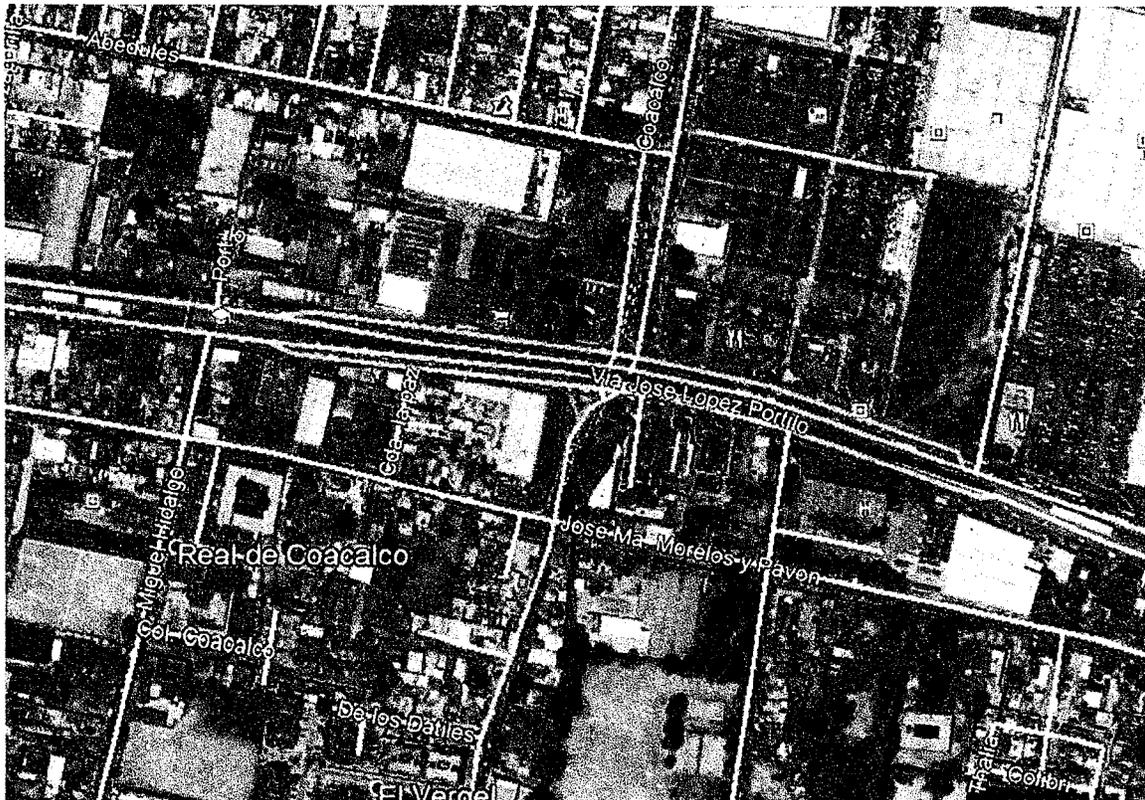


## Análisis Costo-Beneficio<sup>1</sup>

# "Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"



<sup>1</sup>Para facilitar la elaboración y presentación del análisis costo-beneficio, costo-beneficio simplificado, la Unidad de Inversiones de la SHCP pone a disposición de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal el presente formato, de conformidad con el numeral 23 de los Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión.

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

**Contenido**

<b>I. RESUMEN EJECUTIVO.....</b>	<b>3</b>
Nombre del Proyecto de Inversión.....	3
Localización del PPI.....	3
Problemática Identificada.....	4
Objetivo del Proyecto.....	4
Descripción de los principales Costos.....	6
Descripción de los principales Beneficios.....	6
Indicadores de Rentabilidad.....	7
Riesgos Asociados.....	7
Conclusión del Análisis:.....	7
<b>II. SITUACIÓN ACTUAL.....</b>	<b>8</b>
A) DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	8
B) ANÁLISIS DE LA OFERTA ACTUAL.....	15
C) ANÁLISIS DE LA DEMANDA ACTUAL.....	18
D) DIAGNÓSTICO DE LA INTERACCIÓN DE LA OFERTA- DEMANDA.....	22
<b>III. SITUACIÓN SIN EL PROYECTO DE INVERSIÓN.....</b>	<b>28</b>
A) OPTIMIZACIONES.....	28
B) ANÁLISIS DE LA OFERTA.....	29
C) ANÁLISIS DE LA DEMANDA.....	30
D) DIAGNÓSTICO DE LA INTERACCIÓN OFERTA- DEMANDA.....	39
E) ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	52
<b>IV. SITUACIÓN CON EL PROYECTO.....</b>	<b>67</b>
A) DESCRIPCIÓN GENERAL.....	67
B) ALINEACIÓN ESTRATÉGICA.....	71
D) LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.....	72
E) CALENDARIO DE ACTIVIDADES.....	74
F) MONTO TOTAL DE INVERSIÓN.....	75
F) FINANCIAMIENTO.....	78
G) CAPACIDAD INSTALADA.....	78
H) METAS DEL PROYECTO.....	81
I) VIDA ÚTIL.....	82
J) ASPECTOS MÁS RELEVANTES.....	82
K) ANÁLISIS DE LA OFERTA CON PROYECTO.....	82
L) ANÁLISIS DE LA DEMANDA CON PROYECTO.....	84
M) DIAGNÓSTICO DE LA INTERACCIÓN DE LA OFERTA- DEMANDA CON PROYECTO.....	94
<b>V. EVALUACIÓN DEL PROYECTO DE INVERSIÓN.....</b>	<b>107</b>
A) IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS COSTOS DEL PROYECTO DE INVERSIÓN.....	107
B) IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS BENEFICIOS DEL PROYECTO DE INVERSIÓN.....	117
D) CALCULO DE INDICADORES DE RENTABILIDAD.....	121
E) ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	123
F) ANÁLISIS DE RIESGOS.....	125
<b>VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>129</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>131</b>

# I. Resumen Ejecutivo

## Nombre del Proyecto de Inversión

"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"

## Localización del PPI

El proyecto "Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco" se desarrolla dentro de la localidad San Francisco Coacalco del municipio Coacalco de Berriozábal. Dicho municipio pertenece a la Región XVII (Tultitlán) del Estado de México.

El tramo a rehabilitar se encuentra referenciado mediante las siguientes coordenadas:

\*Inicio: 19.635155°, -99.102045°

\*Fin: 19.634408°, -99.098123°

Ilustración 1 Localización del PPI



### **Problemática Identificada**

El puente vehicular Juan Pablo II representa un elemento importante dentro de la vialidad José López Portillo, ya que su finalidad es canalizar el flujo vehicular de los usuarios de manera eficiente y sin contratiempos. Sin embargo, actualmente el estado estructural y de operación del mismo representa un factor problema para los usuarios que se trasladan sobre él ya que presenta fallas menores sobre su estructura y superficie de rodamiento.

Lo anterior, es consecuencia a la falta de mantenimiento de la estructura y al paso del Mexibús, ya que no estaba considerado en el tránsito que circularía sobre el PSV, lo cual ocasiono que se formaran fisuras en las traveses del puente vehicular.

Además, se apreciaron escurrimientos de agua pluvial debido al mal funcionamiento de las juntas de dilatación, así como escurrimientos por el colado de ajuste de la losa entre los patines superiores de las traveses, por lo que existe fisuramiento y porosidad de la losa en la mayoría de los tramos. Por lo que, respecta a la carpeta asfáltica, se observó con fuerte desgaste y con ligeros baches a todo lo largo del puente vehicular.

Por lo antes descrito, actualmente se tienen agrietamientos en la estructura, bajas velocidades, altos tiempos de traslado y elevados costos generalizados de viaje.

En ese sentido, se ha determinado la necesidad de realizar un proyecto que resuelva este problema, ya que se encuentra sobre una de las vialidades más importantes del municipio (José López Portillo), la cual conecta a los municipios de Cuautitlán Izcalli, Tultitlan, Coacalco y Ecatepec de Morelos. Por lo tanto, se contempla llevar a cabo la Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco a base de reforzamiento de la estructura y mejoramiento de la superficie de rodamiento. De esta forma brindar el mejor servicio a los usuarios de esta vialidad.

### **Objetivo del Proyecto**

Se pretende rehabilitar el puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco con el objeto de evitar daños graves por la falta de mantenimiento y reforzamiento. Aunado a optimizar las condiciones de la circulación de los usuarios al mejorar el estado de la carpeta asfáltica. Por lo tanto, al llevar a cabo trabajos que eviten la problemática se brindará un mejor servicio de operación a lo largo de la circulación del puente vehicular Juan Pablo II, en conjunto se brindará un mejor intercambio de mercancías y víveres a la población, así como acceso a los servicios de salud, educación, laboral, vivienda y recreación.

De acuerdo a esto se determina que los objetivos principales del proyecto son los mencionados a continuación:

- \*Mantener y mejorar el estado estructural del PSV.
- \*Aumentar las velocidades de recorrido
- \*Disminuir los tiempos de traslado

## **Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

### **"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

---

\*Minimizar los costos generalizados de viaje (CGV's)

Por lo tanto, el presente estudio busca la factibilidad socioeconómica de llevar a cabo el proyecto denominado "Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco" y de esta manera ofrecer un mejor servicio a los usuarios y de esta manera mejorar la conexión entre los municipios de dichos municipios.

Además, el proyecto contempla mejorar la interacción con los municipios aledaños que permitan el crecimiento urbano, industrial y demográfico, así como el desarrollo económico y social de los municipios. Permitiendo cumplir con los objetivos, estrategias y líneas de acción del Plan Nacional de Desarrollo 2019 -2024 y el Plan Estatal de Desarrollo del Estado de México 2017-2023.

### **Breve descripción del PPI**

El presente proyecto consiste en rehabilitar el puente vehicular Juan Pablo II a lo largo de 221.14 m, colocando reforzamiento en las traveses y columnas mediante fibra de carbono a lo largo de la estructura del puente vehicular.

Las traveses se reforzarán mediante lámina de polímero reforzado con tejido de fibra de carbono de 600 g/m<sup>2</sup> con una densidad de 1.8 g/cm<sup>3</sup> para refuerzo por cortante y con lámina de polímero reforzado con platinas fibra de carbono de 10 cm de ancho para refuerzo por flexión, con una densidad de 1.6 g/cm<sup>3</sup>. Además, las columnas se reforzarán con lámina de polímero reforzado con tejido de fibra de carbono de 600 g/m<sup>2</sup> con una densidad de 1.8 g/cm<sup>3</sup> para refuerzo por confinamiento de columnas en caballete. Con la finalidad de permitir el paso del Mexibús.

Además, se colocará la capa base y tendido de la carpeta asfáltica de tal forma que se liguén los niveles de rasante y bombeos entre el puente y las rampas de acceso existentes.

Contará con juntas de dilatación en la ubicación exacta de cada junta de traveses, esto quiere decir que se colocarán nueve juntas asfálticas nuevas del tipo Frey Mex T-50 a base de ángulos de acero y se pintará señalamiento horizontal para visualizar de mejor manera la geometría del camino.

Al llevar a cabo estos trabajos se evitará mal estado del puente vehicular y superficie de rodamiento, así como bajas velocidades, altos tiempos de traslado y elevados costos generalizados de viaje. Por lo que, los usuarios transitarán de forma segura, cómoda, fluida y eficaz.

ψ

⓪

## **Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

### **"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

---

#### **Descripción de los principales Costos**

Los costos del proyecto corresponden a todos los trabajos de obra relacionados a la rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II, así como a la etapa de mantenimiento durante los 35 años de vida útil y los costos por molestia que presentará durante el tiempo de su construcción, esto con el objeto de contar con todos los elementos de la infraestructura vial en óptimas condiciones.

A continuación, se enlistan los diferentes costos que interfieren en la "Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"

- **Monto de Inversión**

*Terracerías	\$342,565.40
*Estructuras	\$48,102,389.70
*Pavimentos	\$2,250,168.00
*Señalamiento	\$649,876.90
Subtotal	\$44,262,931.04
IVA	\$7,082,068.97
<b>Total</b>	<b>\$51,345,000.00</b>

- **Costos de mantenimiento (S/IVA)**

*Mantenimiento rutinario (anual)	\$ 457,900.00
*Mantenimiento periódico (cada 3 años)	\$ 941,100.00
*Rehabilitación (cada 10 años)	\$ 5,150,800.00

- **Costos por molestia**

*Costo por molestia anual	\$43,847,351.14
---------------------------	-----------------

#### **Descripción de los principales Beneficios**

Con la "Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco" se perfeccionarán las condiciones de traslado en la zona de influencia, por lo que se ofrecerán ventajas principales para el usuario que consisten en:

- Incrementar el índice de servicio, seguridad y calidad con el que se transportan personas y mercancías.
- Mantener y mejorar la estructura del puente vehicular.
- Reducir los tiempos de recorrido en la zona para el intercambio de personas y mercancías.
- Aumentar la velocidad de recorrido para garantizar un traslado eficiente.
- Aumentar la calidad de vida y el confort que perciben los habitantes de la región.





**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**  
**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

---

- Disminuir costos generalizados de viaje

**Indicadores de Rentabilidad**

Valor Presente Neto VPN	\$102,417,252.20
Tasa Interna de Retorno TIR	25.48%
Tasa de Rendimiento Inmediata TRI	23.00%

**Riesgos Asociados**

Existen varios factores de riesgo que pueden afectar el proyecto, ya sea retrasando o modificando el cumplimiento de las metas y el desarrollo de la estrategia elaborada. Uno de los principales riesgos son la disponibilidad total de recursos presupuestales para concluir la obra en el tiempo previsto, ya que en caso de haber retrasos se obligaría a postergar algunos trabajos, cuya atención a futuro representaría un mayor gasto.

Otros factores son la presencia de diversos fenómenos meteorológicos (principalmente lluvias) que concurrentemente se presentan año con año en la zona son un factor importante a considerar.

**Conclusión del Análisis:**

La evaluación socioeconómica de la "Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco" indica que se trata de una obra de infraestructura económicamente rentable, ya que presenta mejoras en la operación y transitabilidad de los usuarios, al evitar altos mal estado de la estructura y superficie de rodamiento, así como ahorros en tiempos de recorrido y menores costos de operación vehicular. Además, mejorará sustancialmente el nivel de servicio ofrecido a los usuarios locales y de largo itinerario, al garantizar una circulación rápida, fluida y segura de los vehículos.

En síntesis, con el proyecto beneficiará de forma directa a los siguientes aspectos:

- Incrementar el índice de servicio, seguridad y calidad con el que se transportan personas y mercancías.
- Reducir los tiempos de recorrido en la zona para el intercambio de personas y mercancías.
- Aumentar la velocidad de recorrido de los usuarios.
- Disminuir costos generalizados de viaje
- Aumentar la calidad de vida de los habitantes de la región.
- Aumentar la competitividad de las comunidades de la región.

## II. Situación Actual

### a) Diagnóstico de la Situación Actual

El presente proyecto se desarrollará en el Estado de México. En el estado diariamente miles de personas tienen la necesidad de trasladarse, ya sea a sus centros educativos, recreación, de trabajo e incluso de salud, por ello, satisfacer la demanda de transporte requerido para el desarrollo de las actividades cotidianas de la población es uno de los grandes desafíos.

El transporte juega un papel importante en el proceso de integración económica municipal, estatal e incluso nacional. Es un elemento que facilita la intra e inter comunicación, por lo que es indispensable que los nuevos proyectos sean evaluados con estudios técnicos para evitar y/o en su caso mitigar los impactos a los servicios públicos existentes.

De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en el Estado de México se tiene que la Tasa de Crecimiento Media Anual (TMCA) de población en la década de los años de 1990 a 2015 de 4.33%, con una población de 16,187,608 habitantes, esta dinámica poblacional no necesariamente refleja las problemáticas de movilidad que experimenta, ya que es un paso de vehículos constante que conecta con municipios y entidades federativas del centro del país.

El Estado de México se localiza en la zona central de la república mexicana, colinda al norte con los estados de Querétaro e Hidalgo y al sur con Guerrero y Michoacán, así como con la Ciudad de México a la que rodea al norte este y oeste se encuentra en las coordenadas, Longitud 90°53'00" Oeste, Latitud 18°21'15"Norte y Longitud 100°37'00" Oeste, Latitud 20°17'00"Norte, cuenta con una superficie de 22,357 kilómetros y ocupa el 1.09% del total de territorio en el país.

En particular el proyecto **"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"** se desarrolla en el municipio de Coacalco dentro de la localidad San Francisco.

Actualmente, Coacalco de Berriozábal se encuentra considerado dentro de la Región XVIII Tultitlán, integrada por los municipios de Coacalco de Berriozábal, Cuautitlán, Tultepec y Tultitlán. Los municipios que integran la región están mayoritariamente urbanizados, especialmente Coacalco y Tultitlán; asimismo, Cuautitlán y Tultepec están en proceso de urbanización constante por lo que las principales actividades económicas dentro de la región son aquellas correspondientes a las actividades económicas secundarias y terciarias, con presencia importante de actividades económicas primarias, pero en disminución debido al avance de la mancha urbana existente en estos municipios.

El territorio del Municipio cuenta con una extensión de 35.5 km<sup>2</sup>, limita al norte con los municipios de Tultitlán; al sur con Ecatepec y la Ciudad de México; al oriente con Ecatepec y al poniente con Tultitlán. Se localiza a una latitud media de 19° 37' 31", una longitud media

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

de 99° 06' 34" y una altura media de 2,619 MSNM. Posee un clima predominantemente templado-semiseco.<sup>2</sup>

Ilustración 2 Región XVIII Tultitlán  
REGIÓN XVIII. TULTITLÁN



Fuente: [https://copladem.edomex.gob.mx/regiones\\_y\\_municipios](https://copladem.edomex.gob.mx/regiones_y_municipios)

El puente a rehabilitar se encuentra referenciado mediante las siguientes coordenadas:

\*Inicio: 19.635155°, -99.102045°

\*Fin: 19.634408°, -99.098123°

Ilustración 3 Localización del PPI



Fuente: Elaboración propia con Google

<sup>2</sup> Plan de Desarrollo Municipal de Coacalco 2019-2021

### **Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

#### **"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

---

El puente vehicular Juan Pablo II representa un elemento importante dentro de la vialidad José López Portillo, ya que su finalidad es canalizar el flujo vehicular de los usuarios de manera eficiente y sin contratiempos. Ya que, conecta a los municipios de Coacalco y Ecatepec de Morelos principalmente y atiende a usuarios de largo itinerario pertenecientes a los municipios de Cuautitlán Izcalli y Tultitlan.

