiere derecho de vía adicional	Menor cantidad de afectaciones	Menor afectación	Menor afectación
CAE	Indicador de rentabilidad social	Menor CAE	99,022,981	106,070,594
VPC	Valor presente de los costos	VPC mayor a "0"	927,806,311	993,839,664
		Mejor alternativa	✓	✗

Fuente: Elaboración propia.

La alternativa 1 consistente en la rehabilitación mediante concreto asfáltico permite ofrecer una velocidad constante a los usuarios, asimismo, requiere un menor monto de conservación a lo largo del horizonte de evaluación y adicionalmente presenta un VPC de 160,110,350 menor a la alternativa 2. Con respecto a la alternativa 2 si bien presenta un menor monto de inversión en el año 0 requiere mayor costo de conservación y en consecuencia mayores afectaciones para los usuarios en el horizonte de evaluación. Derivado de los anterior, se optó por seleccionar la alternativa número 1.

IV. Situación con el PPI

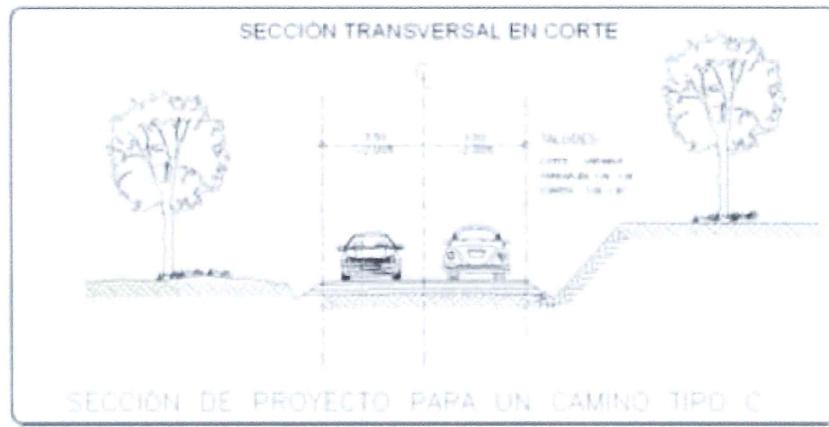
a) Descripción general

Tipo de PPI	
Proyecto de infraestructura económica	<input checked="" type="checkbox"/>
Proyecto de infraestructura social	
Proyecto de infraestructura gubernamental	
Proyecto de inmuebles	
Programa de adquisiciones	
Programa de mantenimiento	
Otros proyectos de inversión	
Otros programas de inversión	

El proyecto consiste en la rehabilitación de la superficie de rodamiento con concreto hidráulico de la carretera estatal MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora, del km 0+000 al km 134+840 en una longitud total de 134.84 kilómetros conforme a lo siguiente:

El tipo de pavimento es de concreto asfáltico con un IRI de 2.5 m/km y una velocidad de operación de 50 km/hr. El proyecto se estima en 705.01 mdp, que incluye el Impuesto al Valor Agregado (IVA), en un periodo de un año de construcción y una vida útil de 30 años.

Figura 20. Sección transversal de los tramos



Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

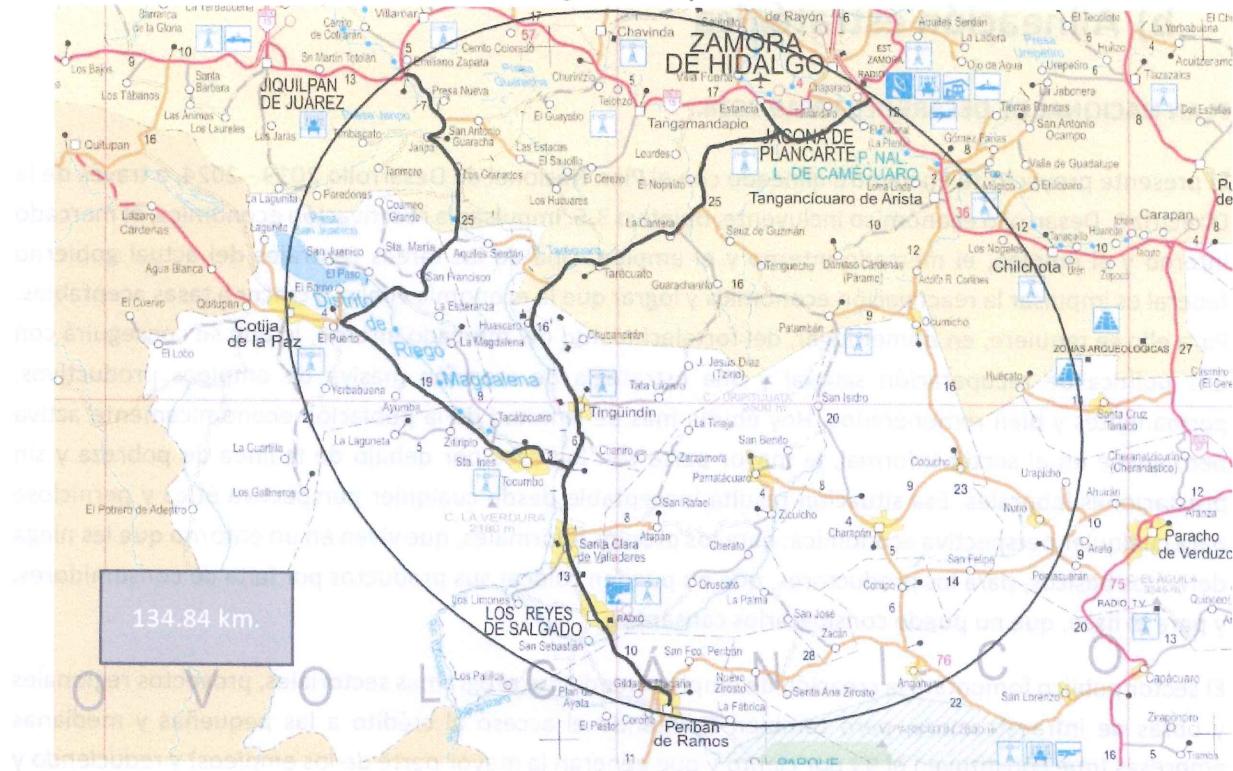
Figura 21. Sección transversal de los tramos



Fuente: Proyecto.

La rehabilitación incluye la modernización del pavimento y la carpeta de rodamiento.

Figura 22. Proyecto



Fuente: Elaboración propia

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Los principales componentes del proyecto son:

Tabla 18. *Monto total de inversión*

Componentes/Rubros	Monto sin IVA	IVA	Monto con IVA
PAVIMENTOS	424,442,312.82	67,910,770.05	492,353,082.87
OBRAS DE DRENAJE	15,650,402.60	2,504,064.42	18,154,467.02
SEÑALAMIENTO	49,965,865.72	7,994,538.52	57,960,404.24
FUNCIONALIDAD DEL DERECHO DE VIA	5,310,173.66	849,627.79	6,159,801.45
GASTOS FIDUCIARIOS	652,400.00	104,384.00	756,784.00
SUPERVISION BANCARIA	2,796,000.00	447,360.00	3,243,360.00
COMISION DE APERTURA DE CREDITO	9,194,044.09	1,471,047.05	10,665,091.14
COBERTURA DE TASA DE CREDITO	8,000,000.00	1,280,000.00	9,280,000.00
GASTOS ESTRUCTURACION	7,925,900.08	1,268,144.01	9,194,044.09
INTERESES CREDITO	64,378,995.22		64,378,995.22
FONDO DE RESERVA DEL SERVICIO DE LA DEUDA (FRSD)	18,000,000.00		18,000,000.00
RENDIMIENTO DEL CAPITAL DEL CONTRATISTA	14,865,520.35		14,865,520.96
Total	621,181,615.15	83,829,935.07	705,011,550.99

Fuente: Elaboración propia.

b) Alineación estratégica

PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2019-2024.

