

ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE LOS TRABAJOS DE REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA ÁLVARO OBREGÓN – OJO DE LA YEGUA.



CHIHUAHUA, CHIH. A 21 DE MARZO DE 2024

Contenido

I. RESUMEN EJECUTIVO	3
II. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROYECTO DE INVERSIÓN	11
A) DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	11
B) ANÁLISIS DE LA OFERTA EXISTENTE	12
C) ANÁLISIS DE LA DEMANDA ACTUAL	13
D) INTERACCIÓN DE LA OFERTA-DEMANDA.....	19
III. SITUACIÓN SIN EL DEL PROYECTO DE INVERSIÓN	25
A) OPTIMIZACIONES	25
B) ANÁLISIS DE LA OFERTA	26
C) ANÁLISIS DE LA DEMANDA	26
D) DIAGNÓSTICO DE LA INTERACCIÓN OFERTA-DEMANDA.....	28
E) ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	30
IV. SITUACIÓN CON EL PROYECTO DE INVERSIÓN.....	34
A) DESCRIPCIÓN GENERAL.....	34
B) ALINEACIÓN ESTRATÉGICA	35
C) LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	38
D) CALENDARIO DE ACTIVIDADES	39
E) MONTO TOTAL DE INVERSIÓN	39
F) FUENTES DE FINANCIAMIENTO	40
G) CAPACIDAD INSTALADA.....	40
H) METAS ANUALES Y TOTALES DE PRODUCCIÓN	42
I) VIDA ÚTIL	43
J) DESCRIPCIÓN DE LOS ASPECTOS MÁS RELEVANTES.....	43
K) ANÁLISIS DE LA OFERTA	44
L) ANÁLISIS DE LA DEMANDA.....	45
M) INTERACCIÓN OFERTA-DEMANDA.....	46
V. EVALUACIÓN DEL PROYECTO DE INVERSIÓN	49
A) IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE COSTOS DEL PROYECTO DE INVERSIÓN.	49
B) IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS BENEFICIOS DEL PROYECTO DE INVERSIÓN.....	50
C) CÁLCULO DE LOS INDICADORES DE RENTABILIDAD.....	50
D) ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	56
E) ANÁLISIS DE RIESGOS	58
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
VII. ANEXOS.....	62
VIII. BIBLIOGRAFÍA	69

I. Resumen Ejecutivo

LOCALIZACIÓN, MONTO DE INVERSIÓN, OBJETIVO, PROBLEMÁTICA Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE INVERSIÓN

Nombre del Proyecto de Inversión

Rehabilitación de la Carretera Álvaro Obregón – Ojo de la yegua en su tramo del Km 0+000 al Km 49+600, ubicada en el municipio de Cuauhtémoc, Chih.

Localización del Proyecto de Inversión

La Carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua tiene su origen en el Km 0+000 en la comunidad de Álvaro Obregón, en el municipio de Cuauhtémoc, Chih., y concluye en el Km 49+600 en la comunidad Campo Setenta y Dos, perteneciente al municipio de Riva Palacio, Chih., y se localiza en las siguientes coordenadas geográficas:

- Km 0+000: Latitud: **28°45'5.93"N** y Longitud: **106°54'25.83"O**
- Km 49+600: Latitud: **29° 6'47.76"N** y Longitud: **106°42'51.05"O**

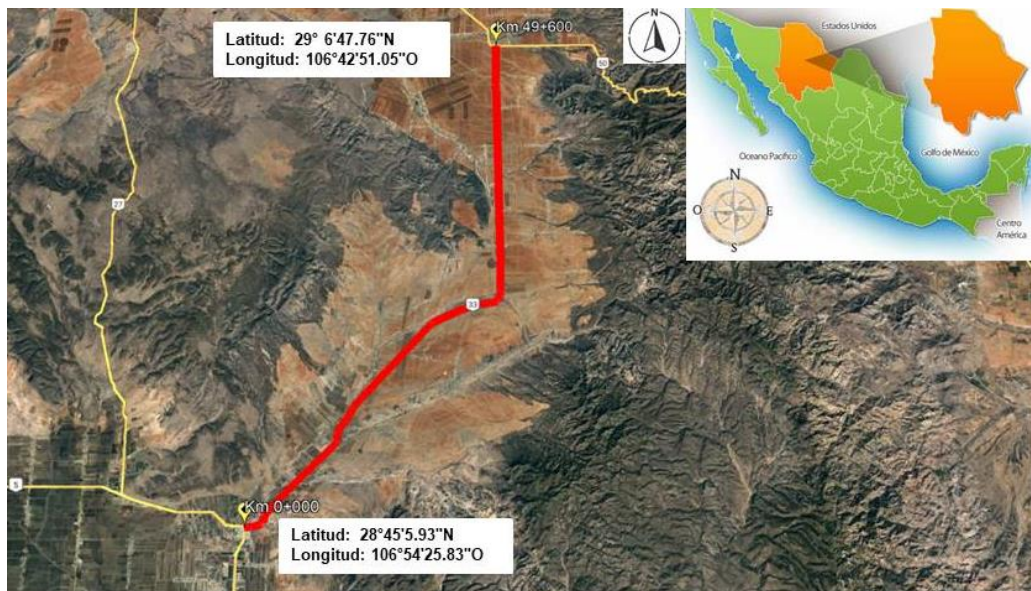


Figura No. 1. Localización geográfica del proyecto objeto de estudio
(Fuente: Elaboración propia)

Monto de la Inversión del Proyecto

El monto total de inversión del proyecto asciende a \$ 93,000,000.00 con IVA incluido. Este monto se ejercerá en el año 2024 y sus principales componentes son: Pavimentos, Conservación y Señalamiento. En la Tabla No.1 se muestra la distribución de la inversión en los componentes del proyecto.

Tabla No. 1. Montos de la Inversión del Proyecto de Inversión (Fuente: Elaboración propia)

COMPONENTES	MONTO INVERSIÓN
PAVIMENTOS	69,592,931.00
CONSERVACIÓN	7,985,898.00
SEÑ. Y DIS. DE SEG.	2,593,584.79
SUB-TOTAL	80,172,413.79
16% I.V.A.	12,827,586.21
TOTAL	\$ 93,000,000.00

Objetivo del Proyecto de Inversión

El objetivo de la Rehabilitación de la Carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua en su tramo del Km 0+000 al Km 49+600, es dar solución a la problemática que se presenta en esta vía de comunicación, que es la reducción en el Costo Generalizado de Viaje (CGV).