El cuerpo de entrada y salida del terraplén aloja dos cuerpos vehiculares separados por un camellón central donde se ubican un par de parapetos metálicos que impiden el paso peatonal en esa zona, siendo el cuerpo del lado derecho el acceso de entrada para el flujo vehicular con dirección Coacalco – Ecatepec, y el del lado izquierdo la salida para el flujo vehicular con dirección Ecatepec - Coacalco. El cuerpo de terraplén está formado por material de relleno, conteniendo dicho relleno muros perimetrales de concreto reforzados; ninguno de los dos cuerpos vehiculares cuenta con banquetas peatonales, ya que el paso de peatones se proyectó por la parte inferior de la estructura.

Esta estructura presenta dos traveses tipo cajón con aletas (ballenas), 9 apoyos en la subestructura, dos estribos y siete caballetes intermedios. Cada uno de los caballetes intermedios que integran la subestructura, está integrado por dos columnas que apoyan sobre una zapata de liga, ambos elementos de concreto reforzado. La zapata es común para ambas columnas; a su vez esta zapata esta soportada por diez pilotes colados in situ.

Además, la sección geométrica del puente vehicular cuenta con un ancho promedio de 15.08 metros compuesto por dos calzadas de 7.24 metros de ancho, cada una divididas por medio de un camellón de 0.60 metros de ancho. Cada calzada opera con dos carriles de circulación de 3.62 metros. En conjunto para cada sentido de circulación se encuentran laterales que operan con dos carriles, estas se encuentran pavimentadas con concreto hidráulico, el cual está en buen estado.

Sin embargo, actualmente el estado estructural y de operación del mismo representa un factor problema para los usuarios que se trasladan sobre él ya que presenta fallas menores sobre su estructura y superficie de rodamiento.

Lo anterior, es consecuencia a la falta de mantenimiento de la estructura y al paso del Mexibús, ya que no estaba considerado en el tránsito que circularía sobre el PSV, lo cual ocasiono que se formaran fisuras en las traveses del puente vehicular.

Además, se apreciaron escurrimientos de agua pluvial debido al mal funcionamiento de las juntas de dilatación, así como escurrimientos por el colado de ajuste de la losa entre los patines superiores de las traveses, por lo que existe fisuramiento y porosidad de la losa en la mayoría de los tramos. Por lo que, respecta a la carpeta asfáltica, se observó con fuerte desgaste y con ligeros baches a todo lo largo del puente vehicular.

Por lo antes descrito, actualmente se tienen agrietamientos en la estructura, bajas velocidades, altos tiempos de traslado y elevados costos generalizados de viaje.

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

Cabe mencionar que de no llevar a cabo un proyecto que elimine la problemática, las fisuras sobre el puente vehicular aumentarán. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo el mantenimiento de la misma a base de fibras de carbono y de esta manera permitir el paso del Mexibús.

Los habitantes perjudicados son los ubicados en las siguientes localidades:

Tabla 1 Tasa de crecimiento

<b>Tasa de Crecimiento Poblacional</b>				
<b>Municipio</b>	<b>Grado de marginación</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>Tasa de Crecimiento</b>
Cuautitlán Izcalli	Muy bajo	477,872	484,573	1.40%
Tultitlan	Muy bajo	22,268	31,936	43.42%
Coacalco	Muy bajo	285,822	277,959	-2.75%
Ecatepec	Muy bajo	1,687,549	1,655,015	-1.93%
<b>Total</b>		<b>2,473,511</b>	<b>2,449,483</b>	<b>10.03%</b>

Fuente: SEDESOL

Tabla 2 Habitantes perjudicados

<b>Habitantes perjudicados</b>		
<b>Municipio</b>	<b>Grado de marginación</b>	<b>Población</b>
Cuautitlán Izcalli	Muy bajo	79,276
Tultitlan	Muy bajo	5,224
Coacalco	Muy bajo	45,474
Ecatepec	Muy bajo	270,760
<b>Total</b>		<b>400,734</b>

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar el crecimiento de la población del 2005 al 2010 tiene como resultado una tasa del 10.03% en promedio a lo largo de 5 años, por lo tanto, se espera un crecimiento anual de 2.00%.

La infraestructura vial se considera el principal elemento de integración y conectividad regional; dicho elemento debe de operar de manera segura y eficiente ya sea mejorando la operación vehicular o creando nueva infraestructura.

Se tiene la necesidad de llevar a cabo un proyecto que evite aumentar la problemática (mal estado de la estructura del PSV, bajas velocidades, altos tiempos de traslado y elevados costos generalizados de viaje) a lo largo del tiempo. Por lo tanto, se pretende llevar a cabo la "Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**  
**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

A continuación, se presentan fotografías de la situación actual de la Avenida.

Ilustración 4. Fotografía de la situación actual



Vista panorámica sobre la Vía José López Portillo con dirección a Tultepec; en esta zona da inicio el acceso a la estructura del PSV Juan Pablo II. Se aprecia asimismo que la estructura aloja dos carriles de circulación, separados éstos únicamente por dos parapetos metálicos centrales y un camellón central de dimensiones reducidas.

φ

φ

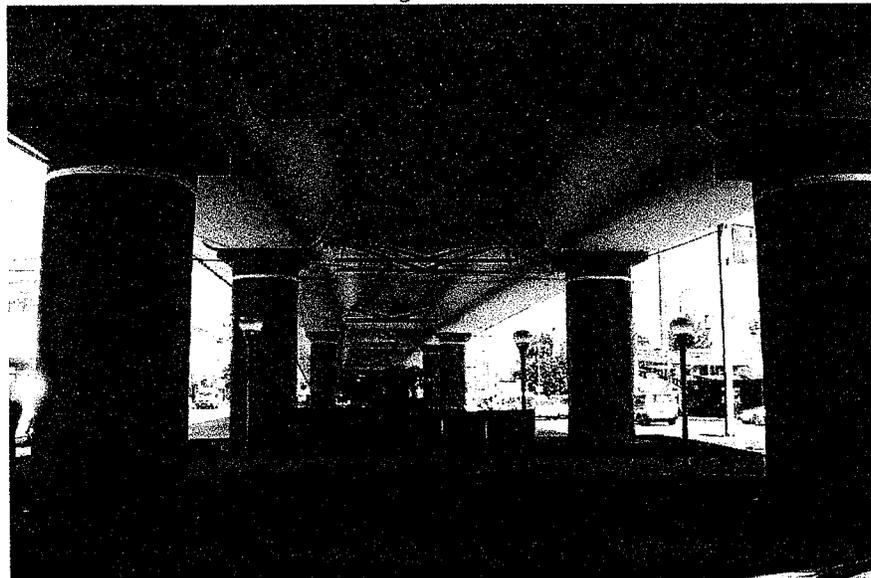
**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**  
**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

Ilustración 5. Fotografía de la situación actual



Vista general de la estructura por el lado de la calle lateral izquierda con dirección a Ecatepec, en esta se muestra el área recreativa bajo la estructura y la pintura en los elementos del puente.

Ilustración 6. Fotografía de la situación actual

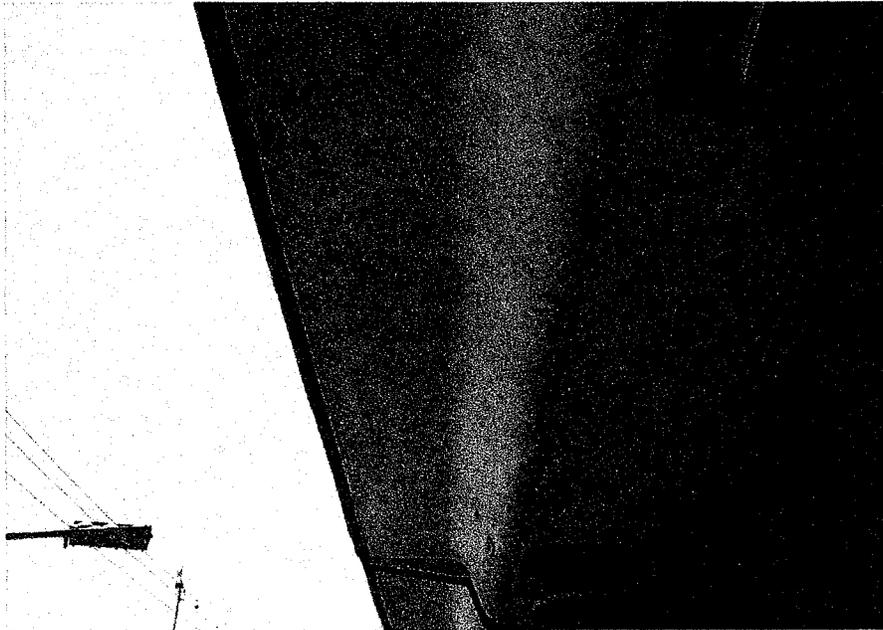


Vista inferior de la superestructura la cual se compone de dos trabes (ballenas) sección cajón, las cuales longitudinalmente se componen de tres tramos intermedios de anclaje que se empotran cada uno sobre dos pilas cilíndricas circulares. Transversalmente para rigidizar los tableros, presenta diafragmas en línea con las pilas cilíndricas, y los diafragmas tubulares metálicos se ubican en la zona de los apoyos de los tramos suspendidos.

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**  
**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

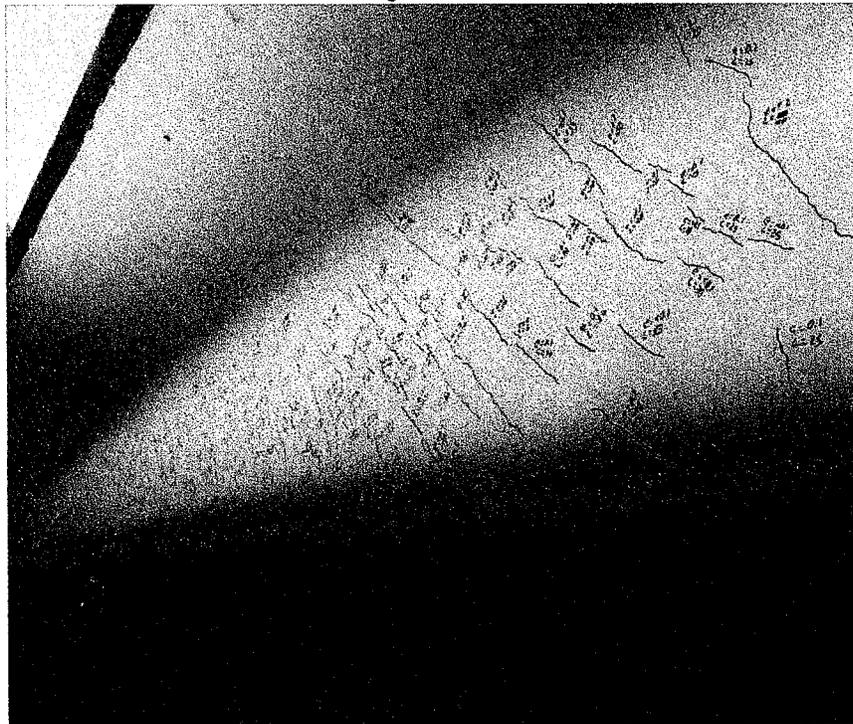
---

Ilustración 7. Fotografía de la situación actual



Se presentan daños como son escurrimientos, fisuras y grietas debidos a los escurrimientos en las juntas de dilatación y a la posible sobrecarga debida al paso de vehículos cuyas cargas y dimensiones exceden las reglamentarias de diseño.

Ilustración 8. Fotografía de la situación actual



Vista general del lado exterior de la trabe derecha donde se aprecian abundantes fisuramientos en toda su longitud.

4

K

## **b) Análisis de la Oferta Actual**

El puente vehicular Juan Pablo II representa un elemento importante dentro de la vialidad José López Portillo, ya que su finalidad es canalizar el flujo vehicular de los usuarios de manera eficiente y sin contratiempos. Ya que, conecta a los municipios de Cuautitlán Izcalli, Tultitlan, Coacalco y Ecatepec de Morelos sirviendo este para la intercomunicación de industrias, negocios particulares, escuelas, entre otros. Derivado de esto, se tiene un sistema transitado por todo tipo de vehículos.

De acuerdo a las fotografías el índice de rugosidad internacional (IRI) del área de estudio observado es de 6 mm/m. El Índice Internacional constituye una medida de la rugosidad, entendida como las deformaciones verticales de la superficie de un camino con respecto a la superficie plana, mismas que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de viaje, las cargas dinámicas y el drenaje superficial del camino. La rugosidad es, por tanto, una característica del perfil longitudinal de la superficie recorrida y el Índice Internacional de Rugosidad puede definirse como la suma de las irregularidades verticales (en valor absoluto) a lo largo de la zona de rodadura de un tramo homogéneo de carretera, entre la longitud del mismo, su unidad de medida es m/km o mm/m. En la siguiente figura se muestra la escala de dicho índice con una breve descripción del estado cualitativo del pavimento correspondiente a ciertos rangos. Un método muy accesible para realizar estimaciones de la rugosidad en campo consiste en colocar manualmente una regla de 2m o 3m de largo, longitudinalmente, sobre una de las huellas de camino; medir la desviación máxima bajo la regla, en mm; y repetir la operación a distancias convenientemente espaciadas. Con los datos de las mediciones, calcular las frecuencias acumuladas, y sustituir el valor del 95 percentil resultante (aquél que es mayor al 95% de las observaciones, e inferior al 5%) en la fórmula siguiente, que corresponda, para conocer el valor del IIR, en m/km:

$IRI (m/km) = 0.35 DMR3$ ; DMR3=95 percentil de las desviaciones máximas, bajo una regla de 3m de largo

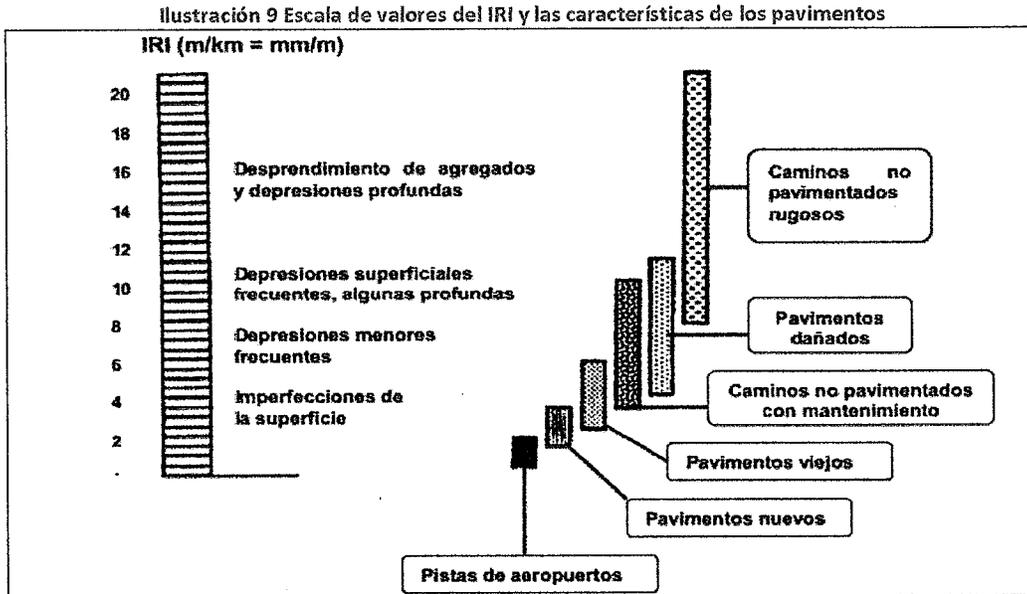
$IRI (m/km) = 0.437 DMR2$ ; DMR2 = 95 percentil de las desviaciones máximas, bajo una regla de 2m de largo"<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup>Costos de operación Base de los Vehículos Representativos del Transporte Interurbano 2012; José Antonio Arroyo Osorno, Roberto Aguerrebere Salido, Guillermo Torres Vargas; IMT Publicación Técnica 368.

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**



Fuente: Índice Internacional de Rugosidad en la red carretera de México, IMT

Asimismo, cuando no se cuenta con medición láser, cuarto de carro y no hay posibilidad de usar la regla de 3 metros una forma viable de hacer una estimación del IRI es en base a la observación de los daños y del estado superficial del pavimento, para que a través de la experiencia del ingeniero en lo relativo a evaluación de pavimentos se utilizara la escala anterior para asignar un IRI representativo.

Nivel de servicio

La capacidad y nivel de servicio en el que opera un camino, se clasifica en seis diferentes niveles dependiendo del tránsito vehicular que circula por ese tramo. La metodología empleada para el cálculo es la que se describe en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2018, editado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), el resultado se obtuvo en base a los datos obtenidos en campo cuando se llevó a cabo la encuesta y los aforos viales.

De acuerdo a esto, el nivel de Servicio Carretero del puente vehicular Juan Pablo II es un nivel C.