El presente proyecto se encuentra alineado con el Plan Nacional de Desarrollo 2019 - 2024, a través de la Directriz 3. Desarrollo económico incluyente, objetivo 3.6. Impulsar la reactivación económica, el mercado interno y el empleo, el mercado interno y el empleo. Una de las tareas centrales del actual gobierno federal es impulsar la reactivación económica y lograr que la economía vuelva a crecer a tasas aceptables. Para ello se requiere, en primer lugar, del fortalecimiento del mercado interno, lo que se conseguirá con una política de recuperación salarial y una estrategia de creación masiva de empleos productivos, permanentes y bien remunerados. Hoy en día más de la mitad de la población económicamente activa permanece en el sector informal, la mayor parte con ingresos por debajo de la línea de pobreza y sin prestaciones laborales. Esta situación resulta inaceptable desde cualquier perspectiva ética y perniciosa para cualquier perspectiva económica: para los propios informales, que viven en un entorno que les niega derechos básicos, para los productores, que no pueden colocar sus productos por falta de consumidores, y para el fisco, que no puede considerarlos causantes.

El sector público fomentará la creación de empleos mediante programas sectoriales, proyectos regionales y obras de infraestructura, pero también facilitando el acceso al crédito a las pequeñas y medianas empresas (que constituyen el 93 por ciento y que generan la mayor parte de los empleos) y reduciendo y simplificando los requisitos para la creación de empresas nuevas.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

PROGRAMA SECTORIAL DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES 2020 – 2024.

La transformación del país hacia un desarrollo equitativo e incluyente depende en gran medida del acceso a un transporte seguro, ágil y oportuno, y a una conectividad eficiente y suficiente, que son base del crecimiento económico al ofrecer los medios para movilizar y controlar todos los bienes e insumos que se requieren para la producción y el consumo, y como detonadores del crecimiento regional. Son, además, los medios de acceso a los servicios de educación, salud y cultura, así como a las fuentes de empleo, derivado de los anterior, el presente proyecto se alinea con el Objetivo Prioritario 1: "Contribuir al bienestar social mediante la construcción, modernización y conservación de infraestructura carretera accesible, segura, eficiente y sostenible, que conecte a las personas de cualquier condición, con visión de desarrollo regional e intermodal", a través de las siguientes estrategias y líneas de acción.

Estrategia prioritaria 1.4 Incrementar la cobertura y accesibilidad de las vías de comunicación para impulsar el desarrollo regional y disminuir la marginación.

Línea de acción 1.4.4 Continuar con la construcción y modernización de la Red Carretera Federal.

Línea de acción 1.4.6 Construir y modernizar la infraestructura carretera para el desarrollo regional.

PLAN DE DESARROLLO INTEGRAL DEL ESTADO DE MICHOACÁN 2015-2021

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Integral del Estado de Michoacán 2015-2021, el proyecto de referencia se alinea con el Eje 3. Prosperidad Económica, 3.2. Impulsar la competitividad del estado y la integración de los territorios con infraestructura, equipamiento, tecnologías digitales e iniciativas estratégicas, incluyentes, sostenibles, eficientes, accesibles y seguros, basadas en una visión de desarrollo regional.

3.2.1. Desarrollo y regeneración de vías de acceso y comunicación:

En 2021, solo el 21.6% de la población que habita en áreas urbanas de Michoacán considera en buen estado las carreteras y caminos sin cuota, 32% que comunican de manera rápida y 39% que existen señalamientos claros. Para el 2027, incrementaremos a que al menos el 50% de la población tenga un buen nivel de satisfacción general.



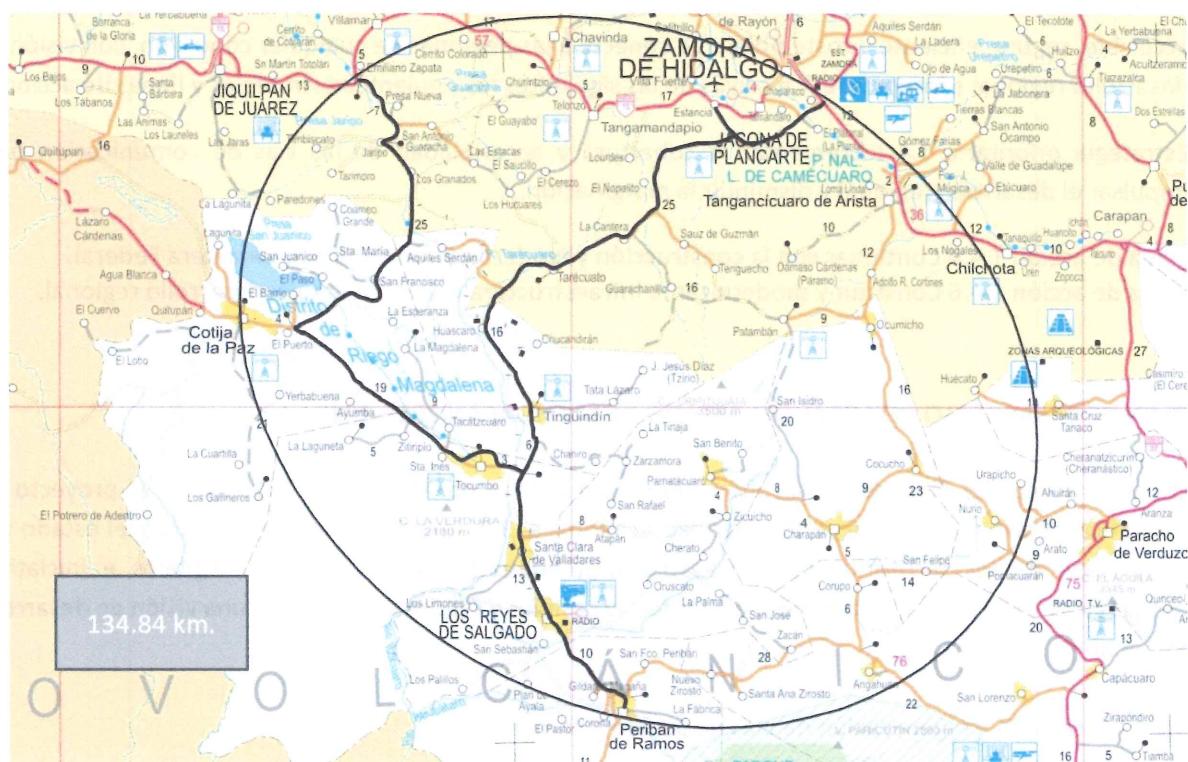
Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

c) Localización geográfica

El proyecto para la rehabilitación de las Carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora en el Estado de Michoacán.

Figura 23. Ubicación regional de la Rehabilitación de las carreteras MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Ubicación del proyecto.

Rehabilitación de las carreteras estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57		
Coordinadas	Inicio	Final
Latitud	19.934605	19.552982
Longitud	-102.327332	-102.445232

Fuente: Proyecto.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

d) Calendario de actividades

Tabla 20. Calendario de actividades.

Año	Monto total de inversión con IVA	Avance financiero (%)	Concepto	Avance físico (km)
2023	705,011,550.99	100%	Rehabilitacion y Conservación de las Carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Peribán y Libramiento Sur de Zamora, mediante la rehabilitación de una carpeta de concreto asfáltico.	134.84
Total	705,011,550.99	100 %	Rehabilitacion y Conservación de las Carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Peribán y Libramiento Sur de Zamora, mediante la rehabilitación de una carpeta de concreto asfáltico	134.84

Fuente: Elaboración propia.

e) Monto total de inversión

El monto total de inversión se estima en 705,011,550.99 que incluye el Impuesto al Valor Agregado (IVA).