Problemática identificada

La problemática que se ha identificado en la Carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua, es de que se están presentado **Altos Costos Generalizados de Viaje** (CGV = 562.90 MDP), esto debido al grado de deterioro que presenta la superficie del pavimento (IRI = 5.6), originando con esta situación **Altos Costos de Operación Vehiculares** (COV = 418.94 MDP), repercutiendo en bajas velocidades de los vehículos e incrementando con ello los **Costos de los Tiempos de Recorrido** (CTR = 143.96 MDP) de los pasajeros, afectando con ello directamente la economía de la población de esta región del estado de Chihuahua, por lo que es la problemática que claramente se pretende resolver con la implementación de este proyecto, **reducir al mínimo el Costos Generalizados de Viaje (CGV).**

Breve descripción del Proyecto de Inversión

El proyecto de la Rehabilitación de la carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua en su tramo del Km 0+000 al Km 49+600, es un **Proyecto de Infraestructura Económica**. El proyecto contempla trabajos de rehabilitación que se realizarán en una longitud de 42 kilómetros en tramos parciales de la carretera.

Los trabajos se iniciaran con el proceso de fresado de la capa de pavimento existente en un espesor de 4.0 cm en todo el ancho de corona, se continuará con los trabajos de renivelación y bacheo superficial asilado, para posteriormente colocar una carpeta asfáltica de 5.0 cm de espesor con tamaño máximo de 1” (25.4 mm) compactada al noventa y ocho por ciento (98%), para finalmente se aplicará la pintura del señalamiento horizontal en el pavimento para el correcto funcionamiento de la carretera.

HORIZONTE DE EVALUACIÓN, COSTOS Y BENEFICIOS DEL PROYECTO DE INVERSIÓN

Horizonte de Proyecto de Inversión

Se estima que la vida útil del Proyecto de inversión denominado “TRABAJOS DE REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA ÁLVARO OBREGÓN – OJO DE LA YEGUA DEL KM 0+000 AL KM 49+600” tendrá una vida útil de 10 años, por lo que el horizonte de la evaluación es de 11 años, debido a que el primer año es el tiempo que se llevará la ejecución de los trabajos.

Costos del Proyecto de Inversión

Los costos que se consideraron para el Análisis Costo Beneficio Simplificado (ACBS) de este proyecto son: el monto de la inversión inicial para realizar el proyecto de inversión, consistentes en los trabajos de rehabilitación del pavimento, con un monto de \$ 80,172,413.79 sin IVA incluido; el costo por molestia, los costos de mantenimiento y conservación para la situación con proyecto, que corresponden a lo siguiente:

- I. Costos por molestia, que son los que se originan por la construcción de los desvíos en el proceso de la ejecución del proyecto, referentes al incremento en el Costo del Tiempo de Recorrido (CTR) de los pasajeros dentro de los vehículos, ya que se reducen las velocidades.
- II. Costos de la Conservación Rutinario, que incluye básicamente la limpieza general y reparación de pequeños desperfectos de la superficie de rodamiento del tramo, como son bacheos y renivelaciones en tramos aislados, en forma anual, desde el inicio de las operaciones del proyecto hasta terminar su vida útil;
- III. Costos de conservación periódica, que incluye bacheo y renivelación general, además de la colocación de una sobre carpeta asfáltica a la mitad de su vida útil, al 5^{to} año.

Tabla No. 2. Costos de Inversión y Mantenimiento del proyecto

COSTOS DEL PROYECTO	MONTOS (\$)
Inversión inicial (2024)	\$ 80,172,413.79 (Sin IVA)
Costos por molestia (2024)	\$ 25,404,089.64 (Sin IVA)
Conservación Rutinaria (Anual)	\$ 4,482,505.86 (Sin IVA)
Sobre carpeta al 5to año (mitad vida útil)	\$ 25,753,126.00 (Sin IVA)

(Fuente: Elaboración propia)

Beneficios del Proyecto de Inversión

El beneficio directo identificado, por el desarrollo de este proyecto, son los ahorros que se obtienen en la reducción del Costo Generalizado de Viaje (CGV) de los vehículos y personas que transitan por la carretera en estudio. Para el calcularlo, se realizó la diferencia entre la Situación sin Proyecto y con Proyecto del costo generalizado de viaje (CGV), para cada uno de los años de la vida útil del proyecto, estos ahorros antes mencionados, se pueden apreciar en la Tabla No. 3.

Tabla No. 3. Beneficios Anuales generados por el proyecto (Fuente: Elaboración propia)

t	AÑO	AHORROS O BENEFICIOS DIRECTOS		
		CGV SIN PROYECTO	CGV CON PROYECTO	AHORROS EN CGV
0	2024	\$ 564,200,295.60	\$ 514,597,576.29	\$ 49,602,719.31
1	2025	\$ 601,042,574.90	\$ 548,200,798.02	\$ 52,841,776.88
2	2026	\$ 640,290,655.04	\$ 583,998,310.13	\$ 56,292,344.91
3	2027	\$ 682,101,634.82	\$ 622,133,399.79	\$ 59,968,235.03
4	2028	\$ 726,642,871.57	\$ 662,758,710.79	\$ 63,884,160.78
5	2029	\$ 774,092,651.09	\$ 706,036,854.61	\$ 68,055,796.48
6	2030	\$ 824,640,901.20	\$ 752,141,061.21	\$ 72,499,839.99
7	2031	\$ 878,489,952.05	\$ 801,255,872.51	\$ 77,234,079.54
8	2032	\$ 935,855,345.92	\$ 853,577,880.98	\$ 82,277,464.93
9	2033	\$ 996,966,700.01	\$ 909,316,516.61	\$ 87,650,183.39
10	2034	\$ 1,062,068,625.52	\$ 968,694,885.15	\$ 93,373,740.37

INDICADORES DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO DE INVERSIÓN

Para evaluar la factibilidad económica de este proyecto se utilizaron los indicadores de rentabilidad recomendados por los LINEAMIENTOS para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión, publicados en el Diario Oficial de la Federación, el lunes 30 de diciembre de 2013, los cuales fueron:

- I. Valor Presente Neto (VPN),
- II. Relación Beneficio - Costo (B/C),
- III. Tasa Interna de Retorno (TIR) y
- IV. Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI)

Para realizar los cálculos de los indicadores de rentabilidad, se realizó el flujo de los flujos de capital del proyecto a lo largo del horizonte de proyecto, es decir, Costos totales los costos del proyecto, como son, el Costo de la Inversión Inicial, Los Costos de mantenimiento y los Beneficios generados por el desarrollo del proyecto, que fueron determinados como los ahorros en el Costo Generalizado de Viaje (CGV).