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

Tabla 3 Nivel de Servicio de carreteras

Nivel de Servicio	Carreteras de dos carriles
A	Corresponde a una condición de tránsito libre, con volúmenes vehiculares bajos y velocidades altas. La densidad es baja y la velocidad depende del deseo de los conductores, dentro de los límites establecidos por las condiciones del camino
B	Corresponde a la zona de tránsito estable, con velocidades de operación que empiezan a restringirse por las condiciones del tránsito. Los conductores tienen una libertad razonable de elegir sus velocidades y el carril de operación.
C	<b>Se encuentra en la zona de tránsito estable, pero las velocidades y posibilidades de maniobrar dependen del volumen de tránsito. Se obtiene una velocidad de operación satisfactoria.</b>
D	Empieza a tener tránsito inestable, con velocidades de operación aun satisfactorias, pero afectadas considerablemente por los cambios en las condiciones de operación.
E	El flujo viaja a velocidades constantes pero significativamente bajas, más que en cualquiera de sus niveles predecesores; el volumen de tránsito corresponde a la capacidad, así también el flujo de tránsito no puede elegir sus maniobras con libertad.
F	Se caracteriza porque el tránsito fluye en forma forzada; con paradas continuas

Fuente: Manual de Proyecto Geométrico de Carretera 2018, SCT

[http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/manual-pg/MPGC\\_2018\\_310718.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/manual-pg/MPGC_2018_310718.pdf)

En resumen, se cuenta con las siguientes características físicas y geométricas del puente vehicular Juan Pablo II.

Tabla 4 Características físicas y geométricas de la Avenida

CARACTERÍSTICAS	
Condiciones del tramo	Estructura del puente en mal estado
Longitud del tramo a intervenir (km)	221.14 m
Municipio (s)	Coacalco de Berriozábal
Tipo de terreno	Plano
Numero de cuerpos	2
Sentidos de circulación	2
Camellón	Existente de 60 cm
Ancho de calzada (m)	Variable de 7.14 a 7.24 m cada una
Número de carriles	2 (por calzada y sentido de circulación)
Ancho promedio de carril (m)	De 3.57 a 3.62 metros
Acotamientos	Inexistentes
Ancho de los acotamientos:	-
Tipo de superficie de rodamiento	Carpeta asfáltica en condiciones regulares

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**  
**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

CARACTERÍSTICAS	
Índice de rugosidad (m/km)	6 mm/m
Obras de drenaje	Inexistentes
Condiciones de señalamiento	Poco visibles
Pendiente media ascendente (%)	1.30%
Pendiente media descendente (%)	-1.50%
Proporción de viaje ascendente (%)	33.56%
Altitud promedio (m.s.n.m.)	2,250
Curvatura horizontal máx. (grados)	17.780°
Nivel de Servicio	C

Fuente: Elaboración propia con base en las características promedio obtenidas en trabajo de campo

### c) Análisis de la Demanda Actual

La demanda la constituye los vehículos que utilizan esta vialidad para trasladarse desde un origen a un destino.

Para fines del presente proyecto se analizará el puente vehicular y laterales de la vialidad López Portillo con la finalidad de observar el comportamiento de cada tipo de vehículo sobre cada una de las calzadas.

#### a) Transito Diario Promedio Anual

La demanda está constituida por los vehículos que circulan por las carreteras diariamente, lo anterior se manifiesta a través del Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), el aforo vehicular es importante ya que refleja la demanda o importancia de dichas calles.

Para la vialidad en estudio se cuenta con datos obtenidos en campo por el Departamento de Ingeniería de Transito de la Junta de Caminos del Estado de México los cuales arrojan la siguiente información al año 2021, teniendo como resultado el siguiente TDPA:

Tabla 5 TDPA proyecto

Demanda	
TDPA en el puente vehicular Juan Pablo II	45,472 <sup>4</sup>
TDPA lateral 1 (Coacalco-Ecatepec)	20,263
TDPA lateral 2 (Ecatepec-Coacalco)	21,266

Fuente: Departamento de Ingeniería de Transito de la Junta de Caminos del Estado de México

<sup>4</sup> Véase Anexo IV. Estudio de Transito

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

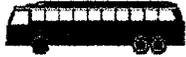
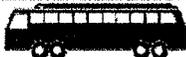
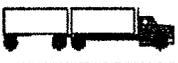
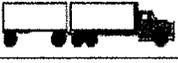
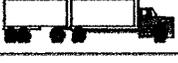
**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

**c) Composición vehicular**

En los aforos realizados, se clasifico el tránsito, de acuerdo con los criterios establecidos por la S.C.T. Federal, que denomina automóviles "A", autobuses "B" y camiones "C", existiendo subclasificaciones de camiones, de acuerdo con el número de ejes y la combinación de semirremolque, a continuación, se presenta la clasificación de lo antes descrito:

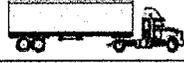
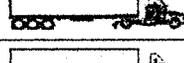
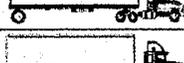
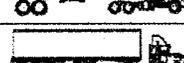
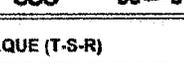
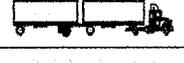
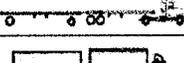
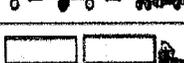
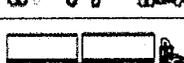
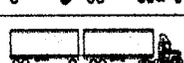
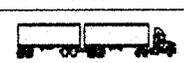
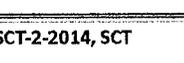
Ilustración 10 Composición vehicular de acuerdo a la SCT

CLASE: VEHÍCULO O CONFIGURACIÓN	NOMENCLATURA
AUTOBÚS	B
CAMIÓN UNITARIO	C
CAMIÓN REMOLQUE	C-R
TRACTOCAMIÓN ARTICULADO	T-S
TRACTOCAMIÓN DOBLEMENTE ARTICULADO	T-S-R y T-S-S

AUTOBÚS ( B )			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	VEHÍCULO
B2	2	6	
B3	3	8 o 10	
B4	4	10	
CAMIÓN UNITARIO ( C )			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	VEHÍCULO
C2	2	6	
C3	3	8-10	
CAMIÓN-REMOLQUE ( C-R )			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	VEHÍCULO
C2-R2	4	14	
C3-R2	5	18	
C2-R3	5	18	
C3-R3	6	22	

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

TRACTOCAMIÓN ARTICULADO (T-S)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
T2-S1	3	10	
T2-S2	4	14	
T2-S3	5	18	
T3-S1	4	14	
T3-S2	5	18	
T3-S3	6	22	
TRACTOCAMIÓN SEMIRREMOLQUE-REMOLQUE (T-S-R)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
T2-S1-R2	5	18	
T2-S2-R2	6	22	
T2-S1-R3	6	22	
T3-S1-R2	6	22	
T3-S1-R3	7	26	
T3-S2-R2	7	26	
T3-S2-R3	8	30	
T3-S2-R4	9	34	
T2-S2-S2	6	22	
T3-S2-S2	7	26	
T3-S3-S2	8	30	

Fuente: NORMA Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2014, SCT

φ

8

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

De acuerdo a lo anterior el Departamento de Ingeniería de Tránsito de la Junta de Caminos del Estado de México arrojaron la siguiente información al año 2021, teniendo como resultado la siguiente clasificación:

**Tabla 6 Composición vehicular**

	M	Autos y remolques	Pick-up	B	C2	C3	C4	OTROS C4	T3-S2	T3-S3	OTROS C5	OTROS C6	T3-S2-R4	C7, C8 Y MAS DE 9 EJES	Total
<b>Puente vehicular</b>	2.3%	78.8%	9.9%	1.2%	3.5%	0.9%	0.0%	0.0%	1.9%	0.8%	0.0%	0.0%	0.3%	0.4%	100.0%
<b>Lateral 1 Coacalco-Ecatepec</b>	2.0%	65.3%	7.7%	4.1%	9.4%	2.4%	0.0%	0.0%	4.8%	2.0%	0.0%	0.0%	0.9%	1.4%	100.0%
<b>Lateral 2 Ecatepec-Coacalco</b>	2.4%	67.3%	8.4%	3.9%	6.7%	2.3%	0.0%	0.0%	4.8%	2.5%	0.0%	0.0%	0.7%	1.0%	100.0%

Fuente: Elaboración con datos proporcionados por el Departamento de Ingeniería de Tránsito de la Junta de Caminos del Estado de México.

Cabe mencionar que el mexibus es considerado como tipo de vehículo tipo T3-S3. Sin embargo, para efectos del análisis del presente proyecto se tomará en cuenta la clasificación por tipo de vehículo "A", "B" y "C".

\*Tipo A: M, Autos y remolques y Pick up

\*Tipo B: Autobuses

\*Tipo C: C2,C3,C4, Otros C4, T3-S2, T3-S3, C5, C6, T3-S2-R4, C7, C8 y más de 9 ejes

**Tabla 7 Composición vehicular A, B y C**

Demanda			
Clasificación	A	B	C
<b>Puente vehicular</b>	91.00%	1.20%	7.80%
<b>Lateral 1 (Coacalco-Ecatepec)</b>	75.10%	4.10%	20.80%
<b>Lateral 2(Ecatepec-Coacalco)</b>	78.20%	3.90%	17.90%

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el Departamento de Ingeniería de Tránsito de la Junta de Caminos del Estado de México

**d) Periodización**

De acuerdo con la SCT el factor K' es útil para determinar el volumen horario de proyecto, el cual representa el volumen máximo de vehículos que puede transitar sobre una carretera en un lapso de 1 hora.

Tomando en cuenta lo anterior se supone que el factor K' es el porcentaje máximo del TDPA que puede circular por el camino. Para el presente proyecto se toma el valor de K' del camino Carr. San Pedro Barrientos-Ecatepec en el Tramo Izq. Tultepec, ya que se encuentra cercano a la zona en estudio, emitido por los datos viales de la SCT. Dicho esto, el factor de K' que se encontró para el camino Carr. San Pedro Barrientos-Ecatepec es de 0.054

Una vez analizado los aforos vehiculares que se presentan a lo largo del día, se observa que no existen variaciones significativas.

## **Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

### **"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

Aunado a lo anterior se considerará que el camino opera a MEDIA CONGESTIÓN ya que el valor del factor K' promedio es de 0.042 siendo este menor al 0.054 registrado en los Datos Viales de la SCT.<sup>5</sup>

#### **e) Tasa de ocupación vehicular**

La tasa de ocupación vehicular señala el número de pasajeros que viajan en promedio en cada tipo de vehículo, incluyendo al chofer o conductor de la unidad.

Tabla 8 Ocupación Vehicular Promedio

A	B	C
2.0	23.0	1.0

Fuente: Publicación Técnica No. 590, IMT

<https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt590.pdf>

#### **d) Diagnóstico de la Interacción De La Oferta- Demanda**

La relación que tiene la oferta y la demanda es el costo en el que incurren los vehículos al circular por los caminos. Al ser estimados se toman en cuenta diferentes características del camino y vehículo como: costos de operación, mantenimiento del vehículo, costo del tiempo de las personas que transitan, costos de los hidrocarburos, costos del mantenimiento vehicular, valor del tiempo de los usuarios, valor del tiempo de los choferes de las unidades, condiciones físicas de la carretera, altitud de promedio de la carretera, entre otros.

Así entonces, el CGV es el costo en el que incurre el usuario de un camino, por trasladarse entre un cierto origen y un destino en donde influyen tanto los costos de operación vehicular (COV) (combustible, lubricantes, neumáticos, refacciones, etc.), como los costos del tiempo del recorrido (CTR). La sumatoria de estos dos elementos dan como resultado los Costos Generalizados de Viaje por tipo de vehículo.

#### **a) Velocidad y Tiempo de Recorrido**

Una de las variantes a considerar en este proyecto son las velocidades y el tiempo de recorrido de los vehículos que transitan por el camino

De acuerdo a los recorridos ejercidos por el Departamento de Ingeniería de Transito de la Junta de Caminos del Estado de México se obtuvieron las velocidades de recorrido para los vehículos tipo A, B y C, con la metodología del vehículo flotante, las cuales son utilizadas para el Estudio Costo Beneficio del presente proyecto.

<sup>5</sup> Anexo IV. Estudio de Transito

P

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

Tabla 9 Velocidades en situación actual del Camino

PUENTE VEHICULAR			
Situación Actual			
Longitud (km)	0.22		
IRI (m/km)	6		
Clasificación	A	B	C
Velocidad (km/hr)	53.00	40.00	36.00
Vel. Prom (km/hr)	43		
Tiempo de recorrido	00:00:15	00:00:20	00:00:22

SSP  
↑  
PCP  
↑

LATERAL 1 (SENTIDO COACALCO-ECATEPEC)			
Situación Actual			
Longitud (km)	0.22		
IRI (m/km)	6		
Clasificación	A	B	C
Velocidad (km/hr)	33.33	31.03	26.09
Vel. Prom (km/hr)	30.15		
Tiempo de recorrido	00:00:24	00:00:26	00:00:31

LATERAL 2 (SENTIDO ECATEPEC-COACALCO)			
Situación Actual			
Longitud (km)	0.22		
IRI (m/km)	6		
Clasificación	A	B	C
Velocidad (km/hr)	31.98	29.03	26.47
Vel. Prom (km/hr)	29.02666667		
Tiempo de recorrido	00:00:25	00:00:27	00:00:30

Fuente: Elaborado por la Junta de Caminos del Estado de México, 2021

**b) Costos de Operación Vehicular**

Los costos de operación vehicular se miden en términos monetarios. Para su cálculo se incluye el costo 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, IRI y altitud sobre el nivel del mar.

Para obtención de los COV del presente proyecto se hará uso del modelo computacional VOC-MEX, el cual arroja los resultados base por cada 1,000 vehículo-kilómetro. Los insumos básicos que se ingresaron para las corridas del VOC-MEX son los valores reportados por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) en su publicación Técnica No. 590 2020, así como las características técnicas de los vehículos que operan en México, así como de las

φ

8

### Análisis Costo-Beneficio Simplificado

#### "Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"

características representativas de las carreteras en México para los diferentes tipos de terreno: plano, lomerío y montañoso.

En la siguiente tabla se muestran los resultados arrojados por el programa VOC-MEX, para el caso de cada tipo de vehículo del presente proyecto:

Tabla 10 Costos de Operación Vehicular para cada tipo de vehículo

PUENTE VEHICULAR			
Situación Actual			
Longitud (km)	0.22		
IRI (m/km)	6		
Clasificación	A	B	C
COV (\$/km) 1,000 vehículos	\$ 6,402.30	\$ 16,175.41	\$ 11,705.64
COV (\$/km)/vehículo	\$ 6.40	\$ 16.18	\$ 11.71

LATERAL 1 (SENTIDO COACALCO-ECATEPEC)			
Situación Actual			
Longitud (km)	0.22		
IRI (m/km)	6		
Clasificación	A	B	C
COV (\$/km) 1,000 vehículos	\$ 7,608.45	\$ 17,579.73	\$ 13,383.39
COV (\$/km)/vehículo	\$ 7.61	\$ 17.58	\$ 13.38

LATERAL 2 (SENTIDO ECATEPEC-COACALCO)			
Situación Actual			
Longitud (km)	0.22		
IRI (m/km)	6		
Clasificación	A	B	C
COV (\$/km) 1,000 vehículos	\$ 7,803.09	\$ 18,039.56	\$ 13,290.85
COV (\$/km)/vehículo	\$ 7.80	\$ 18.04	\$ 13.29

Fuente: Elaborado por la Junta de Caminos del Estado de México, 2021

Los parámetros con los que se alimentó el programa VOC-MEX por tipo de vehículo son los publicados por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) en la publicación técnica 590 2020, estos se presentan en el Anexo III.

#### c) Costo del Tiempo de Recorrido (CRT)

El CRT representa el valor, en términos monetarios, del tiempo de viaje de las personas que viajan en cada tipo de vehículo. Está dado por el valor unitario del tiempo de las personas (peso/hora) multiplicado por el tiempo de recorrido en horas y por el número de pasajeros. El segundo insumo importante es precisamente el valor económico del tiempo de los usuarios.