Tabla 21. Monto total de inversión

Componentes/Rubros	Monto sin IVA	IVA	Monto con IVA
PAVIMENTOS	424,442,312.82	67,910,770.05	492,353,082.87
OBRAS DE DRENAJE	15,650,402.60	2,504,064.42	18,154,467.02
SEÑALAMIENTO	49,965,865.72	7,994,538.52	57,960,404.24
FUNCIONALIDAD DEL DERECHO DE VIA	5,310,173.66	849,627.79	6,159,801.45
GASTOS FIDUCIARIOS	652,400.00	104,384.00	756,784.00
SUPERVISION BANCARIA	2,796,000.00	447,360.00	3,243,360.00
COMISION DE APERTURA DE CREDITO	9,194,044.09	1,471,047.05	10,665,091.14
COBERTURA DE TASA DE CREDITO	8,000,000.00	1,280,000.00	9,280,000.00
GASTOS ESTRUCTURACION	7,925,900.08	1,268,144.01	9,194,044.09
INTERESES CREDITO	64,378,995.22		64,378,995.22
FONDO DE RESERVA DEL SERVICIO DE LA DEUDA (FRSD)	18,000,000.00		18,000,000.00
RENDIMIENTO DEL CAPITAL DEL CONTRATISTA	14,865,520.35		14,865,520.96
Total	621,181,615.15	83,829,935.07	705,011,550.99

Fuente: Elaboración propia.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

f) Fuentes de financiamiento

La rehabilitación de la carretera Estatal MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora, tiene un monto de inversión incluyendo el Impuesto al Valor Agregado (IVA) de 705,011,550.99 la cual se desarrollará a través de recursos públicos estatales.

Tabla 22. Fuentes de financiamiento

Fuente de los recursos	Procedencia	Monto con IVA	Porcentaje
1. Federales			
2. Estatales	MULTIANUALES	705,011,550.99	100%
3. Municipales			
4. Fideicomisos			
5. Otros			
Total, c/IVA		705,011,550.99	100%

Fuente: Elaboración propia

g) Capacidad instalada en las carreteras MICH-04, MICH-07 y MICH-57

Con la puesta en operación del proyecto se tendrán beneficios significativos para los usuarios, de mejorarán las velocidades de operación, y los niveles de servicio en los tramos que conforman el proyecto.

Tabla 23. Capacidad instalada de las Carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Peribán y Libramiento Sur de Zamora.

Año	Carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57	
	TDPA	Nivel de Servicio
0	26,674	D
1	26,941	C
2	27,210	
3	27,482	C
4	27,757	
5	28,035	
6	28,315	
7	28,598	D
8	28,884	E
9	29,173	
10	29,465	
11	29,759	
12	30,057	E
13	30,358	F
14	30,661	
15	30,968	
16	31,277	
17	31,590	
18	31,906	
19	32,225	
20	32,547	
21	32,873	
22	33,202	
23	33,534	
24	33,869	
25	34,208	
26	34,550	
27	34,895	
28	35,244	
29	35,597	
30	35,953	F

Fuente: Elaboración propia.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

h) Metas anuales y totales de producción

Las metas físicas esperadas con la ejecución del proyecto son las que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 24. Metas físicas anuales

Año	Monto total de inversión con IVA	Avance financiero (%)	Concepto	Avance físico (km)
2023	705,011,550.99	100%	Rehabilitacion y Conservación de las Carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora, mediante la rehabilitación de una carpeta de concreto asfáltico.	134.84
Total	705,011,550.99	100 %	Rehabilitacion y Conservación de las Carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora, mediante la rehabilitación de una carpeta de concreto asfáltico	134.84

Fuente: Elaboración propia.

i) Vida útil

Vida útil del PPI	
Horizonte de evaluación	31 años
Periodo de construcción	1 años
Vida útil en años	30 años

Fuente: Elaboración propia.

j) Descripción de los aspectos más relevantes

Estudios técnicos

El proyecto ejecutivo para la rehabilitación de la carretera estatal MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora, se encuentra en proceso de elaboración con un porcentaje de avance del 100.0%.

Estudios legales

Para la realización del proyecto se cuenta con 100% del derecho de vía en un ancho de superior al requerido, mismo que corresponde al denominado Derecho de Vías Histórico, por lo que no se tendría ningún impedimento para realizar la modernización de esta obra.



Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Estudios ambientales

La rehabilitación se realizará sobre el trazo existente del camino, por lo que ya se ha cumplido con la regulación ambiental necesaria.

k) Análisis de la Oferta

Es importante mencionar que, con la realización del proyecto de rehabilitación, se impulsará el desarrollo económico y social, y mejorará el servicio de las carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora, de tal forma que los costos correspondientes a tiempos de recorrido y operación vehicular se reducirán de forma importante, en beneficio de los usuarios.

En ese sentido, una vez que entre en operación el proyecto, la oferta de infraestructura en el tramo quedaría como sigue:

Tabla 25. Datos de la oferta en la situación con proyecto.

Concepto	Carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Peribán y Libramiento Sur de Zamora
No de tramo	1
Longitud, km	134.84
Carriles	2
Ancho de corona, metros	7.0
Tipo de carretera	Asfalto
Ancho de carriles, metros	3.5
Ancho de acotamiento exterior, metros	0.0
Ancho de acotamiento interior, metros	0.0
Velocidad, km/hr	50.0
Tipo de terreno ^{a/}	Lomerío
Estado físico	Bueno
Índice internacional de rugosidad (IRI) ^{b/}	2.5
Tiempo de recorrido (min)	70

11-2

^{a/} Según el *Manual de Capacidad de Carreteras* (HCM, por sus siglas en inglés) en su versión última, el tipo de terreno se clasifica según la pendiente en el tramo acorde con los siguientes criterios: Planos > 12.0, 3.0 y elevación > 14.0. Montaña > 1.0.

b/ En referencia al estado físico de la carretera observado, y dados los parámetros siguientes: IRI > 3.5: No satisfactorio; 2.5 < IRI ≤ 3.5: Satisfactorio; IRI < 2.5: Bueno.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

I) Análisis de la Demanda

Con base en el estudio de demanda, la asignación de tránsito a las carreteras estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora en el año base tendrá los valores mostrados en la siguiente tabla en la situación con proyecto.

Tabla 26. Distribución del tránsito en la situación con proyecto.

Carretera	Tramo	TDPA	Composición vehicular		
			A	B	C
MICH-04, MICH-07 y MICH-57	Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora	26,674	86.56%	1.16%	12.26%

Fuente: Estudio de demanda.

m) Interacción Oferta-Demanda

Los niveles de servicio sirven para medir la calidad del flujo vehicular, esta medida se considera una medida cualitativa que describe las condiciones de operación del flujo, y de la percepción por los usuarios que se encuentran en ese momento en la red. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y tiempo de recorrido, la libertad de realizar maniobras, la comodidad, la conveniencia, la seguridad vial y las demoras. De los factores que afectan el nivel de servicio, se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, etc. Entre los externos están las características fijas, tales como el acho de los carriles, la distancia libre lateral, acotamientos, pendientes, etc.)

Existen diferentes niveles de análisis, para el presente estudio se realizó un análisis semiurbano que considera carretera libre, autopistas y calles dentro de una población considerando diferentes características como número básico de carriles, sentidos, anchos de carril, acotamientos, volúmenes de tránsito, flujos en hora de máxima demanda, porcentaje de vehículos pesados, etc. Estos datos están basados en los atributos operacionales, por lo que la precisión de esta aplicación es intermedia, más aún por la incertidumbre que existe en pronósticos de la demanda futura de tránsito. El manual de capacidad vial HCM 2000 del TRB ha establecido seis niveles de servicio denominados A, B, C, D, E y F, que van del mejor al peor, los cuales se definen según que las condiciones de operación sean de circulación continua o discontinua.

En función del nivel de servicio estará el número de vehículos por unidad de tiempo que puede admitir la carretera o calle, al cual se le denomina flujo de servicio. Este flujo va aumentando a medida que el nivel de servicio va siendo de menor calidad, hasta llegar al nivel E, o capacidad del tramo de carretera o calle. Tradicionalmente se ha considerado la velocidad el principal indicador para identificar el nivel de servicio, sin embargo, se introducen otros factores como densidad y demora. La descripción de los servicios es:

Nivel de servicio A: Representa circulación a flujo libre. Los usuarios, considerados en forma individual, están virtualmente exentos de los efectos de la presencia de otros en circulación. Con alta libertad para seleccionar la velocidad deseada y maniobrar dentro del tránsito. La comodidad y conveniencia

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

proporcionada por la circulación es excelente.