Tabla No. 4. Indicadores de rentabilidad generados por el proyecto de inversión

INDICADORES DE RENTABILIDAD	
INDICADOR	VALOR
Valor Presente Neto (VPN)	\$ 268,508,872.9
Relación Beneficio – Costo (B/C)	2.80
Tasa interna de retorno (TIR)	49.91 %
Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI)	45.80 %

(Fuente: Elaboración propia)

En la Siguiete tabla se resumen los indicadores analizados en este apartado del estudio, resultando de la Evaluación Económica del Proyecto de Inversión, por lo que se puede concluir que, el desarrollo del proyecto planteado **es rentable desde el punto de vista Económico y Social**, ya que el Valor Presente Neto (VPN) es de \$ 268,508,872.9 el cual es mayor a cero, lo que indica que el proyecto es rentable factible. La relación Beneficio – Costo (B/C) es de 2.80 mayor a uno, lo que indica que el proyecto es rentable. La Tasa Interna de Retorno (TIR) es de

49.91 %, mayor a la Tasa Social de Descuento (TSD) que es del 10 %, el proyecto es rentable y por último la Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI) es de 45.80 %, mayor a la Tasa Social de Descuento (TSD) que es del 10 %, lo que indica que es el momento óptimo de realizar la inversión del proyecto.

CONCLUSIÓN

De acuerdo con la evolución desarrollada en el presente documento, sobre la Rehabilitación de la Carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua en su tramo del Km 0+000 al Km 49+600, el desarrollo del proyecto soluciona completamente la problemática presentada. Con la ejecución del proyecto de inversión, se reduce considerablemente el Costo Generalizado de Viaje (CGV), beneficiando directamente a los usuarios de esta vía, incrementando la velocidad promedio de operación de los vehículos y por consiguiente la valoración del Costo de Tiempo de Recorrido (CTR) anual de los pasajeros que viajan en los vehículos, además de reducir el Costo de Operación Vehicular (COV).

Con la Rehabilitación de la carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua en su tramo del Km 0+000 al Km 49+600, se verán beneficiados los habitantes de esta región del este de Chihuahua, mejorando sustancialmente las condiciones de operación de esta vía de comunicación.

Los principales beneficios que se tendrán con la Rehabilitación de esta obra son:

- Aumento en las velocidades de operación de los diferentes tipos de usuarios.
- Reducción en los tiempos de recorrido.
- Reducción en los Costos de Operación de los diferentes tipos de vehículos.
- Reducción en el Costo Generalizado de Viaje (CGV).
- Disminución en los niveles de contaminación auditiva y del aire.
- Operación más segura para los usuarios, al reducirse significativamente la posibilidad de accidentes.
- Mejora del nivel de servicio.

Además de considera que esta proyecto de rehabilitación vial, es económicamente rentable, ya que el Valor Presente Neto (VPN) es de \$ 268,508,872.9 el cual es mayor a cero, lo que indica que el proyecto es rentable

factible. La relación Beneficio – Costo (B/C) es de 2.80 mayor a uno, lo que indica que el proyecto es rentable. La Tasa Interna de Retorno (TIR) es de 49.91 %, mayor a la Tasa Social de Descuento (TSD) que es del 10 %, el proyecto es rentable y por último la Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI) es de 45.80 %, mayor a la Tasa Social de Descuento (TSD) que es del 10 %, lo que indica que es el momento óptimo de realizar la inversión del proyecto. Por lo expuesto anteriormente se puede concluir que el Proyecto de Inversión es factible desde el punto de vista económico y social.

De acuerdo con los Indicadores de Rentabilidad obtenidos en el presente estudio, **se recomienda la realización del Proyecto de Inversión**, de acuerdo con los indicadores obtenidos en el presente estudio.

II. Situación Actual del Proyecto de inversión

a) Diagnóstico de la Situación Actual

La Carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua es una vía de comunicación a cargo del Gobierno del estado de Chihuahua, designada como la Carretera Estatal No. 33, se localiza en el noroeste del estado, la longitud total de este tramo carretero es de 49.6 kilómetros, tiene su origen en el Km 0+000 en la comunidad de Álvaro Obregón, perteneciente al municipio de Cuauhtémoc, Chih., comunicando varios campos menonitas, y concluye en el Km 49+600 en la comunidad Campo Setenta y Dos, perteneciente al municipio de Riva Palacio, Chih.

Esta carretera se localiza en una de las regiones agrícolas y ganaderas más importantes del estado, lo que hace que esta vía de comunicación juegue un papel trascendental en el desarrollo económico de esta región. La carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua se clasifica como un camino tipo D, pavimentado a base de una carpeta asfáltica, cuenta con obras de drenaje, señalamiento y un derecho de vía perfectamente definido.



Figura No. 2. Vista del grado de deterioro que presenta el pavimento en Km 21+000



Figura No. 3. Vista del grado de deterioro que presenta el pavimento en Km 43+000

Actualmente la superficie de pavimento de la carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua presenta tramos con un grado de deterioro correspondiente a un IRI de 5.6 (malo) en gran parte del tramo, lo que afecta directamente a los usuarios, originando con esta situación un Alto Costo de Operación Vehicular (COV), lo cual afecta directamente a la población, repercutiendo en bajas velocidades de traslados de los vehículos, incrementando con ello los Costos de Tiempo de Recorrido (CTR), ambas situaciones en conjunto originan un Alto Costo Generalizado de viaje (CGV) en los usuarios, repercutiendo directamente la economía de la población de la región.

b) Análisis de la Oferta Existente

La carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua tiene una longitud total de 49.6 kilómetros y está constituida por un cuerpo con ancho de corona de 7.0 m sin acotamientos, en donde se alojan dos carriles de circulación, uno por sentido, el camino se localiza sobre un terreno del tipo plano. El tipo de superficie de rodamiento es a base de un pavimento de concreto asfáltico. Las características físicas y geométricas del camino en estudio fueron recabadas en el trabajo de campo y se presentan en la tabla siguiente:

Tabla No. 5. Características físicas y geométricas de la carretera de la situación actual

CONCEPTO	TRAMO DEL KM 0+000 AL KM 49+600
Longitud Tramo (Km)	49.6
Tipo de carretera	D
Tipo de terreno	Plano
Número de carriles	2
Ancho de carril (m)	3.5
Franja Central (m)	No cuenta
Ancho de Calzada (m)	7.0
Ancho de Corona (m)	7.0
Acotamiento	No cuenta
Superficie de Rodamiento	Pavimento asfáltico
Índice de Regularidad Promedio (IRI)	5.6
Estado físico del pavimento	Malo

Fuente: Elaboración propia con base a las características geométricas de la vía obtenidas en campo.

c) Análisis de la Demanda Actual

Para la estimación y clasificación del aforo vehicular, es decir la demanda de la situación actual, se determinó de información obtenida de la colocación de equipos de aforo automático, los cuales se instalaron en el Km 15 del tramo en estudio, mismo que permanecieron por un periodo de 7 días, del 06 de febrero al 13 de febrero de 2024, con la finalidad de recabar datos de volumen, velocidades y composición vehicular en la zona.



Figura No. 4. Ubicación geográfica del punto de aforo Km 15 de la carretera en estudio
(Fuente: Elaboración propia)



Figura No. 5. Ubicación del punto de aforo Km 15 de la carretera en estudio
(Fuente: Elaboración propia)

Tabla No. 6. Resultados de aforos del Km 15 (Fuente: Elaboración propia con aforos propios)

TRÁFICO DIARIO PROMEDIO

TIPO DE VEHÍCULOS	DE LUNES A VIERNES		FIN DE SEMANA		TOTALES	
	No.	%	No.	%	No.	%
Vehículos Ligeros (A)	2,126	88%	2,306	95%	2177	90%
Camiones de Carga (C)	289	9%	118	5%	240	10%
	2,416		2,425		2,418	

Del análisis de los datos recabados en los aforos se puede concluir que el **Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA)** de este tramo es de **2,418 veh/día**, con una composición del tráfico de 90 % de vehículos tipo A y un 10 % de vehículos tipo C o camiones de carga, para el año 2024.

Para calcular la **Tasa de Crecimiento Anual del Tráfico Vehicular (r)**, se utilizaron datos viales de las estimaciones de tránsito diario promedio anual (TDPA), publicadas por la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes (SICT) para los años 2010 a 2022, en la estación de aforo del Km 42 de la carretera Álvaro Obregón – Buenaventura, una carretera con características similares a la de estudio.

Tabla No. 7. Datos Viales de la carretera Álvaro Obregón - Buenaventura estación Km 42 (Fuente: Datos viales SICT)

DATOS VIALES		
No.	AÑO	TDPA
1	2010	2672
2	2011	3089
3	2012	3156
4	2013	3468
5	2014	3468
6	2015	3642
7	2016	4061
8	2017	3919
9	2018	3386
10	2019	3529
11	2020	3497
12	2021	3296
13	2022	3695

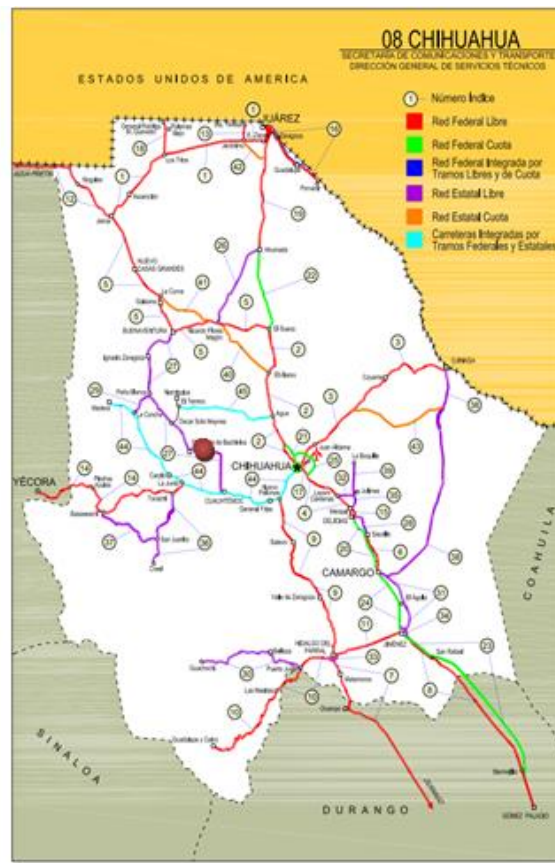


Figura No. 6. Ubicación de estación de Aforo Km 42 Carretera Álvaro Obregón – Buenaventura
 (Fuente: Datos viales SICT)

Con los datos viales de Tránsito diario Promedio Anual (TDPA) del año 2010 hasta el año 2018, que se muestran en la Tabla No. 3, se grafican estos y se realiza un ajuste de tendencia lineal. Los volúmenes de TDPA partir del año 2018 se descarta debido a la disminución de movilidad atribuido principalmente que en ese año fue el comienzo de por la pandemia de Covid, ya para el año 2022 se recupera la tendencia

De la Figura No. 7, se observa que la línea ajustada a los datos viales tiene un coeficiente de correlación (R) de 0.93, el cual es excelente, por lo anterior, se está en la posibilidad de calcular el volumen de transito diario promedio anual (TDPA) basándose en la siguiente ecuación:

$$TDPA = 182.11X - 2608.6$$

Dónde:

X = año de aforo, siendo 2010 el No.1

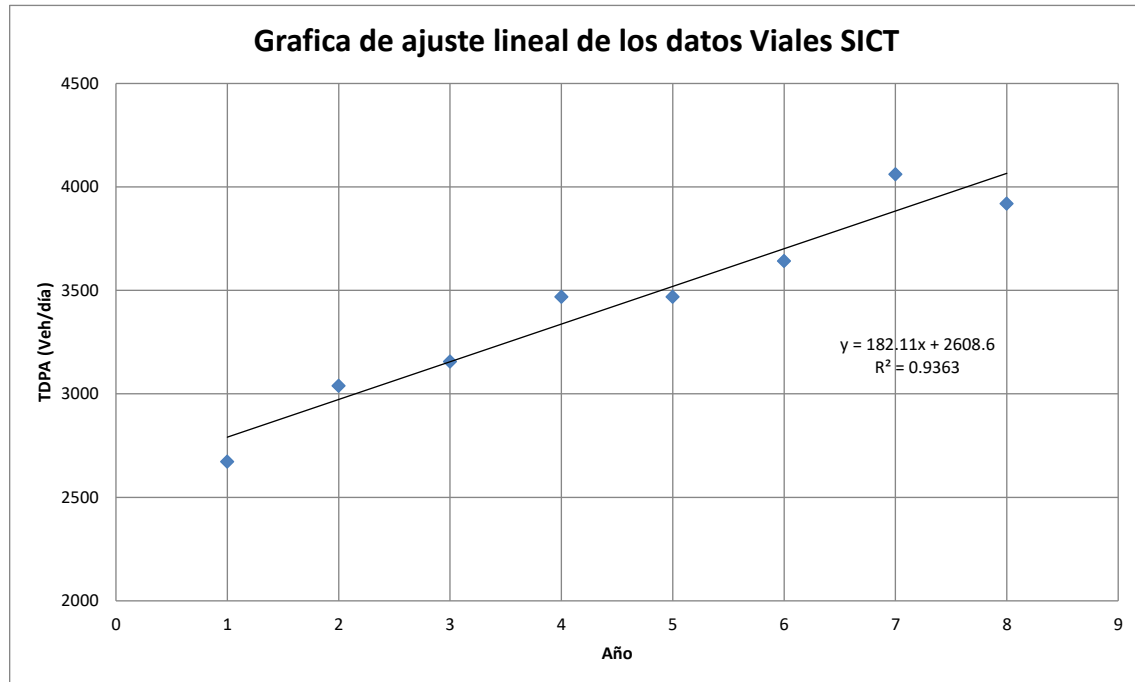


Figura No. 7. Gráfica de ajuste de datos viales SICT (Fuente: Elaboración propia)

Por lo tanto, según la ecuación anterior, el Volumen de tránsito estimado para el año 2024 será:

$$TDPA(2024) = 182.11 (15) + 2608.6 = \mathbf{5,340 \text{ veh/día}}$$

Ajustando los datos para el año 2010 será:

$$DPA(2010) = 182.11 (1) + 2608.6 = \mathbf{2,791 \text{ veh/día}}$$

Con ambos datos se podrá calcular la tasa de crecimiento anual del tráfico, para lo cual se utilizará la ecuación siguiente y los datos de TDPA obtenidos de los años 2010 y 2024:

$$r = \frac{\left(\frac{F}{P} - 1\right)}{n} \times 100$$

Dónde:

r = Tasa de crecimiento anual del tránsito (%)

F = Valor futuro del TDPA (veh. /día)

P = Valor presente del TDPA (veh. /día)

n = Número de años

$$r = \frac{\left(\frac{5,340}{2,171} - 1\right)}{14} \times 100 = \mathbf{6.53 \% \textit{ anual}}$$

Por lo que se considerará como tasa de crecimiento del Transito Diario Promedio Anual (TDPA), el 6.53 % anual, y una demanda de la situación actual del proyecto para el año 2024, de 2,418 veh/día, con una composición del tráfico del 90 % de vehículos tipo A y un 10 % de vehículos tipo C, Camiones de carga, que para este caso será el T3-S2.

Como el año de evaluación será el 2024, el valor del Transito Diario Promedio Anual (TDPA) será la demanda obtenida en el aforo, que es de 2,418 veh/día y una tasa de crecimiento anual del 6.53 %, que serán la demanda, utilizada para el estudio del ACBS.

Tabla No. 8. Composición del tráfico vehicular (TDPA) para el año 2024

TIPO DE VEHÍCULO	COMPOSICIÓN VEHICULAR (%)	TASA DE CRECIMIENTO (r)	AFORO (Veh/día)
Vehículo ligero (A)	90.0	6.53 %	2,418
Autobús (B)	0.0		
Camiones de carga (C)	10.0		

(Fuente: Elaboración propia)

De acuerdo con la metodología propuesta para la estimación del Costo Generalizado de Viaje (CGV), se utilizará el un índice de ocupación por tipo de vehículo, conforme a la tabla siguiente:

Tabla No. 9. Tasa de ocupación por tipo de Vehículo (Fuente: Guía estudios ACBS 2015 CEPEP)

TIPO DE VEHÍCULO	PASAJEROS POR VEHÍCULO
Vehículo ligero	2.6
Autobús	24.2
Camión Unitario	1.8
Camión Articulado	1.9

d) Interacción de la Oferta-Demanda

1) Velocidades promedio de operación

En el trabajo de campo se estimaron las velocidades promedio de operación mediante el método de placas. Este método consiste en colocar una brigada en un punto de inicio del tramo y otra en un punto final. La primera brigada anota las placas de los vehículos y la hora en que pasan por dicho lugar; la brigada del final realiza la misma operación. De esta manera se obtiene el tiempo en que recorre cada vehículo la ruta del proyecto y por lo tanto, dado que ya se conoce la distancia de la ruta, se puede calcular la velocidad de cada vehículo. Para obtener las velocidades promedio de operación de los vehículos, se dividió el tramo en varias zonas, de acuerdo a las condiciones de la superficie del pavimento (IRI), obteniéndose primero las velocidades en cada tramo, para cada vehículo, y posteriormente, se calculó la velocidad ponderada del total del tramo para cada vehículo, los cálculos desarrollados se muestran en las Tablas No. 10 y 11.