9

10

### Análisis Costo-Beneficio Simplificado

#### "Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"

Con la publicación de los resultados del Censo 2010, se realizó una actualización de los factores de ingresos y horas trabajadas aplicando la metodología propuesta por Torres (2012), cuyas expresiones básicas y valores se muestran a continuación.

$$SHP = \frac{FIP * SMGP * 7}{HTP}$$
$$VT_{pp} = 0.3 * 2 * \frac{FIP * SMGP * 7}{HTP}$$

Dónde:

SHP= Valor tiempo por motivo de trabajo

VT<sub>pp</sub>= Valor del tiempo por motivo de placer

SMGP = salario mínimo por hora (en pesos)

PHTD = promedio de horas trabajadas diarias = HTP / 7

HTPcenso2010 = promedio de las horas trabajadas por semana = 41.444

FIP censo2010 = factor de ingreso promedio de la población (en SMGP) = 3.367

H = ingreso horario familiar = 2\*FIP\*SMH

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

Tabla 11 Parámetros para el valor del Tiempo de Recorrido con optimizaciones

Características Valor Tiempo	
Salario Mínimo General Promedio (\$)	141.7
Valor tiempo por motivo de trabajo	80.58
% coeficiente tiempo motivo trabajo	70.00%
Valor del tiempo por motivo de placer	48.35
% coeficiente tiempo motivo placer	30.00%
Coeficiente de pasajeros por Auto	2.00
Coeficiente de pasajeros por Bus	23.00
Coeficiente de pasajeros por camión carga	1.00
Toneladas promedio (ton/veh)	20.00
Valor del tiempo de la carga (\$/h/ton)	15.00

Fuente: Estimación del tiempo de los ocupantes de los vehículos que circulan por la red carretera de México, 2020, NOTAS núm. 182, ENERO-FEBRERO 2020, artículo 1, Instituto Mexicano Transporte

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

A continuación, se presentan los resultados de los CGV's correspondientes a la situación actual del puente vehicular Juan Pablo II y laterales de la vialidad José López Portillo

Ilustración 11 Costos representativos del puente vehicular Juan Pablo II en la situación actual

PUENTE VEHICULAR								
Costos de Operación Vehicular								
COV (\$/km)				Situación Actual			Total	
Costo de Operación (\$/veh/km)				Costo de Operación (\$)				
Año	A	B	C	A	B	C		
0	2021	\$6.40	\$16.18	\$11.71	\$21,383,650.24	\$712,427.70	\$3,351,151.25	\$25,447,229.19

Valor tiempo								
Velocidad de Recorrido (km/hr)				Situación Actual			Total	
				Costo de Operación (\$)				
Año	A	B	C	A	B	C		
0	2021	53.00	40.00	36.00	\$8,937,823.17	\$1,795,913.15	\$2,385,709.62	\$13,119,445.94

CGV'S Anuales (\$)					
Año	A	B	C	Total	
0	2021	\$30,321,473.41	\$2,508,340.85	\$5,736,860.87	\$38,566,675.13

LATERAL 1 (SENTIDO COACALCO-ECATEPEC)								
Costos de Operación Vehicular								
COV (\$/km)				Situación Actual			Total	
Costo de Operación (\$/veh/km)				Costo de Operación (\$)				
Año	A	B	C	A	B	C		
0	2021	\$7.61	\$17.58	\$13.38	\$9,345,441.30	\$1,178,854.00	\$4,552,953.90	\$15,077,249.19

Valor tiempo								
Velocidad de Recorrido (km/hr)				Situación Actual			Total	
				Costo de Operación (\$)				
Año	A	B	C	A	B	C		
0	2021	33.33	31.03	26.09	\$5,226,735.79	\$3,524,729.92	\$3,911,780.03	\$12,663,245.73

CGV'S Anuales (\$)					
Año	A	B	C	Total	
0	2021	\$14,572,177.08	\$4,703,583.92	\$8,464,733.93	\$27,740,494.93

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

**LATERAL 2 (SENTIDO ECATEPEC-COACALCO)**

Costos de Operación Vehicular								
COV (\$/km)				Situación Actual			Total	
Costo de Operación (\$/veh/km)				Costo de Operación (\$)				
Año	A	B	C	A	B	C		
0	2021	\$7.80	\$18.04	\$13.29	\$10,474,167.51	\$1,207,637.39	\$4,083,681.21	\$15,765,486.12

Valortiempo								
Velocidad de Recorrido (km/hr)				Situación Actual			Total	
				Costo de Operación (\$)				
Año	A	B	C	A	B	C		
0	2021	31.58	29.03	26.47	\$6,028,407.70	\$3,761,173.78	\$3,482,301.13	\$13,271,882.61

CGV'S Anuales (\$)					
Año	A	B	C	Total	
0	2021	\$16,502,575.22	\$4,968,811.17	\$7,565,982.34	\$29,037,368.73

Fuente: Elaborado por la Junta de Caminos del Estado de México, 2021

4

### III. Situación sin el Proyecto de Inversión

Si bien resulta complejo realizar acciones de optimización la presente evaluación plantea medidas de optimización u obras de tipo menor que contribuyan a elevar las condiciones de operación de la vialidad en estudio, bajo el supuesto, que por razones presupuestales no se completara la obra. Por supuesto que dichas medidas deben contemplar que sean factibles, posibles y rentables durante el horizonte de evaluación, así se obtendría una situación base "sin proyecto optimizada", para compararla con la situación "con proyecto". Aunado a lo anterior, las acciones de optimización no deberán suponer un costo mayor al 10% del costo social contemplado para la elaboración del proyecto.

#### a) Optimizaciones

Para mejorar las condiciones de operación y funcionamiento del puente vehicular Juan Pablo II, se considera como medida de optimización limitar el paso de vehículos tipo T3-S3, C5, C6, T3-S2-R4, C7, C8 y más de 9 ejes a lo largo del puente y canalizar este tipo de vehículos por las laterales de la vialidad José López Portillo con la finalidad de evitar el progreso de fisuras sobre las trabes. Además, se considera la colocación de Sikayard para reparar las fisuras existentes.

Sin embargo, esto provocará congestión, reducción de velocidades y elevados costos generalizados de viaje sobre las laterales de la vialidad. Para ello se colocará señalamiento horizontal para evitar la circulación de los camiones T3-S3, C5, C6, T3-S2-R4, C7, C8 y más de 9 ejes.

- **Señalamiento vertical:** Se colocará un conjunto de señales en tableros fijados en postes con el objeto de regular el tránsito indicando al usuario
- **Colocación de Sikayard-550m:** Se colocará sikayard-550m como sellado de las grietas existentes en las trabes por falta de mantenimiento en la estructura y por el paso del Mexibús.

En el siguiente recuadro se muestran los trabajos y costos contemplados como medidas de optimización del presente proyecto:

**Tabla 12 Costos medidas de optimización**

Medidas de Optimización				
Descripción	Unidad	Cantidad	PU	Importe
Señalamiento vertical: Señales Restrictivas	pza	6	\$3,306.00	\$19,836.00
Sellado de fisuras en las trabes mediante Sikayard-550m ó similar (2.7m /lt.).	lt	13,140	\$348.00	\$4,572,720
<b>Total</b>				<b>\$4,592,556.00</b>

Fuente: Elaboración propia

## **Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

### **"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

Los costos de las medidas de optimización son menores al 10% del monto de inversión por lo que se cumple con lo establecido en los Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión.

A pesar de reparar las fisuras existentes, no se tendría una reparación completa ya que el monto de inversión para optimizaciones únicamente abarca el 50% de ellas.

## **b) Análisis de la Oferta**

Con la implementación de las medidas de optimización realizadas sobre el puente vehicular Juan Pablo II, se tendrían en consideración las características actuales del pavimento, ya que únicamente se mejoró la operación de la circulación de los vehículos pesados. A continuación, se presenta la información sobre las características físicas y geométricas del camino de acuerdo a las medidas de optimización.

En resumen, se cuenta con las siguientes características físicas y geométricas del puente vehicular Juan Pablo II.

Tabla 13 Características físicas y geométricas de la Avenida

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	
Condiciones del tramo	Estructura del puente en mal estado
Longitud del tramo a intervenir (km)	221.14 m
Municipio (s)	Coacalco de Berriozábal
Tipo de terreno	Plano
Numero de cuerpos	2
Sentidos de circulación	2
Camellón	Existente de 60 cm
Ancho de calzada (m)	Variable de 7.14 a 7.24 m cada una
Número de carriles	2 (por calzada y sentido de circulación)
Ancho promedio de carril (m)	De 3.57 a 3.62 metros
Acotamientos	Inexistentes
Ancho de los acotamientos:	-
Tipo de superficie de rodamiento	Carpeta asfáltica en condiciones regulares
Índice de rugosidad (m/km)	6 mm/m
Obras de drenaje	Inexistentes
Condiciones de señalamiento	Poco visibles
Pendiente media ascendente (%)	1.30%
Pendiente media descendente (%)	-1.50%
Proporción de viaje ascendente (%)	33.56%
Altitud promedio (m.s.n.m.)	2,250
Curvatura horizontal máx. (grados)	17.780º
Nivel de Servicio	C

Fuente: Elaboración propia con base en las características promedio obtenidas en trabajo de campo

### **c) Análisis de la Demanda**

La demanda la constituye los vehículos que utilizan esta vialidad para trasladarse desde un origen a un destino.

De acuerdo al estudio de tránsito presentado por el Departamento de Ingeniería de Tránsito se determinó el TDPA y clasificación correspondiente a la situación sin proyecto, tomando en cuenta las optimizaciones.

Al restringir el paso de vehículos pesados sobre el puente vehicular el TDPA y clasificación de cada calzada cambiara con respecto al movimiento de cambios de vehículos. A continuación, se presentan los resultados del TDPA tomando en cuenta el cambio de circulación de vehículos tipo T3-S3, C5, C6, T3-S2-R4, C7, C8 y más de 9 ejes.

#### **1. Tránsito Diario Promedio Anual**

La demanda está constituida por los vehículos que circulan por las carreteras diariamente, lo anterior se manifiesta a través del Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), el aforo vehicular es importante ya que refleja la demanda o importancia de dichas calles.

Para la vialidad en estudio se cuenta con datos:

Tabla 14 TDPA proyecto

<b>Demanda</b>	
TDPA en el puente vehicular Juan Pablo II	44781 <sup>6</sup>
TDPA lateral 1 (Coacalco-Ecatepec)	20,609
TDPA lateral 2 (Ecatepec-Coacalco)	21,612

Fuente: Departamento de Ingeniería de Tránsito de la Junta de Caminos del Estado de México

#### **2. Composición vehicular**

En los aforos realizados, se clasificó el tránsito, de acuerdo con los criterios establecidos por la S.C.T. Federal, que denomina automóviles "A", autobuses "B" y camiones "C", existiendo subclasificaciones de camiones, de acuerdo con el número de ejes y la combinación de semirremolque, a continuación, se presenta la clasificación de lo antes descrito:

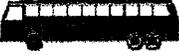
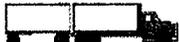
Ilustración 12 Composición vehicular de acuerdo a la SCT

<b>CLASE: VEHÍCULO O CONFIGURACIÓN</b>	<b>NOMENCLATURA</b>
AUTOBÚS	B
CAMIÓN UNITARIO	C
CAMIÓN REMOLQUE	C-R
TRACTOCAMIÓN ARTICULADO	T-S
TRACTOCAMIÓN DOBLEMENTE ARTICULADO	T-S-R y T-S-S

<sup>6</sup> Véase Anexo II. Memoria de cálculo

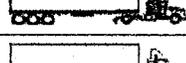
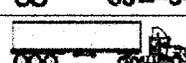
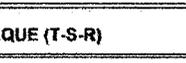
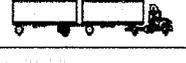
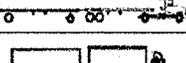
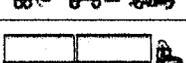
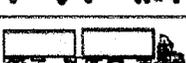
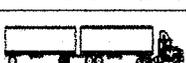
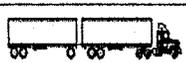
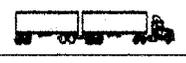
**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

AUTOBÚS ( B )			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	VEHÍCULO
B2	2	6	
B3	3	8 o 10	
B4	4	10	
CAMIÓN UNITARIO ( C )			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	VEHÍCULO
C2	2	6	
C3	3	8-10	
CAMIÓN-REMOLQUE ( C-R )			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	VEHÍCULO
C2-R2	4	14	
C3-R2	5	18	
C2-R3	5	18	
C3-R3	6	22	

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

TRACTOCAMIÓN ARTICULADO (T-S)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
T2-S1	3	10	
T2-S2	4	14	
T2-S3	5	18	
T3-S1	4	14	
T3-S2	5	18	
T3-S3	6	22	
TRACTOCAMIÓN SEMIRREMOLQUE-REMOLQUE (T-S-R)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
T2-S1-R2	5	18	
T2-S2-R2	6	22	
T2-S1-R3	6	22	
T3-S1-R2	6	22	
T3-S1-R3	7	26	
T3-S2-R2	7	26	
T3-S2-R3	8	30	
T3-S2-R4	9	34	
T2-S2-S2	6	22	
T3-S2-S2	7	26	
T3-S3-S2	8	30	

Fuente: NORMA Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2014, SCT

4



## Análisis Costo-Beneficio Simplificado

### "Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"

De acuerdo al análisis realizado al restringir el paso de vehículos pesados sobre el puente vehicular y con ayuda de los datos del estudio de tránsito se tienen las siguientes clasificaciones sobre el puente vehicular y lateral de la vialidad José López Portillo: (Anexo I. Véase memoria de cálculo)

Tabla 15 Composición vehicular

	M	Autos y remolques	Pick-up	B	C2	C3	C4	OTROS C4	T3-S2	T3-S3	OTROS C5	OTROS C6	T3-S2-R4	C7, C8 Y MAS DE 9 EJES	Total
<b>Puente vehicular</b>	2.3%	80.0%	10.1%	1.2%	3.5%	0.9%	0.0%	0.0%	1.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%
<b>Lateral 1 Coacalco-Ecatepec</b>	2.0%	64.2%	7.6%	4.0%	9.2%	2.3%	0.0%	0.0%	4.7%	2.9%	0.0%	0.0%	1.2%	1.8%	100.0%
<b>Lateral 2 Ecatepec-Coacalco</b>	2.4%	66.2%	8.3%	3.8%	6.6%	2.2%	0.0%	0.0%	4.7%	3.3%	0.0%	0.0%	1.0%	1.4%	100.0%

Fuente: Elaboración con datos proporcionados por el Departamento de Ingeniería de Tránsito de la Junta de Caminos del Estado de México.

Cabe mencionar que el mexibus es considerado como vehículo tipo T3-S3. Sin embargo, para efectos del análisis del presente proyecto se tomará en cuenta la clasificación por tipo de vehículo "A", "B" y "C".

\*Tipo A: M, Autos y remolques y Pick up

\*Tipo B: Autobuses

\*Tipo C: C2,C3,C4, Otros C4, T3-S2, T3-S3, C5, C6, T3-S2-R4, C7, C8 y más de 9 ejes

Tabla 16 Composición vehicular A, B y C

Demanda			
Clasificación	A	B	C
<b>Puente vehicular</b>	92.37%	1.25%	6.38%
<b>Lateral 1 (Coacalco-Ecatepec)</b>	73.81%	4.04%	22.15%
<b>Lateral 2(Ecatepec-Coacalco)</b>	76.93%	3.85%	19.22%

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el Departamento de Ingeniería de Tránsito de la Junta de Caminos del Estado de México

### 3. Periodización

De acuerdo con la SCT el factor  $K'$  es útil para determinar el volumen horario de proyecto, el cual representa el volumen máximo de vehículos que puede transitar sobre una carretera en un lapso de 1 hora.

Tomando en cuenta lo anterior se supone que el factor  $K'$  es el porcentaje máximo del TDPA que puede circular por el camino. Para el presente proyecto se toma el valor de  $K'$  del camino Carr. San Pedro Barrientos-Ecatepec en el Tramo Izq. Tultepec, ya que se encuentra cercano a la zona en estudio, emitido por los datos viales de la SCT. Dicho esto, el factor de  $K'$  que se encontró para el camino Carr. San Pedro Barrientos-Ecatepec es de 0.054

Una vez analizado los aforos vehiculares que se presentan a lo largo del día, se observa que no existen variaciones significativas.

## Análisis Costo-Beneficio Simplificado

### "Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"

Aunado a lo anterior se considerará que el camino opera a MEDIA CONGESTIÓN ya que el valor del factor  $K'$  promedio es de 0.042 siendo este menor al 0.054 registrado en los Datos Viales de la SCT.<sup>7</sup>

#### 4. Tasa de ocupación vehicular

La tasa de ocupación vehicular señala el número de pasajeros que viajan en promedio en cada tipo de vehículo, incluyendo al chofer o conductor de la unidad.

Tabla 17 Ocupación Vehicular Promedio

A	B	C
2.0	23.0	1.0

Fuente: Publicación Técnica No. 590, IMT  
<https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt590.pdf>

#### 5. Tasa de crecimiento

Con el objeto de conocer el comportamiento de las corrientes de tránsito durante todo el año, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes instaló un conjunto de aparatos automáticos contadores de vehículos, distribuidos en diferentes tramos de la red carretera. Con este mismo propósito también se dispone de los volúmenes de tránsito que se registran en las casetas de cobro de Autopistas y Puentes de cuota, que constituyen una de las fuentes más completas de información, en virtud de que su sistema de operación exige una clasificación detallada del tipo de vehículos que utilizan las obras a su cargo. Esta información, entre otras aplicaciones, es utilizada para correlacionar sus variaciones con los resultados de los conteos vehiculares que se efectúan en la red de carreteras para hacerlos representativos para todo el año.

Para obtener la tasa de crecimiento del presente proyecto se revisaron los datos históricos de incremento del tráfico en la zona de influencia del proyecto, tomando como reseña los datos históricos del libro de Datos Viales editado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de los años 2015 al 2020. Para el caso del presente proyecto se toman en cuenta las lecturas sobre la Carr. San Pedro Barrientos-Ecatepec en el Tramo Izq. Tultepec, debido a la cercanía del tramo en estudio, ya que no existe un registro en el punto exacto de la zona de interés.

La metodología utilizada para calcular la tasa de crecimiento anual es la siguiente:

$$TMACP = \left[ \left( \frac{N_f}{N_i} \right)^{\left( \frac{1}{t} \right)} \right] - 1$$

Dónde:

TMACP: tasa media anual de crecimiento poblacional.<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Anexo IV. Estudio de Transito

<sup>8</sup> [http://estadisticas.ambiente.gob.ar/archivos/web/Indicadores/file/multisitio/pdf/13\\_%20Tasa%20media%20anual%20de%20crecimiento%20poblacional.pdf](http://estadisticas.ambiente.gob.ar/archivos/web/Indicadores/file/multisitio/pdf/13_%20Tasa%20media%20anual%20de%20crecimiento%20poblacional.pdf)

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

$N_i$ : población en el momento inicial del periodo

$N_f$ : población al final del período.

$t$  : tiempo transcurrido entre  $i$  y  $f$ .

Aunado a lo anterior se obtienen siguientes tasas de crecimiento para cada tramo y año.