Nivel de servicio B: Está aún dentro del rango de flujo libre, aunque se empiezan a observar otros vehículos integrantes en la circulación. La libertad de selección de las velocidades deseadas sigue relativamente inafectada, aunque disminuye la capacidad de maniobra. La presencia de otros vehículos comienza a influir en el comportamiento individual de cada uno.

Nivel de servicio C: Pertenece al rango de flujo estable, pero marca el comienzo del dominio en que la operación de los usuarios individuales se ve afectada de forma significativa por las interacciones con los otros usuarios, la velocidad se ve afectada por la presencia de otros, y la libertad de maniobra comienza a ser restringida, la comodidad y conveniencia desciende notablemente.

Nivel de servicio D: Representa una circulación de densidad elevada, aunque estable. La velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas, la comodidad y conveniencia son bajas, los incrementos de flujo ocasionan problemas de funcionamiento, incluso con formación de pequeñas colas.

Nivel de servicio E: El funcionamiento está en él, o cerca del, límite de su capacidad, la velocidad es baja y uniforme, a maniobra es difícil y se consigue forzando a los vehículos a "ceder el paso", hay frustración en los conductores, la circulación es inestable debido a aumentos de tráfico o perturbaciones del tránsito que producen colapsos.

Nivel de servicio F: Representa condiciones de flujo forzado. Hay formación de colas, donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque, extremadamente inestables, típicas de los cuellos de botella.

Análogamente a la situación actual, la interacción oferta-demanda en la situación optimizada queda determinada por el nivel de servicio y se considera es la misma, ya que no se incrementa la capacidad de la vía.

Análisis de carretera.

Supuestos: Para llevar a cabo el análisis de capacidad, la vía en cuestión se analizó como una carretera de carriles múltiples, que son definidas como *"Son las que tienen dos o más carriles por sentido con características menores a las autopistas, por ejemplo, sin control total de accesos y en algunos casos no divididas o sin faja separadora central. Se encuentran en entornos rurales y zonas suburbanas donde las densidades de desarrollo urbanístico son mayores, aumentando la fricción vehicular por la presencia más frecuente de movimientos de vuelta y retornos, ocasionando que la operación o el nivel de servicio sean de menor calidad que el ofrecido por las autopistas"* (Cal y Mayor, 2018).

Metodología: El proceso para la determinación del nivel de servicio se realizó con base en la metodología del HCM 2010 para el análisis del tránsito en las vías. Lo anterior, permite obtener los indicadores necesarios para conocer el comportamiento en la situación con proyecto de la vialidad y tener los insumos suficientes para proponer mejoras a la carretera en estudio, que permita mantener un nivel de servicio adecuado.

Análisis Costo-Beneficio

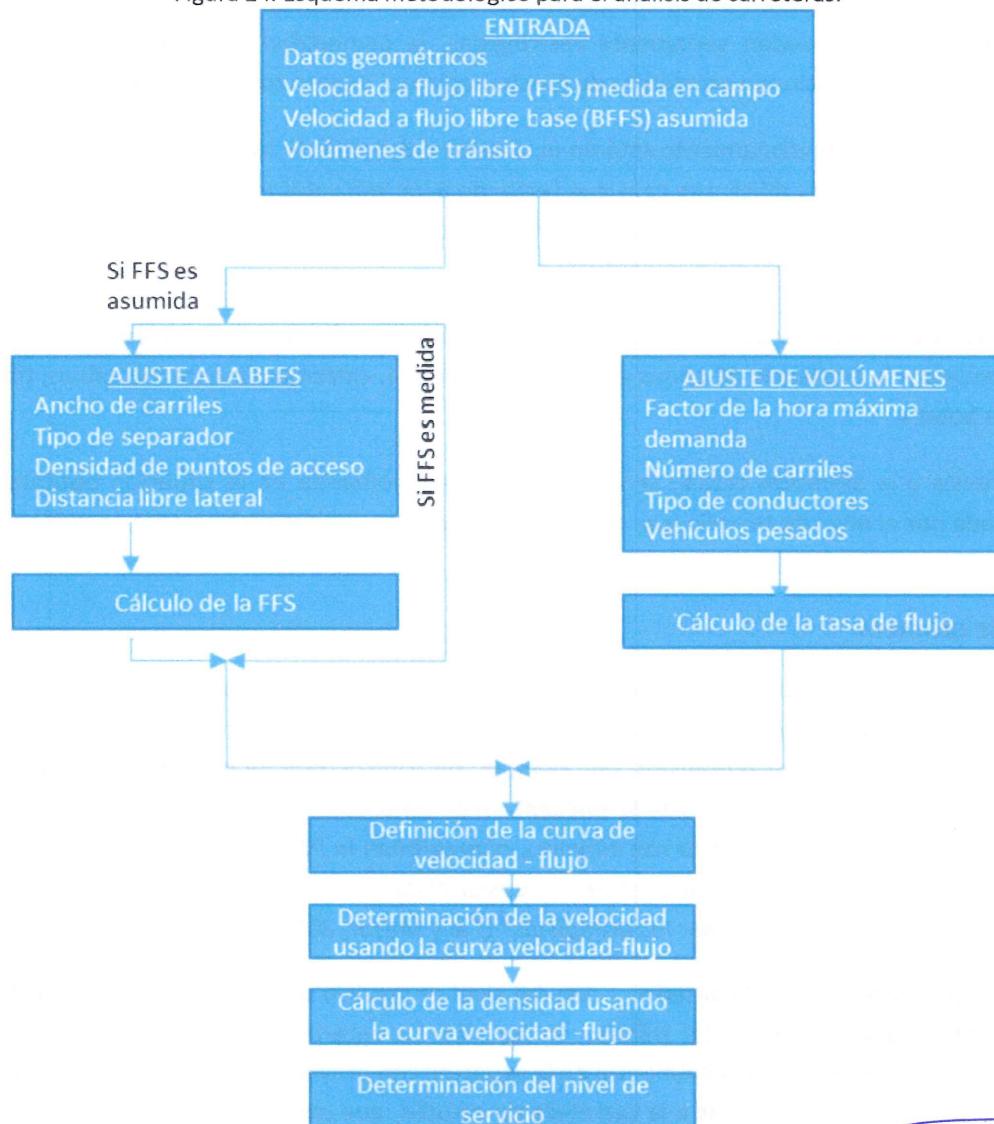
"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Una carretera, puede ser caracterizada por tres medidas:

- La densidad, en términos de vehículos de pasajeros por kilómetro por carril.
- La velocidad, en términos de la velocidad de los vehículos de pasajeros.
- La relación volumen/capacidad (v/c).

En la figura siguiente, se ilustra la **metodología** de análisis para carreteras, desde los datos de entrada y el orden de cómputo, hasta la determinación del nivel de servicio. Estos pasos se describen a continuación:

Figura 24. Esquema metodológico para el análisis de carreteras.