Tabla No. 10. Velocidades promedio de operación de la “**situación Actual**”

TIPO DE VEHÍCULO	VELOCIDAD PROMEDIO
Vehículo Ligero (A)	78.92 Km/hr
Camión de Carga (C)	61.84 Km/hr

Operación (Fuente: Elaboración propia)

Tabla No. 11. Velocidades promedio de Operación (Fuente: Elaboración propia)

Situación Actual Veh. A					
TRAMOS		LONGITUD	IRI	Velocidad	Vel x LONG
0+000	2+000	2,000	4	82.44	164,880
2+000	3+200	1,200	6	78.03	93,636
3+200	4+000	800	4	82.44	65,952
4+000	7+000	3,000	6	78.03	234,090
7+000	21+000	14,000	6	78.03	1,092,420
21+000	23+200	2,200	6	78.03	171,666
23+200	24+800	1,600	6	78.03	124,848
24+800	28+000	3,200	4	82.44	263,808
28+000	31+000	3,000	6	78.03	234,090
31+000	35+000	4,000	6	78.03	312,120
35+000	40+000	5,000	6	78.03	390,150
40+000	43+000	3,000	4	82.44	247,320
43+000	44+000	1,000	6	78.03	78,030
44+000	47+000	3,000	6	78.03	234,090
47+000	48+000	1,000	4	82.44	82,440
48+000	49+600	1,600	6	78.03	124,848
		49,600		1270.53	3,914,388

Vel. Veh A 78.92 Km/hr

Situación Actual Veh. C					
TRAMOS		LONGITUD	IRI	Velocidad	Vel x LONG
0+000	2+000	2,000	4	69.42	138,840
2+000	3+200	1,200	6	59.93	71,916
3+200	4+000	800	4	69.42	55,536
4+000	7+000	3,000	6	59.93	179,790
7+000	21+000	14,000	6	59.93	839,020
21+000	23+200	2,200	6	59.93	131,846
23+200	24+800	1,600	6	59.93	95,888
24+800	28+000	3,200	4	69.42	222,144
28+000	31+000	3,000	6	59.93	179,790
31+000	35+000	4,000	6	59.93	239,720
35+000	40+000	5,000	6	59.93	299,650
40+000	43+000	3,000	4	69.42	208,260
43+000	44+000	1,000	6	59.93	59,930
44+000	47+000	3,000	6	59.93	179,790
47+000	48+000	1,000	4	69.42	69,420
48+000	49+600	1,600	6	59.93	95,888
		49,600		1006.33	3,067,428

Vel. Veh C 61.84 Km/hr

La velocidad promedio de operación de cada vehículo obtenida, se usará para calcular el Coto de Tiempo de Recorrido (CTR) del tramo en estudio.

2) Costo Generalizado de Viaje

La interacción entre la oferta y la demanda se refleja en el Costo Generalizado de Viaje (CGV), el cual se define como el costo en que incurren los usuarios del camino. Este incluye la valoración del tiempo empleado en el viaje o del Costo de Tiempo de Recorrido (CTR) de los pasajeros que viajan en los vehículos y el Costo de Operación Vehicular (COV) en que se realizan dichos viajes. El Costo Generalizado de Viaje (CGV) de la situación actual se debe calcular por tipos de vehículos para cada tramo de acuerdo a la expresión siguiente:

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

Dónde:

i puede ser vehículos ligeros (A), autobús (B) o camión de carga (C).

j Se define a cada tramo del camino.

CGV_{i,j} es el Costo Generalizado de Viaje calculado para cada vehículo i en el tramo j.

COV_{i,j} es el Costo Operación de Vehicular calculado para cada vehículo i en el tramo j.

CTR_{i,j} es el Costo por tiempo de Recorrido de los pasajeros que viajan en el tipo de vehículo i en el tramo j.

El Costo de Operación Vehicular (COV) mide en términos monetarios el costo que representa a cada vehículo circular por la vía, la unidad con que se expresa son pesos por kilómetro recorrido por vehículo (\$/Km/veh.), el Costo de Operación Vehicular (COV) es sensible a las características geométricas del camino, las condiciones de la superficie del pavimento (IRI) y el tipo de terreno donde se localiza la vía.

Para calcular el Costo de Operación Vehicular (COV) se recurre a la publicación técnica del Instituto Mexicano el Transporte (IMT) No. 756 “*Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2023*”, la cual toma como referencia los modelos matemáticos desarrollados por el Banco Mundial, que utiliza un programa de computo denominado *Vehicle Operating Costs (VOC)*, adaptando a las características mexicanas, obteniendo así los costos de operación base y los factores de ajuste a estos, según las características de la carretera a estudiar (IRI), los costos de operación base se ajustaron mediante el índice precio productor (IPP) del INEGI a enero del 2024.

Para calcular el Costo de Operación Vehicular (COV) anual del tramo en estudio se empleó la siguiente ecuación:

$$COV = F_b \times CB \times TDPA \times 365 \times Long.$$

Dónde:

COV Costo de operación vehicular anual, para todos los vehículos del mismo tipo.

F_b Factor de costo de operación base, para el tipo de vehículo, tipo de terreno y estado de la superficie del camino.

CB Costo de operación base del vehículo, obtenida de publicación No. 756 (IMT).

TDPA Transito diario promedio Anual del vehículo.

En la tabla siguiente se presenta el Costo de Operación Vehicular (COV) anual obtenido del tramo en estudio de acuerdo a la demanda y las condiciones del pavimento de la situación actual.

Tabla No. 12. Costo de Operación Vehicular (COV) Anual de la situación actual (Fuente: Elaboración propia)

SITUACIÓN ACTUAL				Publicación IMT No. 756 del año 2023 ajustado 2024					
RUTAS	IRI	LONG (km)	T.D.P.A.	CLASIFICACIÓN VEHICULAR		Fb	Cb	DÍAS/AÑO	COV
				TIPO	%				
Tramo Plano	5.60	49.6	2418	A	90.0%	1.16	6.71	365	\$ 306,625,065.88
				B	0.0%	1.20	17.76	365	\$ -
				C	10.0%	1.26	20.36	365	\$ 112,314,928.61
									\$ 418,939,994.49
TOTAL COSTO DE OPERACION VEHICULAR (COV) =									\$ 418,939,994.49

El Costo de Tiempo de Recorrido (CTR) de los pasajeros que viajan en los vehículos representa el valor, en términos monetarios del tiempo de viaje de las personas que se desplazan en cada vehículo, y está dado por el valor unitario del tiempo de las personas (pesos/hora) multiplicado por el tiempo de recorrido en horas y por el número de pasajeros promedio por tipo de vehículo.

Para el cálculo del Costo de Tiempo de Recorrido (CTR) se utilizó la información de la nota Técnica No. 207 del Instituto Mexicano el Transporte (IMT), en la que se considera el valor del tiempo de las personas por concepto de trabajo y por placer publicada en febrero de 2024, considerando que del total de los viaje, el 70% son por trabajo y el 30% por placer.

Para calcular el Costo de Tiempo de Recorrido (CTR) anual del tramo en estudio se empleó la siguiente ecuación:

$$CTR = TDPA \times \text{Indice de Ocup.} \times \text{Factor} \times \text{Costo tiempo} \times 365$$

Dónde:

CTR Costo del Tiempo de Recorrido (CTR) anual

TDPA Transito diario promedio Anual del vehículo.