Tabla 18 Tasa de crecimiento

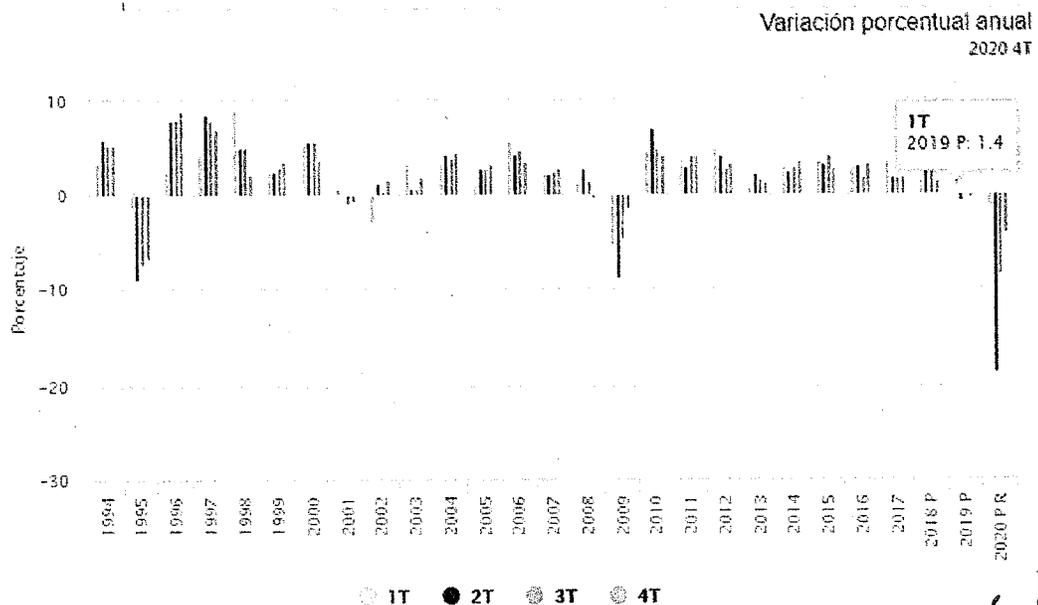
Año	TDPA	Tasa de Crecimiento anual	
2015	41,951.00	2014-2015	-12.55%
2016	36,686.00	2015-2016	-1.64%
2017	36,083.00	2016-2017	13.98%
2018	41,127.00	2017-2018	2.37%
2019	42,102.00	2018-2019	26.20%
2020	53,133.00	Promedio	5.67%

Fuente: Elaboración propia con datos del libro de datos viales SCT

Como se puede observar la tasa de crecimiento resultante de la evaluación de los datos viales de la SCT es alta por lo que se recurra a utilizar el PIB del primer periodo del año 2019, publicado por el INEGI para no sobrevalorar los beneficios del proyecto.

Dicho lo anterior, la tasa de crecimiento para la proyección de la demanda a lo largo del horizonte de evaluación será de 1.4% de acuerdo al PIB.

Ilustración 13 PIB del primer trimestre del año 2019



Fuente: <https://www.inegi.org.mx/temas/plb/>

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

A continuación, se presenta el cálculo de la demanda en la situación sin proyecto y sus proyecciones a lo largo del horizonte de evaluación.

Tabla 19 Proyección del TDPA

PUENTE VEHICULAR						
Proyección del Transito Diario Promedio Anual						
Crecimiento anual		Clasificación vehicular			TDPA	44,781
1.40%		A	B	C	Total Día	Total Anual
Año		92.37%	1.25%	6.39%	100.00%	365
0	2021	41,363	558	2,859	44,781	16,344,963
1	2022	41,942	566	2,899	45,408	16,573,793
2	2023	42,529	574	2,940	46,043	16,805,826
3	2024	43,125	582	2,981	46,688	17,041,107
4	2025	43,728	590	3,023	47,342	17,279,683
5	2026	44,341	599	3,065	48,004	17,521,598
6	2027	44,961	607	3,108	48,676	17,766,901
7	2028	45,591	616	3,152	49,358	18,015,637
8	2029	46,229	624	3,196	50,049	18,267,856
9	2030	46,876	633	3,241	50,750	18,523,606
10	2031	47,532	642	3,286	51,460	18,782,937
11	2032	48,198	651	3,332	52,181	19,045,898
12	2033	48,873	660	3,379	52,911	19,312,540
13	2034	49,557	669	3,426	53,652	19,582,916
14	2035	50,251	678	3,474	54,403	19,857,077
15	2036	50,954	688	3,522	55,165	20,135,076
16	2037	51,668	698	3,572	55,937	20,416,967
17	2038	52,391	707	3,622	56,720	20,702,804
18	2039	53,124	717	3,672	57,514	20,992,644
19	2040	53,868	727	3,724	58,319	21,286,541
20	2041	54,622	737	3,776	59,136	21,584,552
21	2042	55,387	748	3,829	59,964	21,886,736
22	2043	56,162	758	3,882	60,803	22,193,150
23	2044	56,949	769	3,937	61,654	22,503,854
24	2045	57,746	780	3,992	62,518	22,818,908
25	2046	58,554	791	4,048	63,393	23,138,373
26	2047	59,374	802	4,105	64,280	23,462,310
27	2048	60,205	813	4,162	65,180	23,790,783
28	2049	61,048	824	4,220	66,093	24,123,854
29	2050	61,903	836	4,279	67,018	24,461,588
30	2051	62,770	847	4,339	67,956	24,804,050
31	2052	63,648	859	4,400	68,908	25,151,306
32	2053	64,539	871	4,462	69,872	25,503,425
33	2054	65,443	884	4,524	70,851	25,860,473
34	2055	66,359	896	4,587	71,843	26,222,519
35	2056	67,288	908	4,652	72,848	26,589,635

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

LATERAL 1 (SENTIDO COACALCO-ECATEPEC)						
Proyección del Transito Diario Promedio Anual						
Crecimiento anual	Clasificación vehicular			TDPA	20,609	
1.40%	A	B	C	Total Día	Total Anual	
Año	73.81%	4.04%	22.15%	100.00%	365	
0	2021	15,212	832	4,565	20,609	7,522,153
1	2022	15,425	843	4,628	20,897	7,627,464
2	2023	15,641	855	4,693	21,190	7,734,248
3	2024	15,860	867	4,759	21,486	7,842,528
4	2025	16,082	879	4,826	21,787	7,952,323
5	2026	16,307	892	4,893	22,092	8,063,655
6	2027	16,536	904	4,962	22,401	8,176,547
7	2028	16,767	917	5,031	22,715	8,291,018
8	2029	17,002	930	5,102	23,033	8,407,093
9	2030	17,240	943	5,173	23,356	8,524,792
10	2031	17,481	956	5,245	23,683	8,644,139
11	2032	17,726	969	5,319	24,014	8,765,157
12	2033	17,974	983	5,393	24,350	8,887,869
13	2034	18,226	997	5,469	24,691	9,012,299
14	2035	18,481	1,011	5,545	25,037	9,138,471
15	2036	18,740	1,025	5,623	25,387	9,266,410
16	2037	19,002	1,039	5,702	25,743	9,396,140
17	2038	19,268	1,054	5,782	26,103	9,527,686
18	2039	19,538	1,068	5,862	26,469	9,661,073
19	2040	19,811	1,083	5,945	26,839	9,796,328
20	2041	20,089	1,098	6,028	27,215	9,933,477
21	2042	20,370	1,114	6,112	27,596	10,072,546
22	2043	20,655	1,129	6,198	27,982	10,213,561
23	2044	20,944	1,145	6,285	28,374	10,356,551
24	2045	21,238	1,161	6,372	28,771	10,501,543
25	2046	21,535	1,178	6,462	29,174	10,648,564
26	2047	21,836	1,194	6,552	29,583	10,797,644
27	2048	22,142	1,211	6,644	29,997	10,948,811
28	2049	22,452	1,228	6,737	30,417	11,102,095
29	2050	22,766	1,245	6,831	30,843	11,257,524
30	2051	23,085	1,262	6,927	31,274	11,415,129
31	2052	23,408	1,280	7,024	31,712	11,574,941
32	2053	23,736	1,298	7,122	32,156	11,736,990
33	2054	24,068	1,316	7,222	32,606	11,901,308
34	2055	24,405	1,335	7,323	33,063	12,067,927
35	2056	24,747	1,353	7,426	33,526	12,236,878

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

LATERAL 2 (SENTIDO ECATEPEC-COACALCO)						
Proyección del Transito Diario Promedio Anual						
Crecimiento anual	Clasificación vehicular			TDPA	21,612	
1.40%	A	B	C	Total Día	Total Anual	
Año	76.93%	3.85%	19.22%	100.00%	365	
0	2021	16,625	832	4,154	21,612	7,888,248
1	2022	16,858	844	4,213	21,914	7,998,684
2	2023	17,094	855	4,271	22,221	8,110,666
3	2024	17,334	867	4,331	22,532	8,224,215
4	2025	17,576	879	4,392	22,848	8,339,354
5	2026	17,822	892	4,453	23,167	8,456,105
6	2027	18,072	904	4,516	23,492	8,574,490
7	2028	18,325	917	4,579	23,821	8,694,533
8	2029	18,581	930	4,643	24,154	8,816,257
9	2030	18,841	943	4,708	24,492	8,939,684
10	2031	19,105	956	4,774	24,835	9,064,840
11	2032	19,373	969	4,841	25,183	9,191,748
12	2033	19,644	983	4,909	25,535	9,320,432
13	2034	19,919	997	4,977	25,893	9,450,918
14	2035	20,198	1,011	5,047	26,255	9,583,231
15	2036	20,481	1,025	5,118	26,623	9,717,396
16	2037	20,767	1,039	5,189	26,996	9,853,440
17	2038	21,058	1,054	5,262	27,374	9,991,388
18	2039	21,353	1,068	5,336	27,757	10,131,267
19	2040	21,652	1,083	5,410	28,145	10,273,105
20	2041	21,955	1,099	5,486	28,540	10,416,928
21	2042	22,262	1,114	5,563	28,939	10,562,765
22	2043	22,574	1,129	5,641	29,344	10,710,644
23	2044	22,890	1,145	5,720	29,755	10,860,593
24	2045	23,210	1,161	5,800	30,172	11,012,641
25	2046	23,535	1,178	5,881	30,594	11,166,818
26	2047	23,865	1,194	5,963	31,022	11,323,154
27	2048	24,199	1,211	6,047	31,457	11,481,678
28	2049	24,538	1,228	6,131	31,897	11,642,422
29	2050	24,881	1,245	6,217	32,344	11,805,415
30	2051	25,230	1,262	6,304	32,796	11,970,691
31	2052	25,583	1,280	6,393	33,256	12,138,281
32	2053	25,941	1,298	6,482	33,721	12,308,217
33	2054	26,304	1,316	6,573	34,193	12,480,532
34	2055	26,672	1,335	6,665	34,672	12,655,259
35	2056	27,046	1,353	6,758	35,157	12,832,433

Fuente: Elaboración propia

## d) Diagnóstico de la Interacción Oferta- Demanda

Como consecuencia de integrar los vehículos pesados a las laterales de la vialidad José López Portillo se generan retrasos, bajas velocidades y elevados costos generalizados de viaje sobre ellas, de tal manera que los mismos disminuirán sobre el puente vehicular Juan Pablo II, ya que se liberará del mismo tipo de vehículos generando menor TDPA e incremento en las velocidades.

La relación que tiene la oferta y la demanda es el costo en el que incurren los vehículos al circular por las calles. Al ser estimados se toman en cuenta diferentes características del camino y vehículo como: costos de operación, mantenimiento del vehículo, costo del tiempo de las personas que transitan, costos de los hidrocarburos, costos del mantenimiento vehicular, valor del tiempo de los usuarios, valor del tiempo de los choferes de las unidades, condiciones físicas de la carretera, altitud de promedio de la carretera, entre otros.

Así entonces, el CGV es el costo en el que incurre el usuario de un camino, por trasladarse entre un cierto origen y un destino en donde influyen tanto los costos de operación vehicular (COV) (combustible, lubricantes, neumáticos, refacciones, etc.), como los costos del tiempo del recorrido (CTR). La sumatoria de estos dos elementos dan como resultado los Costos Generalizados de Viaje por tipo de vehículo.

### 1. Velocidad y Tiempo de Recorrido

Las velocidades de circulación para el puente vehicular Juan Pablo II aumentarían ligeramente al no presentarse mejoramiento sobre la superficie de rodadura, sin embargo, este aumento se debe al restringir el paso de vehículos pesados sobre el puente vehicular. Además, en las laterales de la vialidad José López Portillo el congestionamiento aumentará al alojar estas la circulación de los vehículos pesados, lo que ocasionaría bajas velocidades, altos tiempos de traslado y elevados costos generalizados de viaje.

En la siguiente tabla se muestran las velocidades y tiempos de recorrido de acuerdo a las características de la Situación sin Proyecto.

Tabla 20 Velocidades en situación sin proyecto del puente vehicular Juan Pablo II

PUENTE VEHICULAR			
Situación Sin Proyecto			
Longitud (km)	0.22		
IRI (m/km)	6		
Clasificación	A	B	C
Velocidad (km/hr)	55.00	42.00	38.00
Vel. Prom (km/hr)	45		
Tiempo de recorrido	00:00:14	00:00:19	00:00:21

## Análisis Costo-Beneficio Simplificado

### "Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"

LATERAL 1 (SENTIDO COACALCO-ECATEPEC)			
Situación Sin Proyecto			
Longitud (km)	0.22		
IRI (m/km)	6		
Clasificación	A	B	C
Velocidad (km/hr)	28.00	25.00	22.00
Vel. Prom (km/hr)	25		
Tiempo de recorrido	00:00:28	00:00:32	00:00:36

LATERAL 2 (SENTIDO ECATEPEC-COACALCO)			
Situación Sin Proyecto			
Longitud (km)	0.22		
IRI (m/km)	6		
Clasificación	A	B	C
Velocidad (km/hr)	26.00	24.00	22.00
Vel. Prom (km/hr)	24		
Tiempo de recorrido	00:00:31	00:00:33	00:00:36

Fuente: Elaborado por la Junta de Caminos del Estado de México, 2021

## 2. Costos de Operación Vehicular

Los costos de operación vehicular se miden en términos monetarios. Para su cálculo se incluye el costo 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, IRI y altitud sobre el nivel del mar.

Para obtención de los COV del presente proyecto se hará uso del modelo computacional VOC-MEX, el cual arroja los resultados base por cada 1,000 vehículos-kilómetro. Los insumos básicos que se ingresaron para las corridas del VOC-MEX son los valores reportados por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) en su publicación Técnica No. 590 2020, así como 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.

En la siguiente tabla se muestran los resultados arrojados por el programa VOC-MEX, para el caso de cada tipo de vehículo del presente proyecto:

①

②

## Análisis Costo-Beneficio Simplificado

### "Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"

Tabla 21 Costos de Operación Vehicular para cada tipo de vehículo

PUENTE VEHICULAR			
Situación Sin Proyecto			
Longitud (km)	0.22		
IRI (m/km)	6		
Clasificación	A	B	C
COV (\$/km) 1,000 vehículos	\$ 6,338.57	\$ 15,965.12	\$ 11,497.40
COV (\$/km)/vehículo	\$ 6.34	\$ 15.97	\$ 11.50

LATERAL 1 (SENTIDO COACALCO-ECATEPEC)			
Situación Sin Proyecto			
Longitud (km)	0.22		
IRI (m/km)	6		
Clasificación	A	B	C
COV (\$/km) 1,000 vehículos	\$ 8,284.12	\$ 19,222.52	\$ 14,609.68
COV (\$/km)/vehículo	\$ 8.28	\$ 19.22	\$ 14.61

LATERAL 2 (SENTIDO ECATEPEC-COACALCO)			
Situación Sin Proyecto			
Longitud (km)	0.22		
IRI (m/km)	6		
Clasificación	A	B	C
COV (\$/km) 1,000 vehículos	\$ 8,614.64	\$ 19,584.28	\$ 14,609.68
COV (\$/km)/vehículo	\$ 8.61	\$ 19.58	\$ 14.61

Fuente: Elaborado por la Junta de Caminos del Estado de México, 2021

Los parámetros con los que se alimentó el programa VOC-MEX por tipo de vehículo son los publicados por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) en la publicación técnica 590 2020, estos se presentan en el Anexo III. Además, se presentan los resultados del mismo en el anexo VIII.

### 3. Costo del Tiempo de Recorrido (CRT)

El CTR representa el valor, en términos monetarios, del tiempo de viaje de las personas que viajan en cada tipo de vehículo. Está dado por el valor unitario del tiempo de las personas (peso/hora) multiplicado por el tiempo de recorrido en horas y por el número de pasajeros. El segundo insumo importante es precisamente el valor económico del tiempo de los usuarios.

Con la publicación de los resultados del Censo 2010, se realizó una actualización de los factores de ingresos y horas trabajadas aplicando la metodología propuesta por Torres (2012), cuyas expresiones básicas y valores se muestran a continuación.

$$SHP = \frac{FIP * SMGP * 7}{HTP}$$

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

$$VT_{pp} = 0.3 * 2 * \frac{FIP * SMGP * 7}{HTP}$$

Dónde:

SHP= Valor tiempo por motivo de trabajo

VT<sub>pp</sub>= Valor del tiempo por motivo de placer

SMGP = salario mínimo por hora (en pesos)

PHTD = promedio de horas trabajadas diarias = HTP / 7

HTPcenso2010 = promedio de las horas trabajadas por semana = 41.444

FIP censo2010 = factor de ingreso promedio de la población (en SMGP) = 3.367

H = ingreso horario familiar = 2\*FIP\*SMH

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

Tabla 22. Parámetros para el valor del Tiempo de Recorrido con optimizaciones

Características Valor Tiempo	
Salario Mínimo General Promedio (\$)	141.7
Valor tiempo por motivo de trabajo	80.58
% coeficiente tiempo motivo trabajo	70.00%
Valor del tiempo por motivo de placer	48.35
% coeficiente tiempo motivo placer	30.00%
Coeficiente de pasajeros por Auto	2.00
Coeficiente de pasajeros por Bus	23.00
Coeficiente de pasajeros por camión carga	1.00
Toneladas promedio (ton/veh)	20.00
Valor del tiempo de la carga (\$/h/ton)	15.00

Fuente: Estimación del tiempo de los ocupantes de los vehículos que circulan por la red carretera de México, 2020, NOTAS núm. 182, ENERO-FEBRERO 2020, artículo 1, Instituto Mexicano Transporte

A continuación, se presentan los resultados de los costos de operación vehicular, costos de tiempo recorrido y costos generalizados de viaje correspondientes a la situación sin proyecto a lo largo del horizonte de evaluación sobre el puente vehicular y laterales de la vialidad José López Portillo.