Fuente: TRB. Highway Capacity Manual. HCM 2010.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Cálculo de la FFS conforme al HCM

Conforme al modelo del HCM se calcula velocidad a flujo libre (FFS)

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A$$

Dónde:

FFS: velocidad a flujo libre

BFFS: Velocidad a flujo libre base

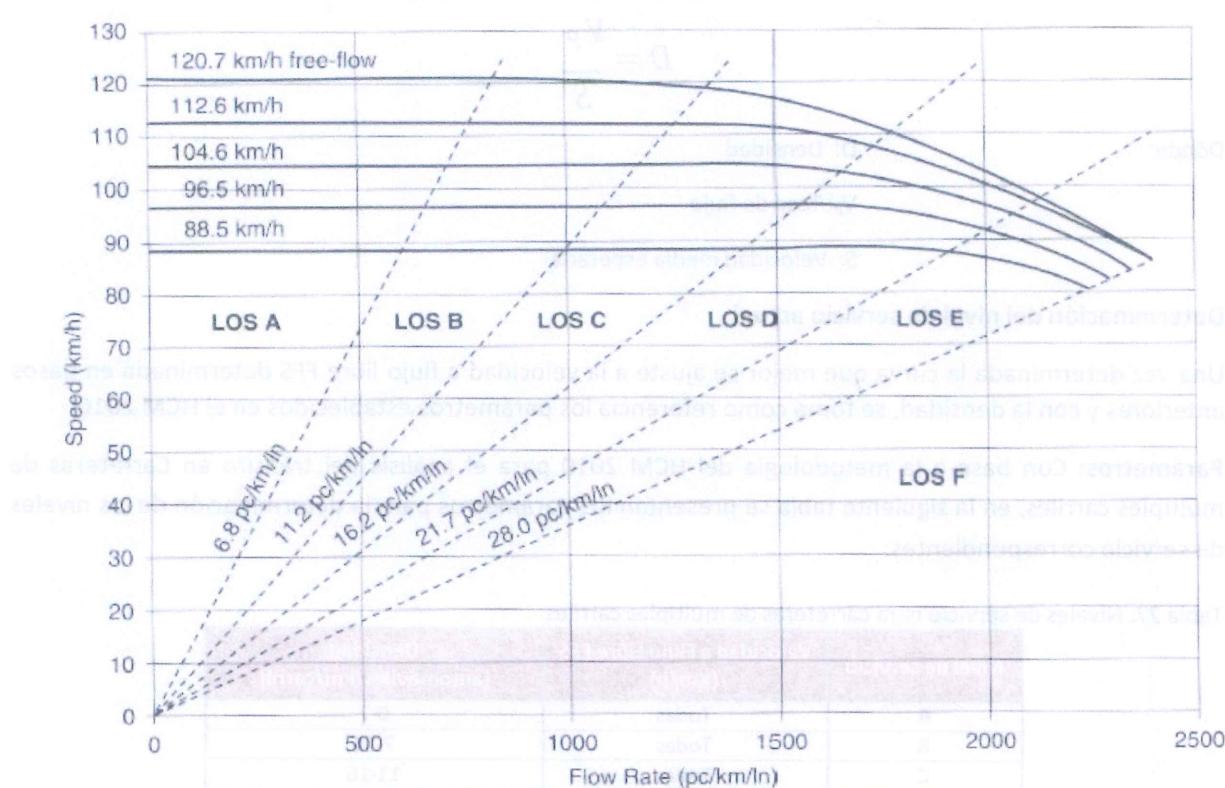
f_{LW} : Factor de ajuste por ancho de carril

f_{LC} : Factor de ajuste por ancho de acotamiento

f_M : Factor de ajuste por tipo de separación de carriles

f_A : Factor de ajuste por densidad de accesos.

Una vez determinada la velocidad a flujo libre (FFS) se busca la curva a flujo libre que mejor se ajuste:



Con la información obtenida de los datos de demanda se obtiene el volumen horario de máxima demanda (VHMD), el cual se obtiene al multiplicar el TDPA por el coeficiente k que representa el porcentaje de vehículos en la 30° hora pico del año.

$$VHMD = K (TDPA)$$

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Cálculo de la tasa de flujo vp

De acuerdo con lo que establece el HCM, se determina la tasa de flujo con la siguiente fórmula que relaciona el volumen horario de máxima demanda (VHMD), el factor de hora pico (FHP), el número de carriles (N), el factor de ajuste por vehículos pesados (f_{HV}) y el factor por conductor fp.

$$v_p = \frac{VHMD}{FHP * N * f_{HV} * f_p}$$

Donde:

Vp= Tasa de flujo

N: Número de carriles

VHMD: Valor Horario de Máxima Demanda

f_{HV} : Factor de vehículos pesados

FHP: Factor de Hora Pico

fp: Factor por conductor

Cálculo de la densidad

Para el cálculo de la densidad se relaciona la tasa de flujo de la autopista con la velocidad media esperada:

$$D = \frac{V_p}{S}$$

Dónde:

D: Densidad

V_p : Tasa de flujo

S: Velocidad media esperada

Determinación del nivel de servicio actual

Una vez determinada la curva que mejor se ajuste a la velocidad a flujo libre FFS determinada en pasos anteriores y con la densidad, se toma como referencia los parámetros establecidos en el HCM 2010.

Parámetros: Con base a la metodología del HCM 2010 para el análisis del tránsito en Carreteras de múltiples carriles, en la siguiente tabla se presentan los parámetros para la determinación de los niveles de servicio correspondientes:

Tabla 27. Niveles de servicio para carreteras de múltiples carriles.

Nivel de servicio	Velocidad a Flujo Libre FFS (Km/h)	Densidad (automóviles/km/carril)
A	Todas	0-7
B	Todas	7-11
C	Todas	11-16
D	Todas	16-22
E	96	22-25
	88	22-26
	80	22-27
	72	22-28
F	96	>25
	88	>26
	80	>27
	72	>28

Fuente: TRB. Highway Capacity Manual HCM 2010.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

De acuerdo con los datos de tránsito pronosticados, se llevó a cabo un análisis de capacidad del proyecto, para conocer su comportamiento a través del horizonte de evaluación, de donde se observa que el proyecto atenderá la demanda durante el horizonte de planeación con un nivel de servicio aceptable.

Tabla 28. Nivel de servicio en la situación con proyecto.

Año	Carreteras Estatales MICH- 04, MICH-07 y MICH-57	
	TDPA	Nivel de Servicio
0	26,674	D
1	26,941	C
2	27,210	C
3	27,482	C
4	27,757	
5	28,035	
6	28,315	
7	28,598	D
8	28,884	E
9	29,173	
10	29,465	
11	29,759	
12	30,057	E
13	30,358	F
14	30,661	
15	30,968	
16	31,277	
17	31,590	
18	31,906	
19	32,225	
20	32,547	
21	32,873	
22	33,202	
23	33,534	
24	33,869	
25	34,208	
26	34,550	
27	34,895	
28	35,244	
29	35,597	
30	35,953	F



Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Tabla 29. Costos Generalizados de Viaje de la ruta existente en la situación con proyecto.

Año	Carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57			
	COV	Tiempo	Conservación	TOTAL
0	6,917,967,599	5,937,444,184	9,708,480	12,865,120,264
1	5,843,661,766	4,221,804,989	9,708,480	10,075,175,234
2	5,962,011,108	4,351,043,917	9,708,480	10,322,763,504
3	6,129,359,874	4,484,239,139	9,708,480	10,623,307,493
4	6,350,490,979	4,621,511,765	9,708,480	10,981,711,224
5	6,688,050,094	4,762,986,615	12,401,280	11,463,437,990
6	7,193,963,358	4,908,792,328	9,708,480	12,112,464,166
7	8,002,675,570	5,059,061,481	9,708,480	13,071,445,531
8	8,319,887,200	5,213,930,710	9,708,480	13,543,526,390
9	8,610,977,673	5,373,540,834	9,708,480	13,994,226,987
10	8,958,000,073	5,538,036,982	17,258,880	14,513,295,935
11	9,319,007,476	5,707,568,726	9,708,480	15,036,284,682
12	9,694,563,477	5,882,290,218	9,708,480	15,586,562,175
13	10,085,254,385	6,062,360,326	9,708,480	16,157,323,192
14	10,491,690,137	6,247,942,785	9,708,480	16,749,341,402
15	10,914,505,250	6,439,206,340	12,401,280	17,366,112,870
16	11,354,359,811	6,636,324,901	9,708,480	18,000,393,193
17	11,811,940,512	6,839,477,705	9,708,480	18,661,126,696
18	12,287,961,714	7,048,849,471	9,708,480	19,346,519,665
19	12,783,166,571	7,264,630,577	9,708,480	20,057,505,629
20	13,298,328,184	7,487,017,228	17,258,880	20,802,604,292
21	13,834,250,810	7,716,211,633	9,708,480	21,560,170,922
22	14,391,771,118	7,952,422,193	9,708,480	22,353,901,790
23	14,971,759,494	8,195,863,688	9,708,480	23,177,331,662
24	15,575,121,401	8,446,757,475	9,708,480	24,031,587,356
25	16,202,798,794	8,705,331,683	12,401,280	24,920,531,757
26	16,855,771,585	8,971,821,429	9,708,480	25,837,301,494
27	17,535,059,180	9,246,469,023	9,708,480	26,791,236,683
28	18,241,722,065	9,529,524,198	9,708,480	27,780,954,742
29	18,976,863,464	9,821,244,326	9,708,480	28,807,816,270
30	19,741,631,062	10,121,894,663	9,708,480	29,873,234,204

Fuente: Cálculo de indicadores.