Factor El Factor por trabajo o placer del objeto del viaje

Costo Tiempo El valor del tiempo de las personas por concepto de trabajo y por placer.

El procedimiento para el cálculo del Costo de Tiempo de Recorrido (CTR) se puede apreciar en la Tabla No. 13.

Tabla No. 13. Costo de Tiempo de Recorrido (CTR) Anual de la situación actual
(Fuente: Elaboración propia).

SITUACIÓN ACTUAL														
										Valor del tiempo por Trabajo Región Norte 2024	\$	114.20		
										Valor del tiempo por Placer Región Norte 2024	\$	68.52		
Por Viajes de Trabajo														
TRAMO	LONG (km)	T.D.P.A.	IRI	CLASIFICACIÓN VEHICULAR		VOL/DIA	INDICE DE OCUPACION VEHICULAR	FACTOR	COSTO DEL TIEMPO POR PERSONA (\$/hr)	VELOCIDAD (Km/hr)	TIEMPO DE RECORRIDO (Hrs.)	DÍAS/ AÑO	COSTO POR TIEMPO DE VIAJE (\$)	
				TIPO	%									
Plano	49.60	2418	5.60	A	90.0%	2176	2.6	0.7	114.20	78.92	0.6285	365	\$ 103,759,684.83	
				B	0.0%	0	24.2	0.7	114.20	0.00	0.0000	365	\$ -	
				C	10.0%	242	1.9	0.7	114.20	61.84	0.8020	365	\$ 10,751,173.77	
												Por Viajes de Trabajo =	\$	114,510,858.60
Por Viajes de Placer														
TRAMO	LONG (km)	T.D.P.A.	IRI	CLASIFICACIÓN VEHICULAR		VOL/DIA	INDICE DE OCUPACION VEHICULAR	FACTOR	COSTO DEL TIEMPO POR PERSONA (\$/hr)	VELOCIDAD (Km/hr)	TIEMPO DE RECORRIDO (HRS.)	DÍAS/ AÑO	COSTO POR TIEMPO DE VIAJE (\$)	
				TIPO	%									
Plano	49.60	2418	5.60	A	90.0%	2176	2.6	0.3	68.52	78.92	0.63	365	\$ 26,681,061.81	
				B	0.0%	0	24.2	0.3	68.52	0.00	0.00	365	\$ -	
				C	10.0%	242	1.9	0.3	68.52	61.84	0.80	365	\$ 2,764,587.54	
												Por Viajes de Placer =	\$	29,445,649.35
												TOTAL COSTO DEL TIEMPO DE RECORRIDO (CTR) ANUAL =	\$	143,956,507.95

Por último, para calcular el Costo Generalizado de Viaje (CGV) de la situación actual del tramo en estudio, se aplicó la ecuación mencionada anteriormente, es decir, se sumó el Costo de Operación Vehicular (COV) y el Costo de Tiempo de Recorrido (CTR), en la tabla siguiente se presenta el resultado.

Tabla No. 14. Costo Generalizado de Viaje (CGV) de la situación actual (2024)
(Fuente: Elaboración propia)

SITUACIÓN ACTUAL (2024)		COSTO GENERALIZADO DE VIAJE (CGV)
COSTOS DE OPERACIÓN ANUAL (COV)	\$ 418,939,994.49	
COSTOS DEL TIEMPO DE RECORRIDO (CTR)	\$ 143,956,507.95	
		\$ 562,896,502.45

3) Problemática de la situación actual

Con el análisis de los dos puntos anteriores, se puede observar que la problemática que se ha identificado claramente en la carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua, es de que se están presentado **Altos Costos Generalizados de Viaje** (CGV = 562.90 MDPA), esto debido al grado de deterioro que presenta la superficie del pavimento (IRI = 5.6), originando con esta situación Altos Costos de Operación Vehiculares (COV = 418.94 MDPA), repercutiendo en bajas velocidades de los vehículos e incrementando con ello los Costos de los Tiempos de recorrido (CTR = 143.96 MDPA) de los pasajeros, afectando con ello directamente la economía de la población de esta región del estado de Chihuahua, por lo que es la problemática que claramente se pretende resolver con la implementación de este proyecto, **reducir al mínimo el Costos Generalizados de Viaje (CGV).**

III. Situación sin el del Proyecto de inversión

a) Optimizaciones

Una vez realizado el diagnóstico de la situación actual y definida la problemática que da origen al desarrollo del proyecto, se deben considerar las acciones de optimización, es decir, medidas o acciones de “bajo costo” que reduzcan la problemática identificada de la situación actual y que permitan mejorar las condiciones actuales de la vía. Esto con el propósito de no atribuirle beneficios al proyecto que no le corresponden.

Para mejorar la situación actual se identificó como medidas de optimización los trabajos de mantenimiento rutinario y periódico que ha llevado a cabo la residencia de conservación durante la operación de la carretera, estos trabajos consisten básicamente en realizar bacheos y renivelaciones en tramos aislados, aplicación de riegos de sello y sobrecarpetas en tramos parciales y el mejoramiento del señalamiento. Sin embargo, con estas acciones no se solventa la necesidad de mejorar las condiciones físicas de la infraestructura en la zona, ya que las velocidades y los tiempos de recorrido no mejorarían de manera significativa.

El seguir manteniendo de esta forma las condiciones físicas del camino, como única alternativa, no es la opción más recomendable ya que debido a las condiciones físicas de la superficie de rodamiento ($IRI = 5.6$), sería una solución temporal y de muy corto plazo, lo que obligaría a reconsiderar nuevamente alguna otra alternativa que dé solución de forma permanente a los problemas derivados del mal estado físico que guarda la infraestructura del tramo en estudio.