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

Tabla 23 Costos de representativos del Puente Vehicular Juan Pablo II

PUENTE VEHICULAR								
Costos de Operación Vehicular								
COV (\$/km)			Situación Sin Proyecto			TC		
Costo de Operación (\$/veh/km)			Costo de Operación (\$)			1.40%		
Año	A	B	C	A	B	C	Total	
0	2021			-	-	-	-	
1	2022	\$6.34	\$15.97	\$11.50	\$21,458,559.16	\$729,682.23	\$2,690,746.90	\$24,878,988.29
2	2023	\$6.43	\$16.19	\$11.66	\$22,063,604.69	\$750,256.35	\$2,766,615.20	\$25,580,476.24
3	2024	\$6.52	\$16.42	\$11.82	\$22,685,710.09	\$771,410.57	\$2,844,622.69	\$26,301,743.35
4	2025	\$6.61	\$16.65	\$11.99	\$23,325,356.37	\$793,161.27	\$2,924,829.67	\$27,043,347.31
5	2026	\$6.70	\$16.88	\$12.15	\$23,983,038.12	\$815,525.24	\$3,007,298.16	\$27,805,861.53
6	2027	\$6.79	\$17.11	\$12.33	\$24,659,263.86	\$838,519.79	\$3,092,091.94	\$28,589,875.60
7	2028	\$6.89	\$17.35	\$12.50	\$25,354,556.47	\$862,162.70	\$3,179,276.57	\$29,395,995.73
8	2029	\$6.99	\$17.60	\$12.67	\$26,069,453.54	\$886,472.23	\$3,268,919.45	\$30,224,845.23
9	2030	\$7.08	\$17.84	\$12.85	\$26,804,507.85	\$911,467.21	\$3,361,089.90	\$31,077,064.96
10	2031	\$7.18	\$18.09	\$13.03	\$27,560,287.76	\$937,166.94	\$3,455,859.19	\$31,953,313.88
11	2032	\$7.28	\$18.35	\$13.21	\$28,337,377.63	\$963,591.29	\$3,553,300.60	\$32,854,269.52
12	2033	\$7.39	\$18.60	\$13.40	\$29,136,378.33	\$990,760.71	\$3,653,489.46	\$33,780,628.51
13	2034	\$7.49	\$18.86	\$13.58	\$29,957,907.65	\$1,018,696.20	\$3,756,503.25	\$34,733,107.11
14	2035	\$7.59	\$19.13	\$13.78	\$30,802,600.82	\$1,047,419.36	\$3,862,421.62	\$35,712,441.80
15	2036	\$7.70	\$19.40	\$13.97	\$31,671,110.95	\$1,076,952.40	\$3,971,326.46	\$36,719,389.81
16	2037	\$7.81	\$19.67	\$14.16	\$32,564,109.59	\$1,107,318.15	\$4,083,301.98	\$37,754,729.72
17	2038	\$7.92	\$19.94	\$14.36	\$33,482,287.23	\$1,138,540.09	\$4,198,434.76	\$38,819,262.08
18	2039	\$8.03	\$20.22	\$14.56	\$34,426,353.80	\$1,170,642.37	\$4,316,813.83	\$39,913,809.99
19	2040	\$8.14	\$20.50	\$14.77	\$35,397,039.27	\$1,203,649.80	\$4,438,530.71	\$41,039,219.78
20	2041	\$8.25	\$20.79	\$14.97	\$36,395,094.19	\$1,237,587.91	\$4,563,679.52	\$42,196,361.62
21	2042	\$8.37	\$21.08	\$15.18	\$37,421,290.27	\$1,272,482.94	\$4,692,357.03	\$43,386,130.23
22	2043	\$8.49	\$21.38	\$15.40	\$38,476,420.97	\$1,308,361.87	\$4,824,662.73	\$44,609,445.56
23	2044	\$8.61	\$21.68	\$15.61	\$39,561,302.13	\$1,345,252.44	\$4,960,698.92	\$45,867,253.49
24	2045	\$8.73	\$21.98	\$15.83	\$40,676,772.61	\$1,383,183.17	\$5,100,570.79	\$47,160,526.57
25	2046	\$8.85	\$22.29	\$16.05	\$41,823,694.89	\$1,422,183.41	\$5,244,386.48	\$48,490,264.77
26	2047	\$8.97	\$22.60	\$16.28	\$43,002,955.79	\$1,462,283.29	\$5,392,257.20	\$49,857,496.28
27	2048	\$9.10	\$22.92	\$16.50	\$44,215,467.13	\$1,503,513.83	\$5,544,297.29	\$51,263,278.24
28	2049	\$9.23	\$23.24	\$16.73	\$45,462,166.44	\$1,545,906.91	\$5,700,624.29	\$52,708,697.64
29	2050	\$9.36	\$23.56	\$16.97	\$46,744,017.68	\$1,589,495.30	\$5,861,359.09	\$54,194,872.08
30	2051	\$9.49	\$23.89	\$17.21	\$48,062,012.01	\$1,634,312.71	\$6,026,625.98	\$55,722,950.69
31	2052	\$9.62	\$24.23	\$17.45	\$49,417,168.50	\$1,680,393.79	\$6,196,552.72	\$57,294,115.01
32	2053	\$9.75	\$24.57	\$17.69	\$50,810,534.98	\$1,727,774.17	\$6,371,270.72	\$58,909,579.87
33	2054	\$9.89	\$24.91	\$17.94	\$52,243,188.83	\$1,776,490.49	\$6,550,915.07	\$60,570,594.39
34	2055	\$10.03	\$25.26	\$18.19	\$53,716,237.78	\$1,826,580.42	\$6,735,624.67	\$62,278,442.87
35	2056	\$10.17	\$25.61	\$18.45	\$55,230,820.82	\$1,878,082.68	\$6,925,542.35	\$64,034,445.84

p

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

		Valor Tiempo						
Velocidad de Recorrido (km/hr)		Situación Sin Proyecto			Valor Tiempo			Total
Año		A	B	C	A	B	C	
0	2021				-	-	-	-
1	2022	55.00	42.00	38.00	\$8,729,882.16	\$1,774,893.18	\$1,847,612.71	\$12,352,388.05
2	2023	54.23	41.41	37.47	\$8,977,789.56	\$1,825,295.83	\$1,900,080.42	\$12,703,165.81
3	2024	53.47	40.83	36.94	\$9,232,736.93	\$1,877,129.79	\$1,954,038.08	\$13,063,904.80
4	2025	52.72	40.26	36.43	\$9,494,924.19	\$1,930,435.70	\$2,009,528.00	\$13,434,887.89
5	2026	51.98	39.70	35.92	\$9,764,556.92	\$1,985,255.38	\$2,066,593.71	\$13,816,406.01
6	2027	51.26	39.14	35.41	\$10,041,846.57	\$2,041,631.80	\$2,125,279.94	\$14,208,758.31
7	2028	50.54	38.59	34.92	\$10,327,010.57	\$2,099,609.17	\$2,185,632.71	\$14,612,252.46
8	2029	49.83	38.05	34.43	\$10,620,272.54	\$2,159,232.96	\$2,247,699.36	\$15,027,204.86
9	2030	49.13	37.52	33.95	\$10,921,862.43	\$2,220,549.92	\$2,311,528.55	\$15,453,940.90
10	2031	48.45	36.99	33.47	\$11,232,016.73	\$2,283,608.14	\$2,377,170.34	\$15,892,795.21
11	2032	47.77	36.48	33.00	\$11,550,978.67	\$2,348,457.05	\$2,444,676.19	\$16,344,111.91
12	2033	47.10	35.97	32.54	\$11,878,998.35	\$2,415,147.51	\$2,514,099.04	\$16,808,244.90
13	2034	46.44	35.46	32.09	\$12,216,332.99	\$2,483,731.82	\$2,585,493.34	\$17,285,558.15
14	2035	45.79	34.97	31.64	\$12,563,247.11	\$2,554,263.76	\$2,658,915.05	\$17,776,425.92
15	2036	45.15	34.48	31.19	\$12,920,012.75	\$2,626,798.64	\$2,734,421.77	\$18,281,233.15
16	2037	44.52	33.99	30.76	\$13,286,909.66	\$2,701,393.32	\$2,812,072.69	\$18,800,375.67
17	2038	43.89	33.52	30.33	\$13,664,225.55	\$2,778,106.32	\$2,891,928.71	\$19,334,260.58
18	2039	43.28	33.05	29.90	\$14,052,256.30	\$2,856,997.78	\$2,974,052.45	\$19,883,306.52
19	2040	42.67	32.59	29.48	\$14,451,306.17	\$2,938,129.56	\$3,058,508.30	\$20,447,944.03
20	2041	42.07	32.13	29.07	\$14,861,688.09	\$3,021,565.29	\$3,145,362.49	\$21,028,615.87
21	2042	41.49	31.68	28.66	\$15,283,723.86	\$3,107,370.39	\$3,234,683.13	\$21,625,777.37
22	2043	40.91	31.24	28.26	\$15,717,744.42	\$3,195,612.14	\$3,326,540.25	\$22,239,896.81
23	2044	40.33	30.80	27.87	\$16,164,090.10	\$3,286,359.75	\$3,421,005.90	\$22,871,455.75
24	2045	39.77	30.37	27.48	\$16,623,110.91	\$3,379,684.37	\$3,518,154.14	\$23,520,949.42
25	2046	39.21	29.94	27.09	\$17,095,166.80	\$3,475,659.17	\$3,618,061.15	\$24,188,887.13
26	2047	38.66	29.52	26.71	\$17,580,627.93	\$3,574,359.44	\$3,720,805.28	\$24,875,792.65
27	2048	38.12	29.11	26.34	\$18,079,874.97	\$3,675,862.54	\$3,826,467.10	\$25,582,204.61
28	2049	37.59	28.70	25.97	\$18,593,299.41	\$3,780,248.09	\$3,935,129.45	\$26,308,676.95
29	2050	37.06	28.30	25.61	\$19,121,303.86	\$3,887,597.94	\$4,046,877.55	\$27,055,779.34
30	2051	36.54	27.90	25.25	\$19,664,302.34	\$3,997,996.25	\$4,161,799.02	\$27,824,097.62
31	2052	36.03	27.51	24.89	\$20,222,720.66	\$4,111,529.62	\$4,279,983.98	\$28,614,234.26
32	2053	35.53	27.13	24.55	\$20,796,996.71	\$4,228,287.05	\$4,401,525.11	\$29,426,808.87
33	2054	35.03	26.75	24.20	\$21,387,580.79	\$4,348,360.11	\$4,526,517.71	\$30,262,458.61
34	2055	34.54	26.37	23.86	\$21,994,936.03	\$4,471,842.95	\$4,655,059.79	\$31,121,838.78
35	2056	34.05	26.01	23.53	\$22,619,538.67	\$4,598,832.41	\$4,787,252.16	\$32,005,623.24

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

		CGV'S Anuales (\$)			
Año		A	B	C	Total
0	2021	-	-	-	-
1	2022	\$30,188,441.32	\$2,504,575.41	\$4,538,359.62	\$37,231,376.34
2	2023	\$31,041,394.25	\$2,575,552.17	\$4,666,695.62	\$38,283,642.05
3	2024	\$31,918,447.02	\$2,648,540.36	\$4,798,660.76	\$39,365,648.15
4	2025	\$32,820,280.56	\$2,723,596.97	\$4,934,357.67	\$40,478,235.20
5	2026	\$33,747,595.04	\$2,800,780.62	\$5,073,891.87	\$41,622,267.53
6	2027	\$34,701,110.44	\$2,880,151.59	\$5,217,371.88	\$42,798,633.91
7	2028	\$35,681,567.04	\$2,961,771.87	\$5,364,909.28	\$44,008,248.19
8	2029	\$36,689,726.08	\$3,045,705.20	\$5,516,618.81	\$45,252,050.09
9	2030	\$37,726,370.28	\$3,132,017.13	\$5,672,618.46	\$46,531,005.86
10	2031	\$38,792,304.49	\$3,220,775.07	\$5,833,029.53	\$47,846,109.09
11	2032	\$39,888,356.30	\$3,312,048.34	\$5,997,976.79	\$49,198,381.43
12	2033	\$41,015,376.68	\$3,405,908.23	\$6,167,588.51	\$50,588,873.41
13	2034	\$42,174,240.64	\$3,502,428.03	\$6,341,996.59	\$52,018,665.25
14	2035	\$43,365,847.93	\$3,601,683.12	\$6,521,336.67	\$53,488,867.72
15	2036	\$44,591,123.70	\$3,703,751.03	\$6,705,748.23	\$55,000,622.96
16	2037	\$45,851,019.25	\$3,808,711.47	\$6,895,374.67	\$56,555,105.39
17	2038	\$47,146,512.78	\$3,916,646.41	\$7,090,363.47	\$58,153,522.66
18	2039	\$48,478,610.10	\$4,027,640.14	\$7,290,866.27	\$59,797,116.51
19	2040	\$49,848,345.44	\$4,141,779.36	\$7,497,039.01	\$61,487,163.81
20	2041	\$51,256,782.28	\$4,259,153.19	\$7,709,042.01	\$63,224,977.49
21	2042	\$52,705,014.13	\$4,379,853.32	\$7,927,040.16	\$65,011,907.61
22	2043	\$54,194,165.38	\$4,503,974.01	\$8,151,202.98	\$66,849,342.37
23	2044	\$55,725,392.23	\$4,631,612.18	\$8,381,704.82	\$68,738,709.23
24	2045	\$57,299,883.52	\$4,762,867.54	\$8,618,724.93	\$70,681,475.99
25	2046	\$58,918,861.69	\$4,897,842.58	\$8,862,447.63	\$72,679,151.91
26	2047	\$60,583,583.72	\$5,036,642.73	\$9,113,062.49	\$74,733,288.93
27	2048	\$62,295,342.10	\$5,179,376.37	\$9,370,764.38	\$76,845,482.85
28	2049	\$64,055,465.85	\$5,326,155.00	\$9,635,753.74	\$79,017,374.59
29	2050	\$65,865,321.54	\$5,477,093.23	\$9,908,236.64	\$81,250,651.42
30	2051	\$67,726,314.35	\$5,632,308.96	\$10,188,425.00	\$83,547,048.31
31	2052	\$69,639,889.16	\$5,791,923.41	\$10,476,536.70	\$85,908,349.27
32	2053	\$71,607,531.69	\$5,956,061.22	\$10,772,795.83	\$88,336,388.74
33	2054	\$73,630,769.62	\$6,124,850.60	\$11,077,432.78	\$90,833,053.00
34	2055	\$75,711,173.81	\$6,298,423.37	\$11,390,684.47	\$93,400,281.64
35	2056	\$77,850,359.49	\$6,476,915.09	\$11,712,794.51	\$96,040,069.09

Fuente: Elaboración propia

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

Tabla 24 Costos representativos Lateral 1 (Coacalco-Ecatepec)

LATERAL 1 (SENTIDO COACALCO-ECATEPEC)								
Costos de Operación Vehicular								
COV (\$/km)			Situación Sin Proyecto			TC		
Costo de Operación (\$/veh/km)			Costo de Operación (\$)			1.40%		
Año	A	B	C	A	B	C	Total	
0	2021			-	-	-	-	
1	2022	\$8.28	\$19.22	\$14.61	\$10,314,253.32	\$1,308,724.04	\$5,458,040.36	\$17,081,017.72
2	2023	\$8.40	\$19.49	\$14.81	\$10,605,074.01	\$1,345,624.82	\$5,611,935.27	\$17,562,634.09
3	2024	\$8.52	\$19.76	\$15.02	\$10,904,094.68	\$1,383,566.06	\$5,770,169.39	\$18,057,830.13
4	2025	\$8.64	\$20.04	\$15.23	\$11,211,546.53	\$1,422,577.08	\$5,932,865.09	\$18,566,988.70
5	2026	\$8.76	\$20.32	\$15.45	\$11,527,667.30	\$1,462,688.07	\$6,100,148.15	\$19,090,503.52
6	2027	\$8.88	\$20.61	\$15.66	\$11,852,701.40	\$1,503,930.02	\$6,272,147.93	\$19,628,779.35
7	2028	\$9.00	\$20.89	\$15.88	\$12,186,900.17	\$1,546,334.83	\$6,448,997.41	\$20,182,232.42
8	2029	\$9.13	\$21.19	\$16.10	\$12,530,522.01	\$1,589,935.29	\$6,630,833.34	\$20,751,290.64
9	2030	\$9.26	\$21.48	\$16.33	\$12,883,832.61	\$1,634,765.10	\$6,817,796.32	\$21,336,394.03
10	2031	\$9.39	\$21.78	\$16.56	\$13,247,105.15	\$1,680,858.94	\$7,010,030.91	\$21,937,995.00
11	2032	\$9.52	\$22.09	\$16.79	\$13,620,620.53	\$1,728,252.44	\$7,207,685.74	\$22,556,558.71
12	2033	\$9.65	\$22.40	\$17.02	\$14,004,667.55	\$1,776,982.25	\$7,410,913.64	\$23,192,563.44
13	2034	\$9.79	\$22.71	\$17.26	\$14,399,543.15	\$1,827,086.04	\$7,619,871.77	\$23,846,500.95
14	2035	\$9.93	\$23.03	\$17.50	\$14,805,552.67	\$1,878,602.55	\$7,834,721.67	\$24,518,876.89
15	2036	\$10.06	\$23.35	\$17.75	\$15,223,010.03	\$1,931,571.63	\$8,055,629.48	\$25,210,211.15
16	2037	\$10.21	\$23.68	\$18.00	\$15,652,238.02	\$1,986,034.23	\$8,282,766.01	\$25,921,038.26
17	2038	\$10.35	\$24.01	\$18.25	\$16,093,568.53	\$2,042,032.45	\$8,516,306.88	\$26,651,907.86
18	2039	\$10.49	\$24.35	\$18.50	\$16,547,342.79	\$2,099,609.59	\$8,756,432.67	\$27,403,385.05
19	2040	\$10.64	\$24.69	\$18.76	\$17,013,911.66	\$2,158,810.19	\$9,003,329.05	\$28,176,050.89
20	2041	\$10.79	\$25.03	\$19.03	\$17,493,635.92	\$2,219,680.00	\$9,257,186.91	\$28,970,502.83
21	2042	\$10.94	\$25.38	\$19.29	\$17,986,886.47	\$2,282,266.09	\$9,518,202.55	\$29,787,355.12
22	2043	\$11.09	\$25.74	\$19.56	\$18,494,044.73	\$2,346,616.87	\$9,786,577.79	\$30,627,239.39
23	2044	\$11.25	\$26.10	\$19.84	\$19,015,502.81	\$2,412,782.08	\$10,062,520.14	\$31,490,805.03
24	2045	\$11.41	\$26.47	\$20.11	\$19,551,663.93	\$2,480,812.88	\$10,346,242.96	\$32,378,719.77
25	2046	\$11.57	\$26.84	\$20.40	\$20,102,942.64	\$2,550,761.88	\$10,637,965.63	\$33,291,670.15
26	2047	\$11.73	\$27.21	\$20.68	\$20,669,765.21	\$2,622,683.16	\$10,937,913.70	\$34,230,362.08
27	2048	\$11.89	\$27.59	\$20.97	\$21,252,569.91	\$2,696,632.34	\$11,246,319.12	\$35,195,521.37
28	2049	\$12.06	\$27.98	\$21.27	\$21,851,807.38	\$2,772,666.58	\$11,563,420.33	\$36,187,894.29
29	2050	\$12.23	\$28.37	\$21.56	\$22,467,940.94	\$2,850,844.69	\$11,889,462.53	\$37,208,248.16
30	2051	\$12.40	\$28.77	\$21.86	\$23,101,447.00	\$2,931,227.11	\$12,224,697.82	\$38,257,371.93
31	2052	\$12.57	\$29.17	\$22.17	\$23,752,815.40	\$3,013,875.99	\$12,569,385.40	\$39,336,076.78
32	2053	\$12.75	\$29.58	\$22.48	\$24,422,549.78	\$3,098,855.24	\$12,923,791.79	\$40,445,196.81
33	2054	\$12.93	\$29.99	\$22.80	\$25,111,168.00	\$3,186,230.56	\$13,288,191.02	\$41,585,589.57
34	2055	\$13.11	\$30.41	\$23.11	\$25,819,202.49	\$3,276,069.51	\$13,662,864.86	\$42,758,136.86
35	2056	\$13.29	\$30.84	\$23.44	\$26,547,200.72	\$3,368,441.57	\$14,048,102.99	\$43,963,745.29