V. Evaluación del PPI

a) Identificación, cuantificación y valoración de costos del PPI

La metodología para calcular los costos de construcción y conservación depende del nivel al que se encuentra el proyecto; es decir, si se tiene a nivel perfil, se utilizan los costos índices por tipo de obra por tipo de terreno, los cuales se multiplican por la longitud aproximada; si se cuenta con el proyecto ejecutivo, los costos se calculan mediante la multiplicación de los costos unitarios de cada componente por el volumen de obra a realizar.

a.1. Etapa de ejecución

El calendario de inversiones a erogar durante la etapa de ejecución considera los recursos necesarios en un periodo de 1 año, 2023, tal como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 30. Calendario de inversiones

Año	Recursos con IVA
2023	\$705,011,550.99
Total	\$705,011,550.99

Fuente: Elaboración propia.

a.2. Etapa de operación

Durante la etapa de operación, se consideran los costos de mantenimiento y conservación, y que corresponden a lo siguiente: (i) mantenimiento rutinario, que incluye básicamente la limpieza y bacheo general, así como reparación de pequeños desperfectos de la superficie de rodamiento del tramo, de forma anual desde el inicio de operaciones (ii) conservación periódica, que incluye bacheo y riego de sello cada 4 años y tendido de sobrecarpeta cada 8 años; (iii) reconstrucción, que consiste en reparar y reponer toda la estructura del pavimento cada 16 años aproximadamente.

Tabla 31. Costos anuales de mantenimiento y conservación para pavimento asfáltico.

Concepto	Periodicidad	Costo unitario
	Años	\$/km/c
Conservación rutinaria	1	36,000
Riego de sello	4	310,000
Sobrecarpeta	8	1,075,000
Reconstrucción	16	2,750,000

Fuente: Dirección General de Conservación de Carreteras

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

b) Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios del PPI

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

Ahorro en tiempo de viaje

Para la estimación de los beneficios por este concepto se requiere como primer insumo fundamental las velocidades a las que transitan los vehículos usuarios de la red de análisis y con ellas determinar los tiempos de recorrido en las situaciones con y sin proyecto. En ambos casos, sin y con proyecto, las velocidades para años futuros se van reduciendo a partir de su valor inicial, de acuerdo con el ritmo de crecimiento del tránsito.

El segundo insumo importante es precisamente el valor económico del tiempo de los usuarios. Estos valores se tomaron de las Notas 201, ENERO-FEBRERO 2023, Artículo 1 del Instituto Mexicano del Transporte (IMT). De acuerdo con estudios realizados por el IMT, el valor del tiempo de los pasajeros que viajan por motivo de trabajo es de \$60.39 y por motivo de placer de \$36.23 pesos por hora.

Con base en las últimas encuestas origen – destino realizadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, se determinó que en promedio un 61.8% de los pasajeros viaja con motivo de trabajo y un 38.2% con motivo de placer, tanto para automóvil como para autobús. Así también, se determinó que el número de pasajeros por auto, y por autobús fue de 2.41 y 23.4 pasajeros/vehículo, respectivamente.

Para la determinación del valor del tiempo de la carga, se consultó la Publicación Técnica 455. Estimación del valor económico del tiempo de recorrido de las mercancías como insumo del análisis costo – beneficio de proyectos de inversión en infraestructura carretera. (actualizado a 2023 mediante el indexador correspondiente).

La configuración del valor del tiempo de los usuarios que se empleó se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 32. Configuración del valor del tiempo

Concepto	Valor	Unidad
Valor del tiempo viaje de trabajo	60.39	\$/hr
Valor del tiempo viaje de placer	36.23	\$/hr
Porcentaje de viajeros por motivo de trabajo	61.8	%
Porcentaje de viajeros por motivo de ocio	38.2	%
Número de pasajeros auto	2.41	pas/veh
Número de pasajeros autobús	23.40	pas/veh
Valor del tiempo de la carga	247.34	\$/hr/veh

Fuente: Publicación Técnica 455 (IMT).

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

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

Tabla 33. Beneficios por ahorro en tiempo de viaje para el primer año de operación del proyecto

Costos (MDP)	Sin Proyecto	Con Proyecto	Beneficios
Rehabilitación MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Peribán y Libramiento Sur de Zamora	4,531,950,281	4,221,804,989	310,145,292

Fuente: Cálculo de indicadores.

Ahorro en costos de operación vehicular.

Los costos de operación vehicular unitarios se obtuvieron empleando el submodelo denominado Vehicle Operating Cost (VOC) que es parte del modelo Highway Development and Management (HDM4) desarrollado por el Banco Mundial. Los insumos básicos para las corridas del VOC consideraron los valores reportados por el IMT en su Publicación Técnica 699¹, sobre las características técnicas de los vehículos que operan en México, así como de las características representativas de las carreteras en México para los diferentes tipos de terreno: plano, lomerío y montañoso. Los parámetros con los que se alimentó el VOC son los que se muestran en la siguiente tabla.

¹ Costos de operación Base de los Vehículos Representativos del Transporte Interurbano 2022; José Antonio Arroyo Osorno, Guillermo Torres Vargas, José Alejandro González García, Salvador Hernández García; IMT Publicación Técnica 699.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Tabla 34. Datos de entrada para el cálculo de los costos de operación vehicular por tipo de vehículo.

Concepto	Tipo de vehículo ^{a/}		
	Automóvil	Autobús	Camión
Características de la carretera			
1. Tipo de superficie (1=pavimentada, 0=no pavimentada)	1.00	1.00	1.00
2. Rugosidad promedio (IIR), m/km	Variable que depende del estado físico de la carretera en cada tramo y de la situación que se esté evaluando (sin proyecto o con proyecto).		
3. Pendiente media ascendente, fracción			
4. Pendiente media descendente, fracción			
5. Proporción de viaje ascendente, fracción			
6. Curvatura horizontal promedio, grados/km			
7. Sobreelevación promedio (peralte), fracción			
8. Altitud del terreno, msnm	Valores propuestos por la SCT a partir del tipo de terreno.		
9. Número efectivo de carriles (1=uno, 0=más de uno)	Valor asignado por el programa a partir de los valores asignados en 3, 4, 5 y 6. Promedio, en el mejor de los casos ponderado, para cada uno de los tramos	1	1
		1	1
Características del vehículo			
1. Peso del vehículo vacío, kg	1,680.00	17,500.00	29,436.00
2. Carga útil, kg	1,030.00	7,500.00	48,000.00
3. Potencia máxima en operación, HP métrico	63.87	288.95	342.18
4. Potencia máxima del freno, HP métrico	51.91	333.56	996.13
5. Velocidad deseada, km/h	110.00	95.00	100.00
6. Coeficiente aerodinámico de arrastre, adimensional	0.46	0.65	0.63
7. Área frontal proyectada, m ²	2.58	6.98	9.14
8. Velocidad calibrada del motor, RPM	3,700.00	1,700.00	1,700.00
9. Factor de eficiencia energética, adimensional	0.80	0.80	0.65
10. Factor de ajuste de combustible, adimensional	1.16	1.15	1.15
Características de los neumáticos			
1. Número de llantas por vehículo	4.00	10.00	34.00
2. Volumen de hule utilizable por llanta, dm ³	0.00	6.85	8.39
3. Costo de renovación/costo llanta nueva, fracción	0.38	0.33	0.33
4. Máximo de número de renovaciones	0.00	2.39	3.57
5. Término constante del modelo de desgaste, m ³ /m	0.00	0.16	0.16
6. Coeficiente de desgaste, 10E-3 dm ³ /kj	0.00	12.78	12.78
Utilización del vehículo			
1. Kilómetros conducidos por año	25,000.00	240,000.00	180,000.00
2. Horas conducidas por año	2,808.00	2,860.00	2,860.00
3. Índice de utilización horaria, fracción	0.60	0.80	0.85
4. Vida útil promedio de servicio, años	6.00	8.00	8.00
5. ¿Usar vida útil constante? (si=1, no=0)	1.00	1.00	1.00

Análisis Costo-Beneficio

Conservación y Mantenimiento Rutinario del Camino: San Felipe-Angangueo-Las Papas-Tlalpujahua, En la Localidad de El Soldado Anónimo. Municipio de Ocampo. Estado de Michoacán

Concepto	Tipo de vehículo ^{a/}		
	Automóvil	Autobús	Camión
6. Edad del vehículo, km	75,000.00	750,000.00	600,000.00
7. Pasajeros por vehículo	2.00	23.00	0.00
Costos unitarios			
1. Precio del vehículo nuevo, \$	392,241.69	2'362,224.00	1'494,724.00
2. Costo del combustible, \$/l	18.26	19.59	19.59
3. Costo de los lubricantes, \$/l	41.64	42.25	42.25
4. Costo por llanta nueva, \$/llanta	1,090.52	3,000	2,800
5. Tiempo de los operarios, \$/h	35.35	92.68	74.14
6. Tiempo de los pasajeros, \$/h	0.00	0.00	0.00
7. Mano de obra de mantenimiento, \$/h	32.76	81.90	57.33
8. Retención de la carga, \$/h	0.00	0.00	0.00
9. Tasa de interés anual real, %	4.75	4.75	4.75
10. Costos indirectos por veh-km, \$	0.57	1.53	2.47
Coeficientes adicionales			
11. KP	0.31	0.48	0.37
12. Cpo	32.49	1.77	13.94
13. CPq	13.70	3.56	15.65
14. QIPo	120.00	190.00	0.00
15. Clo	77.14	293.44	652.51
16. CLp	0.55	0.52	0.52
17. CLq	0.00	0.01	0.00
18. Coo	1.55	3.07	5.15
19. FRATIO0	0.22	0.23	0.18
20. FRATIO1	0.00	0.00	0.02
21. ARVMAX	239.70	212.80	130.90
22. BW	1.00	1.00	1.00
23. BETA	0.31	0.27	0.24
24. EO	1.00	1.01	1.02
25. AO	6014.00	-7276.00	-30559.00
26. A1	37.60	63.50	156.10
27. A2	0.00	0.00	0.00
28. A3	3846.00	4323.00	4002.00
29. A4	1.40	0.00	0.00
30. A5	0.00	8.64	4.41
31. A6	3604.0	2479.00	4435.00
32. A7	0.00	11.50	26.08
33. NHO	-12.00	-50.00	-85.00

Fuente: Elaboración con datos de la Publicación Técnica 699 del IMT.

Nota: ^{a/} Selección en el programa VOC de los tipos de vehículo 4, 5 y 10 para los casos de automóvil, autobús y camión, correspondientemente.

Después de obtener los resultados arrojados por el programa VOC por tipo de vehículo y para el horizonte de evaluación, solo resta multiplicar el resultado por el número de días al año (365). De la diferencia de

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

los costos conseguidos en las situaciones sin proyecto y con proyecto, se obtiene el beneficio atribuible al mismo. La siguiente tabla muestra los resultados y beneficios obtenidos en el primer año de operación.

Tabla 35. Beneficios por ahorro en costos de operación para el primer año de operación del proyecto

Costos (MDP)	Sin Proyecto	Con Proyecto	Beneficios
Rehabilitación Carretera Estatal MICH-04, MICH-07 y MICH-57	5,945,864,648	5,843,661,766	102,202,882

Fuente: Cálculo de indicadores.

c) Cálculo de los indicadores de rentabilidad

Tabla 36. Indicadores de rentabilidad.

Indicadores de Rentabilidad	
Indicador	Valor
Valor Presente Neto (VPN) (pesos)	6,952,831,998.54
Tasa interna de retorno (TIR) (%)	22.84%
Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI) (%)	12.68%

Fuente: Cálculo de indicadores.

Se recomienda iniciar la rehabilitación de las Carreteras Estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora, debido a que el momento óptimo para operar es en el año 2024, cuando el valor de la Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI) es de 12.68 %, el cual es mayor a la tasa social de descuento.

Uno de los criterios de inversión para determinar el costo – beneficio de tomar una decisión, es el Valor Presente Neto (VPN), en el caso del presente proyecto, debido a que el valor del VPN resulta mayor a cero, éste se acepta; además, representa beneficios adicionales por \$6,952,831,998.54.

La Tasa Interna de Retorno (TIR), es una tasa que resume toda la información de un proyecto y que vuelve cero al VPN, es decir, depende propiamente del proyecto y de los flujos de éste. Con relación al presente proyecto, el resultado del valor de la TIR 22.84% es mayor que la tasa social de descuento (la cual corresponde al 10.0%), por lo anterior, el presente proyecto es socioeconómicamente factible.

d) Análisis de sensibilidad

Con el propósito de identificar los efectos que ocasionaría la modificación de las variables relevantes sobre los indicadores de rentabilidad del proyecto, se efectuaron análisis de sensibilidad. Para ello se

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

consideraron 3 variables que se consideraron como las más relevantes para este tipo de proyectos, que son:

Inversión inicial. - Se refiere al costo de construcción del proyecto, es indudable la importancia de esta variable en un análisis costo beneficio, dado que con un incremento en ella podría dejar de ser rentable el proyecto, por lo que el análisis de sensibilidad a la inversión nos permitirá identificar hasta qué costo de inversión seguiría siendo rentable.

Costos de mantenimiento. - Los costos de mantenimiento conforman el segundo grupo de costos para el análisis costo-beneficio, considerando este grupo se tendría entonces analizada la sensibilidad del proyecto a los costos que incurría el proyecto durante el horizonte de análisis, de ahí la importancia de considerarlo.

Demanda del proyecto. - Todo proyecto de inversión económica está dirigido a la satisfacción de una demanda, asimismo la demanda y su comportamiento en el período de análisis es un valor estimado que conlleva un cierto grado de incertidumbre, por lo que es necesario ver qué pasaría con la rentabilidad del proyecto si la demanda aumenta o disminuye, a fin de tomar las decisiones adecuadas en el tamaño óptimo del mismo o la posibilidad de postergarlo.

El análisis de sensibilidad arrojó los siguientes resultados para cada uno de los tramos que conforman el proyecto:

Tabla 37. Indicadores de rentabilidad y análisis de sensibilidad, para VPN=0.

Tramo	Variación respecto a su valor original	
	Inversión, incremento en:	Demandas, decreto en:
Rehabilitación Carretera MICH-04, MICH-07 y MICH-57	182%	65.55%

Fuente: Cálculo de indicadores.

El análisis de sensibilidad demuestra que la rehabilitación de la Carretera Estatal MICH-04, MICH-07 y MICH-57, es un proyecto que soporta incrementos en el costo de inversión por más del 182% y es prácticamente insensible a los incrementos en costos de mantenimiento. El hecho de soportar una disminución de hasta un 12.92% de su demanda lo hace aceptable, dado que es una vialidad existente que mejoraría sus condiciones de operación por lo que, en ese caso, es sumamente difícil que disminuya su volumen de tránsito, además de que a fin de efectuar un análisis conservador no se consideraron tránsitos atraídos o generados por una nueva condición.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

Tabla 38. Sensibilidad a la inversión.