p

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

		Valor Tiempo						
Velocidad de Recorrido (km/hr)		Situación Sin Proyecto			Valor Tiempo			Total
Año		A	B	C	A	B	C	
0	2021				-	-	-	-
1	2022	28.00	25.00	22.00	\$6,306,603.79	\$4,441,784.97	\$5,094,419.48	\$15,842,808.25
2	2023	27.61	24.65	21.69	\$6,485,695.99	\$4,567,920.85	\$5,239,088.59	\$16,292,705.44
3	2024	27.22	24.30	21.39	\$6,669,873.97	\$4,697,638.69	\$5,387,865.96	\$16,755,378.61
4	2025	26.84	23.96	21.09	\$6,859,282.16	\$4,831,040.19	\$5,540,868.23	\$17,231,190.58
5	2026	26.46	23.63	20.79	\$7,054,069.07	\$4,968,229.97	\$5,698,215.41	\$17,720,514.45
6	2027	26.09	23.30	20.50	\$7,254,387.47	\$5,109,315.61	\$5,860,030.85	\$18,223,733.93
7	2028	25.73	22.97	20.22	\$7,460,394.41	\$5,254,407.74	\$6,026,441.47	\$18,741,243.62
8	2029	25.37	22.65	19.93	\$7,672,251.45	\$5,403,620.13	\$6,197,577.73	\$19,273,449.32
9	2030	25.01	22.33	19.65	\$7,890,124.72	\$5,557,069.79	\$6,373,573.86	\$19,820,768.37
10	2031	24.66	22.02	19.38	\$8,114,185.06	\$5,714,877.04	\$6,554,567.84	\$20,383,629.94
11	2032	24.32	21.71	19.11	\$8,344,608.16	\$5,877,165.64	\$6,740,701.61	\$20,962,475.42
12	2033	23.98	21.41	18.84	\$8,581,574.72	\$6,044,062.84	\$6,932,121.13	\$21,557,758.69
13	2034	23.64	21.11	18.58	\$8,825,270.56	\$6,215,699.51	\$7,128,976.50	\$22,169,946.57
14	2035	23.31	20.81	18.32	\$9,075,886.76	\$6,392,210.25	\$7,331,422.08	\$22,799,519.09
15	2036	22.98	20.52	18.06	\$9,333,619.85	\$6,573,733.46	\$7,539,616.62	\$23,446,969.93
16	2037	22.66	20.23	17.81	\$9,598,671.94	\$6,760,411.49	\$7,753,723.38	\$24,112,806.81
17	2038	22.35	19.95	17.56	\$9,871,250.86	\$6,952,390.72	\$7,973,910.25	\$24,797,551.83
18	2039	22.03	19.67	17.31	\$10,151,570.35	\$7,149,821.70	\$8,200,349.89	\$25,501,741.94
19	2040	21.72	19.40	17.07	\$10,439,850.24	\$7,352,859.23	\$8,433,219.87	\$26,225,929.34
20	2041	21.42	19.12	16.83	\$10,736,316.58	\$7,561,662.53	\$8,672,702.79	\$26,970,681.90
21	2042	21.12	18.86	16.59	\$11,041,201.83	\$7,776,395.34	\$8,918,986.44	\$27,736,583.61
22	2043	20.82	18.59	16.36	\$11,354,745.09	\$7,997,226.04	\$9,172,263.94	\$28,524,235.08
23	2044	20.53	18.33	16.13	\$11,677,192.21	\$8,224,327.80	\$9,432,733.91	\$29,334,253.92
24	2045	20.25	18.08	15.91	\$12,008,796.05	\$8,457,878.69	\$9,700,600.59	\$30,167,275.33
25	2046	19.96	17.82	15.68	\$12,349,816.63	\$8,698,061.86	\$9,976,074.04	\$31,023,952.52
26	2047	19.68	17.57	15.46	\$12,700,521.36	\$8,945,065.64	\$10,259,370.26	\$31,904,957.26
27	2048	19.41	17.33	15.25	\$13,061,185.25	\$9,199,083.73	\$10,550,711.40	\$32,810,980.39
28	2049	19.14	17.09	15.03	\$13,432,091.12	\$9,460,315.32	\$10,850,325.92	\$33,742,732.36
29	2050	18.87	16.85	14.82	\$13,813,529.81	\$9,728,965.25	\$11,158,448.77	\$34,700,943.83
30	2051	18.60	16.61	14.62	\$14,205,800.44	\$10,005,244.18	\$11,475,321.55	\$35,686,366.17
31	2052	18.34	16.38	14.41	\$14,609,210.59	\$10,289,368.76	\$11,801,192.75	\$36,699,772.11
32	2053	18.09	16.15	14.21	\$15,024,076.61	\$10,581,561.79	\$12,136,317.90	\$37,741,956.30
33	2054	17.83	15.92	14.01	\$15,450,723.82	\$10,882,052.39	\$12,480,959.79	\$38,813,736.00
34	2055	17.58	15.70	13.82	\$15,889,486.77	\$11,191,076.19	\$12,835,388.67	\$39,915,951.62
35	2056	17.34	15.48	13.62	\$16,340,709.51	\$11,508,875.51	\$13,199,882.47	\$41,049,467.49

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

CGV'S Anuales (\$)					
Año		A	B	C	Total
0	2021	-	-	-	-
1	2022	\$16,620,857.12	\$5,750,509.01	\$10,552,459.84	\$32,923,825.97
2	2023	\$17,090,770.00	\$5,913,545.67	\$10,851,023.86	\$33,855,339.53
3	2024	\$17,573,968.65	\$6,081,204.74	\$11,158,035.35	\$34,813,208.74
4	2025	\$18,070,828.69	\$6,253,617.28	\$11,473,733.32	\$35,798,179.29
5	2026	\$18,581,736.37	\$6,430,918.04	\$11,798,363.56	\$36,811,017.97
6	2027	\$19,107,088.87	\$6,613,245.63	\$12,132,178.78	\$37,852,513.29
7	2028	\$19,647,294.58	\$6,800,742.57	\$12,475,438.88	\$38,923,476.03
8	2029	\$20,202,773.46	\$6,993,555.42	\$12,828,411.08	\$40,024,739.96
9	2030	\$20,773,957.33	\$7,191,834.89	\$13,191,370.18	\$41,157,162.40
10	2031	\$21,361,290.21	\$7,395,735.99	\$13,564,598.75	\$42,321,624.94
11	2032	\$21,965,228.69	\$7,605,418.08	\$13,948,387.35	\$43,519,034.12
12	2033	\$22,586,242.27	\$7,821,045.09	\$14,343,034.78	\$44,750,322.13
13	2034	\$23,224,813.71	\$8,042,785.55	\$14,748,848.26	\$46,016,447.52
14	2035	\$23,881,439.43	\$8,270,812.81	\$15,166,143.75	\$47,318,395.98
15	2036	\$24,556,629.89	\$8,505,305.09	\$15,595,246.10	\$48,657,181.08
16	2037	\$25,250,909.96	\$8,746,445.72	\$16,036,489.39	\$50,033,845.07
17	2038	\$25,964,819.38	\$8,994,423.17	\$16,490,217.13	\$51,449,459.69
18	2039	\$26,698,913.14	\$9,249,431.29	\$16,956,782.56	\$52,905,126.99
19	2040	\$27,453,761.90	\$9,511,669.42	\$17,436,548.92	\$54,401,980.23
20	2041	\$28,229,952.49	\$9,781,342.53	\$17,929,889.70	\$55,941,184.72
21	2042	\$29,028,088.31	\$10,058,661.44	\$18,437,188.99	\$57,523,938.74
22	2043	\$29,848,789.82	\$10,343,842.91	\$18,958,841.73	\$59,151,474.46
23	2044	\$30,692,695.02	\$10,637,109.88	\$19,495,254.05	\$60,825,058.95
24	2045	\$31,560,459.98	\$10,938,691.57	\$20,046,843.55	\$62,545,995.10
25	2046	\$32,452,759.27	\$11,248,823.74	\$20,614,039.66	\$64,315,622.67
26	2047	\$33,370,286.57	\$11,567,748.81	\$21,197,283.96	\$66,135,319.34
27	2048	\$34,313,755.17	\$11,895,716.07	\$21,797,030.52	\$68,006,501.76
28	2049	\$35,283,898.50	\$12,232,981.90	\$22,413,746.26	\$69,930,626.66
29	2050	\$36,281,470.75	\$12,579,809.94	\$23,047,911.30	\$71,909,191.99
30	2051	\$37,307,247.44	\$12,936,471.29	\$23,700,019.37	\$73,943,738.10
31	2052	\$38,362,025.99	\$13,303,244.75	\$24,370,578.15	\$76,035,848.89
32	2053	\$39,446,626.39	\$13,680,417.02	\$25,060,109.69	\$78,187,153.11
33	2054	\$40,561,891.81	\$14,068,282.94	\$25,769,150.81	\$80,399,325.57
34	2055	\$41,708,689.25	\$14,467,145.70	\$26,498,253.53	\$82,674,088.48
35	2056	\$42,887,910.24	\$14,877,317.08	\$27,247,985.46	\$85,013,212.78

Fuente: Elaboración propia

U

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

Tabla 25 Costos Representativos de la Lateral 2 (Ecatepec-Coacalco)

LATERAL 2 (SENTIDO ECATEPEC-COACALCO)								
Costos de Operación Vehicular								
COV (\$/km)			Situación Sin Proyecto			TC		
Costo de Operación (\$/veh/km)			Costo de Operación (\$)			1.40%		
Año	A	B	C	A	B	C	Total	
0	2021			-	-	-	-	
1	2022	\$8.61	\$19.58	\$14.61	\$11,722,173.84	\$1,333,381.75	\$4,967,549.78	\$18,023,105.37
2	2023	\$8.74	\$19.86	\$14.81	\$12,052,692.26	\$1,370,977.78	\$5,107,614.81	\$18,531,284.85
3	2024	\$8.86	\$20.14	\$15.02	\$12,392,529.97	\$1,409,633.87	\$5,251,629.12	\$19,053,792.96
4	2025	\$8.98	\$20.42	\$15.23	\$12,741,949.74	\$1,449,379.91	\$5,399,704.06	\$19,591,033.71
5	2026	\$9.11	\$20.70	\$15.45	\$13,101,221.76	\$1,490,246.62	\$5,551,954.11	\$20,143,422.49
6	2027	\$9.23	\$20.99	\$15.66	\$13,470,623.81	\$1,532,265.62	\$5,708,497.01	\$20,711,386.43
7	2028	\$9.36	\$21.29	\$15.88	\$13,850,441.52	\$1,575,469.38	\$5,869,453.79	\$21,295,364.69
8	2029	\$9.50	\$21.59	\$16.10	\$14,240,968.56	\$1,619,891.31	\$6,034,948.91	\$21,895,808.79
9	2030	\$9.63	\$21.89	\$16.33	\$14,642,506.91	\$1,665,565.77	\$6,205,110.33	\$22,513,183.01
10	2031	\$9.76	\$22.19	\$16.56	\$15,055,367.04	\$1,712,528.06	\$6,380,069.62	\$23,147,964.72
11	2032	\$9.90	\$22.51	\$16.79	\$15,479,868.17	\$1,760,814.50	\$6,559,962.06	\$23,800,644.73
12	2033	\$10.04	\$22.82	\$17.02	\$15,916,338.53	\$1,810,462.43	\$6,744,926.75	\$24,471,727.71
13	2034	\$10.18	\$23.14	\$17.26	\$16,365,115.61	\$1,861,510.23	\$6,935,106.71	\$25,161,732.55
14	2035	\$10.32	\$23.46	\$17.50	\$16,826,546.41	\$1,913,997.37	\$7,130,648.98	\$25,871,192.76
15	2036	\$10.47	\$23.79	\$17.75	\$17,300,987.71	\$1,967,964.44	\$7,331,704.76	\$26,600,656.91
16	2037	\$10.61	\$24.13	\$18.00	\$17,788,806.36	\$2,023,453.16	\$7,538,429.50	\$27,350,689.03
17	2038	\$10.76	\$24.46	\$18.25	\$18,290,379.55	\$2,080,506.45	\$7,750,983.06	\$28,121,869.06
18	2039	\$10.91	\$24.81	\$18.50	\$18,806,095.09	\$2,139,168.41	\$7,969,529.78	\$28,914,793.28
19	2040	\$11.06	\$25.15	\$18.76	\$19,336,351.75	\$2,199,484.40	\$8,194,238.64	\$29,730,074.79
20	2041	\$11.22	\$25.51	\$19.03	\$19,881,559.52	\$2,261,501.06	\$8,425,283.39	\$30,568,343.98
21	2042	\$11.38	\$25.86	\$19.29	\$20,442,139.97	\$2,325,266.35	\$8,662,842.68	\$31,430,249.01
22	2043	\$11.54	\$26.22	\$19.56	\$21,018,526.55	\$2,390,829.56	\$8,907,100.20	\$32,316,456.31
23	2044	\$11.70	\$26.59	\$19.84	\$21,611,164.93	\$2,458,241.39	\$9,158,244.79	\$33,227,651.11
24	2045	\$11.86	\$26.96	\$20.11	\$22,220,513.33	\$2,527,553.96	\$9,416,470.66	\$34,164,537.96
25	2046	\$12.03	\$27.34	\$20.40	\$22,847,042.93	\$2,598,820.87	\$9,681,977.47	\$35,127,841.27
26	2047	\$12.20	\$27.72	\$20.68	\$23,491,238.15	\$2,672,097.23	\$9,954,970.51	\$36,118,305.89
27	2048	\$12.37	\$28.11	\$20.97	\$24,153,597.10	\$2,747,439.68	\$10,235,660.86	\$37,136,697.64
28	2049	\$12.54	\$28.51	\$21.27	\$24,834,631.92	\$2,824,906.49	\$10,524,265.55	\$38,183,803.96
29	2050	\$12.71	\$28.90	\$21.56	\$25,534,869.21	\$2,904,557.55	\$10,821,007.74	\$39,260,434.50
30	2051	\$12.89	\$29.31	\$21.86	\$26,254,850.38	\$2,986,454.46	\$11,126,116.88	\$40,367,421.71
31	2052	\$13.07	\$29.72	\$22.17	\$26,995,132.14	\$3,070,660.53	\$11,439,828.87	\$41,505,621.53
32	2053	\$13.26	\$30.14	\$22.48	\$27,756,286.88	\$3,157,240.87	\$11,762,386.28	\$42,675,914.04
33	2054	\$13.44	\$30.56	\$22.80	\$28,538,903.15	\$3,246,262.44	\$12,094,038.53	\$43,879,204.11
34	2055	\$13.63	\$30.99	\$23.11	\$29,343,586.06	\$3,337,794.05	\$12,435,042.04	\$45,116,422.15
35	2056	\$13.82	\$31.42	\$23.44	\$30,170,957.82	\$3,431,906.49	\$12,785,660.48	\$46,388,524.79