Variación	Inversión	TIR	VPN	TRI
1.4	869,654,261	21.6%	5,423,208,959	11.5%
1.3	807,536,100	21.9%	5,805,614,719	11.8%
1.2	745,417,938	22.1%	6,188,020,479	12.0%
1.1	683,299,777	22.4%	6,570,426,239	12.3%
1.0	621,181,615	22.8%	6,952,831,999	12.7%
0.9	559,063,454	23.1%	7,335,237,759	13.0%
0.8	496,945,292	23.5%	7,717,643,519	13.4%
0.7	434,827,131	23.8%	8,100,049,279	13.7%
0.6	372,708,969	24.2%	8,482,455,039	14.1%
2.8	1,751,531,056	10.0%	0	6.3%

Fuente: Cálculo de indicadores.

Tabla 39. Sensibilidad al mantenimiento.

Variación	Mantenimiento	TIR	VPN	TRI
1.4	314,433,600	22.7%	6,952,831,999	12.7%
1.3	314,433,600	22.7%	6,952,831,999	12.7%
1.2	314,433,600	22.8%	6,952,831,999	12.7%
1.1	314,433,600	22.8%	6,952,831,999	12.7%
1.0	314,433,600	22.8%	6,952,831,999	12.7%
0.9	314,433,600	22.8%	6,952,831,999	12.7%
0.8	314,433,600	22.8%	6,952,831,999	12.7%
0.7	314,433,600	22.8%	6,952,831,999	12.7%
0.6	314,433,600	22.8%	6,952,831,999	12.7%

Fuente: Cálculo de indicadores.

Tabla 40. Sensibilidad a la demanda.

Variación	TDPA	TIR	VPN	TRI
1.4	37,344	24.0%	11,263,587,838	13.7%
1.3	34,676	23.8%	10,185,898,879	13.5%
1.2	32,009	23.5%	9,108,209,919	13.2%
1.1	29,341	23.2%	8,030,520,959	13.0%
1.0	26,674	22.8%	6,952,831,999	12.7%
0.9	24,007	22.4%	5,875,143,039	12.3%
0.8	21,339	21.9%	4,797,454,079	11.9%
0.7	18,672	21.3%	3,719,765,119	11.4%
0.6	16,004	20.6%	2,642,076,160	10.9%
0.35	9,455	10.0%	0	6.3%

Fuente: Cálculo de indicadores.

Análisis Costo-Beneficio

"Rehabilitación y Conservación de los Tramos Carreteros que Componen el Grupo Lerma - Chapala, en el Estado de Michoacán".

e) Análisis de riesgos

Tabla 41. Análisis y mitigación de riesgos.

Descripción	Impacto	Probabilidad de ocurrencia	Mitigación
Fluctuación de divisas	Incremento en costo de maquinaria y equipo	Medio	Adoptar una política de cobertura para la tasa de cambio en la deuda financiera de largo plazo, con coberturas para amortizaciones futuras.
Cambios de las tasas de interés.	Insolvencia económica por parte de empresas constructoras	Bajo	Las empresas constructoras deberán fortalecerse a través de crédito a costo y plazos competitivos y que se implementen políticas públicas para evitar la insolvencia.
Fenómenos inflacionarios	Incremento en costos (construcción o de operación)	Alto	La propuesta de presupuesto se ajustará a precios del año en el que se realice la contratación de la obra. Se adquirirán seguros e instrumentos de cobertura de riesgos financieros.
Incremento en el monto de inversión	El incremento de 41.85% en el monto de inversión provoca que el proyecto deje de ser rentable	Medio	Se realizará la obra conforme al proyecto ejecutivo, y con una supervisión, a efecto de establecer un proceso formal de seguimiento con el fin de identificar a tiempo las variaciones en costo y definir medidas correctivas.
Riesgo de baja o nula rentabilidad del proyecto si el TDPA es menor al esperado	El proyecto deja de ser rentable si el TDPA es 64.55% menor al esperado	Media	Verificar el método, supuestos e información para la proyección del TDPA.
Solicitud de obras adicionales	Posibilidad de retraso en la obra por la necesidad de obras adicionales solicitadas por la comunidad	Medio	Asignar claramente la responsabilidad de relaciones públicas y relación con las comunidades a una persona con experiencia.

VI. Conclusiones y Recomendaciones

La rehabilitación de las carreteras estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora, cumple con el propósito de hacer más seguro y eficiente el movimiento de bienes y personas, entre la zona.

Además, permitirá un desplazamiento con mayores velocidades, contribuyendo en la disminución de los costos de operación vehicular y tiempos de recorrido, lo cual se traduce en una mayor competitividad del transporte carretero. De acuerdo con los indicadores obtenidos en el presente estudio, se concluye lo siguiente:

Se recomienda iniciar la rehabilitación de la de las carreteras estatales MICH-04, MICH-07 y MICH-57 Tocumbo – Cotija – Puente Jaripo, Jacona – Periban y Libramiento Sur de Zamora, debido a que el momento óptimo para operar es en el año 2024, cuando el valor de la Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI) es de 12.68%, el cual es mayor a la tasa social de descuento.

Uno de los criterios de inversión para determinar el costo – beneficio de tomar una decisión, es el Valor Presente Neto (VPN), en el caso del presente proyecto, debido a que el valor del VPN resulta mayor a cero, éste se acepta; además, representa beneficios adicionales por 6,952,831,998.54.

La Tasa Interna de Retorno (TIR), es una tasa que resume toda la información de un proyecto y que vuelve al VPN, es decir, depende propiamente del proyecto y de los flujos de éste. Con relación al presente proyecto, el resultado del valor de la TIR 22.84% es mayor que la tasa social de descuento (la cual corresponde al 10.0%), por lo anterior, el presente proyecto es socioeconómicamente factible.

VII. Anexos

Número del Anexo	Concepto del Anexo	Descripción
Anexo A	Memoria de cálculo	Contiene el análisis que conforma el proyecto para la obtención de los indicadores de rentabilidad.

VIII. Bibliografía

1. Análisis y evaluación de proyectos de inversión. Raúl Coss Bu, Editorial Limusa, 2006.
2. Boletín Notas Número 201, Enero-Febrero de 2023, artículo 1, Estimación del valor del tiempo de los ocupantes de los vehículos que circulan por la red carretera de México, 2023, Torres Guillermo, Hernández Salvador, González Alejandro y Arroyo Antonio, Instituto Mexicano del Transporte.
3. Publicación Técnica No. 699, Costos de operación Base de los Vehículos Representativos del Transporte Interurbano 2022; José Antonio Arroyo Osorno, Guillermo Torres Vargas, José Alejandro González García, Salvador Hernández García, Instituto Mexicano del Transporte.
4. Criterios de Evaluación de Proyectos, Nassir Sapag Chain, Mc Graw Hill, 1993.
5. Datos Viales de 2012 a 2022, Secretaría de Comunicaciones y Transportes
6. Estimating Vehicle Operating Costs, Rodrigo S. Archondo Callao y Asif Faiz, World Bank Technical Paper Number 234, Washington, D. C. 1994.
7. Evaluación de proyectos, Gabriel Baca Urbina, Editorial Mc Graw Hill, 2000.
8. La Conservación de Carreteras en México, la experiencia reciente, Cédric Iván Escalante Sauri, Asociación Mexicana de Ingeniería en Vías Terrestres A. C., 2002.
9. Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión. DOF, 2013.
10. Manual de Evaluación Económica de Proyectos de Transporte. Banco Interamericano de Desarrollo, Washington, D. C. 2006.
11. Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, SCT, 1991.
12. Metodología General para la Evaluación de Proyectos, CEPEP Secretaría de Hacienda y Crédito Público, México, D. F. 2008.
13. Propuesta metodológica para la estimación del valor del tiempo de los usuarios de la infraestructura carretera en México, el caso del transporte de pasajeros, Dr. Guillermo Torres Vargas y Salvador Hernández García. IMT Publicación Técnica 291. 2006.