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

Valor Tiempo								
Velocidad de Recorrido (km/hr)			Situación Sin Proyecto			Total		
Año	A	B	C	A	B		C	
0	2021				-	-	-	
1	2022	26.00	24.00	22.00	\$7,422,661.16	\$4,626,957.21	\$4,636,605.94	\$16,686,224.31
2	2023	25.64	23.66	21.69	\$7,633,446.67	\$4,758,351.53	\$4,768,274.26	\$17,160,072.46
3	2024	25.28	23.33	21.39	\$7,850,217.97	\$4,893,477.13	\$4,903,681.65	\$17,647,376.75
4	2025	24.92	23.01	21.09	\$8,073,145.05	\$5,032,439.97	\$5,042,934.27	\$18,148,519.29
5	2026	24.57	22.68	20.79	\$8,302,402.72	\$5,175,349.02	\$5,186,141.33	\$18,663,893.07
6	2027	24.23	22.37	20.50	\$8,538,170.75	\$5,322,316.33	\$5,333,415.12	\$19,193,902.20
7	2028	23.89	22.05	20.22	\$8,780,634.02	\$5,473,457.16	\$5,484,871.13	\$19,738,962.30
8	2029	23.56	21.74	19.93	\$9,029,982.65	\$5,628,890.02	\$5,640,628.12	\$20,299,500.79
9	2030	23.23	21.44	19.65	\$9,286,412.18	\$5,788,736.80	\$5,800,808.22	\$20,875,957.20
10	2031	22.90	21.14	19.38	\$9,550,123.68	\$5,953,122.83	\$5,965,537.06	\$21,468,783.57
11	2032	22.58	20.84	19.11	\$9,821,323.95	\$6,122,177.03	\$6,134,943.79	\$22,078,444.77
12	2033	22.26	20.55	18.84	\$10,100,225.64	\$6,296,031.95	\$6,309,161.26	\$22,705,418.86
13	2034	21.95	20.26	18.58	\$10,387,047.47	\$6,474,823.94	\$6,488,326.08	\$23,350,197.49
14	2035	21.65	19.98	18.32	\$10,682,014.33	\$6,658,693.18	\$6,672,578.75	\$24,013,286.26
15	2036	21.34	19.70	18.06	\$10,985,357.54	\$6,847,783.85	\$6,862,063.75	\$24,695,205.14
16	2037	21.04	19.43	17.81	\$11,297,314.95	\$7,042,244.25	\$7,056,929.65	\$25,396,488.85
17	2038	20.75	19.15	17.56	\$11,618,131.20	\$7,242,226.84	\$7,257,329.28	\$26,117,687.32
18	2039	20.46	18.89	17.31	\$11,948,057.84	\$7,447,888.46	\$7,463,419.77	\$26,859,366.07
19	2040	20.17	18.62	17.07	\$12,287,353.61	\$7,659,390.36	\$7,675,362.72	\$27,622,106.69
20	2041	19.89	18.36	16.83	\$12,636,284.54	\$7,876,898.40	\$7,893,324.34	\$28,406,507.28
21	2042	19.61	18.10	16.59	\$12,995,124.26	\$8,100,583.14	\$8,117,475.54	\$29,213,182.94
22	2043	19.34	17.85	16.36	\$13,364,154.16	\$8,330,619.99	\$8,347,992.08	\$30,042,766.23
23	2044	19.07	17.60	16.13	\$13,743,663.61	\$8,567,189.32	\$8,585,054.74	\$30,895,907.67
24	2045	18.80	17.35	15.91	\$14,133,950.20	\$8,810,476.64	\$8,828,849.40	\$31,773,276.24
25	2046	18.54	17.11	15.68	\$14,535,319.99	\$9,060,672.73	\$9,079,567.23	\$32,675,559.95
26	2047	18.28	16.87	15.46	\$14,948,087.69	\$9,317,973.79	\$9,337,404.84	\$33,603,466.32
27	2048	18.02	16.63	15.25	\$15,372,577.00	\$9,582,581.56	\$9,602,564.41	\$34,557,722.97
28	2049	17.77	16.40	15.03	\$15,809,120.77	\$9,854,703.55	\$9,875,253.86	\$35,539,078.18
29	2050	17.52	16.17	14.82	\$16,258,061.32	\$10,134,553.15	\$10,155,687.04	\$36,548,301.50
30	2051	17.27	15.95	14.62	\$16,719,750.68	\$10,422,349.79	\$10,444,083.83	\$37,586,184.30
31	2052	17.03	15.72	14.41	\$17,194,550.91	\$10,718,319.15	\$10,740,670.39	\$38,653,540.45
32	2053	16.79	15.50	14.21	\$17,682,834.30	\$11,022,693.33	\$11,045,679.28	\$39,751,206.91
33	2054	16.56	15.29	14.01	\$18,184,983.75	\$11,335,710.99	\$11,359,349.69	\$40,880,044.43
34	2055	16.33	15.07	13.82	\$18,701,393.03	\$11,657,617.59	\$11,681,927.57	\$42,040,938.18
35	2056	16.10	14.86	13.62	\$19,232,467.07	\$11,988,665.55	\$12,013,665.88	\$43,234,798.50

## **Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

### **"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

---

#### **Desventajas:**

\*Menor tiempo de vida útil

#### **Periodo de Vida útil:**

\*35 años, siempre y cuando se cumpla con el programa de mantenimiento adecuado, que respete la calendarización del mantenimiento rutinario, periódico y rehabilitación

De acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal la vida útil de estructuras de concreto hidráulico corresponde a 50 años. Sin embargo, el análisis del presente estudio contempla 35 años para el horizonte de evaluación ya que de acuerdo a registros históricos el puente vehicular Juan Pablo II fue construido en el año 2005.

#### **a) Mantenimiento**

A continuación, se describen los trabajos correspondientes a los mantenimientos del puente vehicular Juan Pablo II.

- **Conservación Rutinaria (Cada año)**

- \*Limpieza de las juntas de dilatación: actividades que se realizan para retirar suelos, vegetación, basura y todo material que se acumule en las juntas de dilatación, con el propósito de evitar que se generen esfuerzos sobre ellas que produzcan grietas o fisuras.

- \*Limpieza de la superficie de rodadura: actividades que se realizan sobre la superficie de pavimento con el propósito de eliminar objetos sólidos, materiales pulverulentos, sustancias líquidas y semilíquidas que afecten la comodidad y seguridad del usuario.

- \*Bacheo superficial aislado: Reposición de una parte de la carpeta asfáltica que presenta daños como oquedades por desprendimiento o desintegración inicial de los agregados, en zonas relativamente pequeñas, cuando la base del pavimento se encuentra en condiciones estables y sin exceso de agua.

- \*Bacheo superficial profundo: reposición de una porción del pavimento asfáltico que presenta daños como deformaciones y oquedades por desprendimiento o desintegración en zonas relativamente pequeñas, cuando las capas subyacentes del pavimento se encuentran en condiciones inestables o con exceso de agua.

- \*Señalamiento horizontal: marcas que se pintan o colocan sobre el pavimento, guarniciones y estructuras, con el propósito de delinear las características geométricas de las carreteras y vialidades urbanas, y denotar todos aquellos elementos estructurales que estén instalados dentro del derecho de vía, para regular y canalizar el tránsito de vehículos y peatones, así como proporcionar información a los usuarios.

- \*Pintura en columnas: recubrimiento y acabo en estructuras.



## **Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

### **"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

---

- **Conservación Periódica (Cada 3 años)**

- \*Limpieza de las juntas de dilatación: actividades que se realizan para retirar suelos, vegetación, basura y todo material que se acumule en las juntas de dilatación, con el propósito de evitar que se generen esfuerzos sobre ellas que produzcan grietas o fisuras.

- \*Reposición del sello de las juntas de dilatación: actividades necesarias en puentes y estructuras con el propósito de prevenir la entrada de cuerpos extraños y del agua a dichas juntas, a la vez que se permite el movimiento libre de las mismas debido a los cambios de temperatura, evitando así su degradación o deterioro.

- \*Limpieza de la superficie de rodadura: actividades que se realizan sobre la superficie de pavimento con el propósito de eliminar objetos sólidos, materiales pulverulentos, sustancias líquidas y semilíquidas que afecten la comodidad y seguridad del usuario.

- \*Bacheo superficial aislado: Reposición de una parte de la carpeta asfáltica que presenta daños como oquedades por desprendimiento o desintegración inicial de los agregados, en zonas relativamente pequeñas, cuando la base del pavimento se encuentra en condiciones estables y sin exceso de agua.

- \*Bacheo superficial profundo: reposición de una porción del pavimento asfáltico que presenta daños como deformaciones y oquedades por desprendimiento o desintegración en zonas relativamente pequeñas, cuando las capas subyacentes del pavimento se encuentran en condiciones inestables o con exceso de agua.

- \*Renivelación de la superficie: corrección de las deformaciones permanentes tales como roderas, depresiones y corrugaciones, entre otras, con el propósito de restablecer las características geométricas, de drenaje superficial, de seguridad y comodidad de la carretera.

- \*Señalamiento horizontal: marcas que se pintan o colocan sobre el pavimento, guarniciones y estructuras, con el propósito de delinear las características geométricas de las carreteras y vialidades urbanas, y denotar todos aquellos elementos estructurales que estén instalados dentro del derecho de vía, para regular y canalizar el tránsito de vehículos y peatones, así como proporcionar información a los usuarios.

- \*Pintura en columnas: recubrimiento y acabo en estructuras.

- **Rehabilitación (Cada 10 años):**

- \*Reposición de las juntas de dilatación: para restituir sus condiciones originales de operación.

- \*Limpieza de la superficie de rodadura: actividades que se realizan sobre la superficie de pavimento con el propósito de eliminar objetos sólidos, materiales pulverulentos, sustancias líquidas y semilíquidas que afecten la comodidad y seguridad del usuario.

- \*Fresado de la superficie: actividades que se realizan para eliminar las deformaciones superficiales en carpetas asfálticas o para retirar carpetas

### **Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

#### **"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

deterioradas con el fin de mejorar las características de comodidad, fricción de la superficie de rodadura o para desplantar la nueva capa de rodadura.

\*Base hidráulica: capa de apoyo para una carpeta asfáltica.

\*Carpeta asfáltica: tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos de granulometría densa y cemento asfáltico, para proporcionar al usuario una superficie de rodadura uniforme.

\*Señalamiento horizontal: marcas que se pintan o colocan sobre el pavimento, guarniciones y estructuras, con el propósito de delinear las características geométricas de las carreteras y vialidades urbanas, y denotar todos aquellos elementos estructurales que estén instalados dentro del derecho de vía, para regular y canalizar el tránsito de vehículos y peatones, así como proporcionar información a los usuarios.

\*Pintura en columnas: recubrimiento y acabo en estructuras.

Los costos de mantenimiento se presentan a continuación de acuerdo a la etapa de operación:

Tabla 26 Mantenimiento de la Alternativa A

<b>Mantenimiento Alternativa A</b>			
<b>Mantenimiento</b>	<b>Periodo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Monto S/IVA</b>
Rutinario	1 año	Limpieza de las juntas de dilatación, limpieza de la superficie de rodadura, bacheo superficial aislado, bacheo superficial profundo, señalamiento horizontal y pintura en columnas.	\$457,900.00
Conservación Periódica	3 años	Limpieza de las juntas de dilatación, reposición del sello de juntas de dilatación, limpieza de la superficie de rodadura, bacheo superficial aislado, bacheo superficial profundo, renivelaciones, señalamiento horizontal y pintura en trabes y columnas.	\$941,100.00
Rehabilitación	10 años	Reposición de las juntas de dilatación, limpieza de la superficie de rodadura, fresado del pavimento, base hidráulica, reposición de la carpeta asfáltica, señalamiento horizontal y pintura en trabes y columnas.	\$5,150,800.00
Reconstrucción	Para efecto de este proyecto no se considerará una reconstrucción como mantenimiento, ya que de ser así, se tendría de nuevo el inicio del presente estudio, siendo que, como mantenimiento mayor se contempla una rehabilitación cada 10 años.		

Fuente: SCT/ Costos Paramétricos SHCP.

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

**c) Costos por Molestia**

Aunado a lo anterior y para no sobre valorar los beneficios del proyecto se considerarán costos por molestias durante la ejecución; los cuales se presentan durante la construcción del proyecto.

Sin embargo, debido a que la metodología del CEPEP 2004 no considera los costos por molestias se tomara como referencia exclusiva la Metodología para la Evaluación de Proyectos de Carreteras para los costos por molestia.

Los costos por molestias son resultado del incremento temporal del CGV provocado por la congestión existente durante la construcción del proyecto. De acuerdo a la Metodología para la Evaluación de Proyectos de Carreteras los costos por molestia se calculan de la siguiente manera: <sup>10</sup>

$$\text{Costos por Molestias} = CGV_c - CGV_0$$

Dónde:

CGV<sub>c</sub> es el costo generalizado durante la ejecución del proyecto

CGV<sub>0</sub> es el costo generalizado de viaje de la situación sin proyecto

Para el caso del presente proyecto se considera que se cerrará un cuerpo del puente vehicular durante los trabajos y se abrirá la otra calzada de dos carriles ocupando un carril por sentido de circulación.

De acuerdo al calendario de actividades la ejecución de estos trabajos consistirá en 3 meses, por lo tanto, los costos por molestia de la Alternativa A son:

Tabla 27 Calendario de actividades

Calendario de actividades				
CONCEPTO	IMPORTE	MES 1	MES 2	MES 3
TERRACERÍAS	\$342,565.40	\$171,282.70	\$171,282.70	
ESTRUCTURAS	\$48,102,389.70	\$19,240,955.88	\$19,240,955.88	\$9,620,477.94
PAVIMENTOS	\$2,250,168.00		\$1,125,084.00	\$1,125,084.00
SEÑALAMIENTO	\$649,876.90			\$649,876.90
TOTAL, MENSUAL		\$19,412,238.58	\$20,537,322.58	\$11,395,438.84
TOTAL, ACUMULADO	\$51,345,000.00	\$19,412,238.58	\$39,949,561.16	\$51,345,000.00
% MENSUAL		37.807%	39.999%	22.194%
%ACUMULADO		37.807%	77.806%	100.000%

Fuente: Elaboración propia

<sup>10</sup> Metodología para la Evaluación de Proyectos de Carreteras, Parte 2.

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/21457/Met\\_Carreteras\\_Parte2.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/21457/Met_Carreteras_Parte2.pdf)

**Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

**"Rehabilitación del puente vehicular Juan Pablo II en el municipio de Coacalco"**

Tabla 28 Costos por molestia de la Alternativa A

Alternativa	Tiempo de ejecución (Meses)	Costo por Molestia mensual	Costo por Molestia Total
Alternativa A	3	\$3,653,945.93	\$43,847,351.14

Fuente: Elaborado por la Junta de Caminos del Estado de México, 2019

**d) CAE**

Se prosiguió a realizar el análisis del Costo Anual Equivalente (CAE) de la propuesta A, el cual se presenta a continuación:

Tabla 29 Costo Anual Equivalente de la Alternativa A

Alternativa A						
Inversión C/IVA		Inversión S/IVA		Tasa de descuento	Vida útil (Años)	
\$ 51,345,000.00		\$44,262,931.04		10.00%	35	
Año	Inversión	Mantenimiento	Molestias	Total	VPC	CAE
0	\$44,262,931.04		\$ 10,961,837.79	\$ 55,224,768.82	\$ 55,224,768.82	\$ 5,726,239.99
1		\$ 457,900.00		\$ 457,900.00	\$ 416,272.73	\$ 43,163.20
2		\$ 457,900.00		\$ 457,900.00	\$ 378,429.75	\$ 39,239.27
3		\$ 941,100.00		\$ 941,100.00	\$ 707,062.36	\$ 73,315.09
4		\$ 457,900.00		\$ 457,900.00	\$ 312,751.86	\$ 32,429.15
5		\$ 457,900.00		\$ 457,900.00	\$ 284,319.87	\$ 29,481.04
6		\$ 941,100.00		\$ 941,100.00	\$ 531,226.42	\$ 55,082.71
7		\$ 457,900.00		\$ 457,900.00	\$ 234,975.10	\$ 24,364.50
8		\$ 457,900.00		\$ 457,900.00	\$ 213,613.73	\$ 22,149.54
9		\$ 941,100.00		\$ 941,100.00	\$ 399,118.27	\$ 41,384.46
10		\$ 5,150,800.00		\$ 5,150,800.00	\$ 1,985,856.38	\$ 205,912.86
11		\$ 457,900.00		\$ 457,900.00	\$ 160,491.16	\$ 16,641.28
12		\$ 941,100.00		\$ 941,100.00	\$ 299,863.46	\$ 31,092.75
13		\$ 457,900.00		\$ 457,900.00	\$ 132,637.32	\$ 13,753.12
14		\$ 457,900.00		\$ 457,900.00	\$ 120,579.38	\$ 12,502.84
15		\$ 941,100.00		\$ 941,100.00	\$ 225,291.86	\$ 23,360.45
16		\$ 457,900.00		\$ 457,900.00	\$ 99,652.38	\$ 10,332.93
17		\$ 457,900.00		\$ 457,900.00	\$ 90,593.07	\$ 9,393.57
18		\$ 941,100.00		\$ 941,100.00	\$ 169,265.11	\$ 17,551.05
19		\$ 457,900.00		\$ 457,900.00	\$ 74,870.31	\$ 7,763.28
20		\$ 5,150,800.00		\$ 5,150,800.00	\$ 765,633.60	\$ 79,388.32
21		\$ 941,100.00		\$ 941,100.00	\$ 127,171.38	\$ 13,186.36
22		\$ 457,900.00		\$ 457,900.00	\$ 56,251.17	\$ 5,832.67
23		\$ 457,900.00		\$ 457,900.00	\$ 51,137.43	\$ 5,302.42
24		\$ 941,100.00		\$ 941,100.00	\$ 95,545.74	\$ 9,907.11
25		\$ 457,900.00		\$ 457,900.00	\$ 42,262.34	\$ 4,382.17
26		\$ 457,900.00		\$ 457,900.00	\$ 38,420.31	\$ 3,983.79
27		\$ 941,100.00		\$ 941,100.00	\$ 71,784.93	\$ 7,443.36
28		\$ 457,900.00		\$ 457,900.00	\$ 31,752.32	\$ 3,292.39
29		\$ 457,900.00		\$ 457,900.00	\$ 28,865.75	\$ 2,993.08
30		\$ 5,150,800.00		\$ 5,150,800.00	\$ 295,184.90	\$ 30,607.63
31		\$ 457,900.00		\$ 457,900.00	\$ 23,855.99	\$ 2,473.62
32		\$ 457,900.00		\$ 457,900.00	\$ 21,687.26	\$ 2,248.75