Las condiciones del camino en estudio se modifican de manera poco significativa de la situación sin actual, debido a que el impacto de las medidas de optimización en el estado actual de la superficie de rodamiento es mínimo, por lo que la situación actual, se considera como la situación sin proyecto.

b) Análisis de la Oferta

Bajo la situación optimizada se mantienen las condiciones originales de la situación actual de la carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua, este tramo es perteneciente al gobierno del estado de Chihuahua y designada como la Carretera Estatal No. 33, con una longitud total de 49.6 kilómetros, constituida por un cuerpo con ancho de corona de 7.0 m, sin acotamientos, en donde se alojan dos carriles de circulación, uno por sentido, el camino se localiza sobre un terreno del tipo plano. La superficie de rodamiento es a base de un pavimento de concreto asfáltico, las características físicas y geométricas del camino en estudio fueron recabadas en el trabajo de campo y se presentan en el cuadro siguiente:

Tabla No. 15. Características físicas y geométricas de la carretera de la “situación sin proyecto”

CONCEPTO	TRAMO DEL KM 0+000 AL KM 49+600
Longitud Tramo (Km)	49.6
Tipo de carretera	D
Tipo de terreno	Plano
Número de carriles	2
Ancho de carril (m)	3.5
Franja Central (m)	No cuenta
Ancho de Calzada (m)	7.0
Ancho de Corona (m)	7.0
Acotamiento	No cuenta
Superficie de Rodamiento	Pavimento asfáltico
Índice de Regularidad Promedio (IRI)	5.6
Estado físico del pavimento	Malo

Fuente: Elaboración propia con base a las características geométricas de la vía obtenidas en campo.

c) Análisis de la demanda

Con la implementación de las medidas de optimización no se espera un impacto en la demanda de la situación actual, por lo que para la situación sin proyecto se considerara una demanda (TDPA) de 2,418 vehículos por día para el año de 2024, un clasificación del 90 % de vehículos tipo A, 10 % de vehículos tipo C (T3-S2) y una tasa de crecimiento anual del 6.53 %, igual a la situación actual.

De acuerdo con la metodología propuesta para la estimación del Costo Generalizado de Viaje (CGV) de la situación sin proyecto, se utilizará el un índice de ocupación por tipo de vehículo, de 2.6 personas para vehículos tipo A, 24.2 personas para vehículos tipo B y 1.9 personas para vehículos tipo C.

Para la proyección de la demanda (TDPA) de la situación sin proyecto, a lo largo del horizonte de proyecto evaluado, se consideró la tasa de crecimiento anual de 6.53 %, calculado aplicando la siguiente ecuación:

$$TDPA_t = TDPA_{t-1}(1 + r)$$

Dónde:

TDPA Tránsito normal, en veh./día

t el año durante el horizonte de la evaluación, en años.

r es la tasa anual del crecimiento del tránsito, en decimal.

En la Tabla No. 16 se presenta la proyección de la demanda (TDPA) de la situación sin proyecto, utilizando una tasa de crecimiento anual del 6.53%.

Tabla No. 16. Proyección de la demanda (TDPA) de la “situación sin proyecto”

No.	AÑOS	TDPA (Veh/día)	VEHICULOS A 90%	VEHICULOS B 0 %	VEHICULOS C 10.0 %
0	2024	2418	2176	0	242
1	2025	2576	2318	0	258
2	2026	2744	2470	0	274
3	2027	2923	2631	0	292
4	2028	3114	2803	0	311
5	2029	3318	2986	0	332
6	2030	3534	3181	0	353
7	2031	3765	3388	0	376
8	2032	4011	3610	0	401
9	2033	4273	3845	0	427
10	2034	4552	4097	0	455

(Fuente: Elaboración propia con base a los aforos de campo y estudio de tráfico.)

d) Diagnóstico de la interacción Oferta-Demanda

Una vez incorporadas las acciones de optimización, la interacción entre la oferta y la demanda de la situación sin proyecto, se reflejará directamente el Costo Generalizado de Viaje (CGV), para lo cual se calcularán estos costos a lo largo del horizonte de proyecto, considerando la proyección de la demanda esperada (TDPA), evaluando así el Costo de Operación Vehicular (COV) anual, la velocidad promedio de operación de los vehículos y por consiguiente la valoración del Costo de Tiempo de Recorrido (CTR) anual de los pasajeros que viajan en los vehículos.

En la tabla siguiente se presentan las velocidades promedio de operación obtenidas en campo de los vehículos de la situación sin proyecto, las cuales son las mismas de la situación actual, estas velocidades fueron utilizadas para posteriormente calcular el Costo Generalizado de Viaje (CGV) de la situación sin proyecto.

Tabla No. 17. Velocidades promedio de operación de la “situación sin proyecto”

TIPO DE VEHÍCULO	VELOCIDAD PROMEDIO
Vehículo Ligero (A)	78.92 Km/hr
Camión de Carga (C)	61.84 Km/hr

Fuente: Elaboración propia con base a los aforos de campo y estudio de tráfico.

Para calcular el Costo de Operación Vehicular (COV) de la situación sin proyecto, se recurre a la publicación técnica del Instituto Mexicano del Transporte (IMT) No. 756 “Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2023”, que toma como referencia los modelos matemáticos desarrollados por el Banco Mundial, que utiliza un programa de cómputo denominado *Vehicle Operating Costs* (VOC) adaptando a las características mexicanas, obteniendo así los costos de operación base y los factores de ajuste a estos, según las características de la carretera a estudiar (IRI), los costos de operación base se ajustaron mediante el índice precio productor (IPP) del INEGI a enero del 2024.

Para calcular el Costo de Operación Vehicular (COV) anual de la situación sin proyecto, se evaluó un periodo de 10 años, que es el horizonte de proyecto, empleado el TDPA para cada año, con la siguiente ecuación:

$$COV = F_b \times CB \times TDPA \times 365 \times Long.$$

Dónde:

COV Costo de operación vehicular anual, para todos los vehículos en cada año.

F_b Factor de costo de operación base, para el tipo de vehículo, tipo de terreno y estado de la superficie del camino.

CB Costo de operación base del vehículo, obtenida de publicación No. 756 (IMT).

TDPA Transito diario promedio Anual del vehículo.

Para el cálculo del Costo de Tiempo de Recorrido (CTR) de la situación sin proyecto se utilizó la información de la nota Técnica No. 201 del Instituto Mexicano el Transporte (IMT), en la que se considera el valor del tiempo de las personas por concepto de trabajo y por placer publicados en febrero del 2024, considerando que del total de los viaje, el 70% son por trabajo y el 30% por placer.

Para evaluar el Costo de Tiempo de Recorrido (CTR) anual de la situación sin proyecto, se analizó un periodo de 10 años, que es el horizonte de proyecto, empleado el TDPA para cada año, con la siguiente ecuación:

$$CTR = TDPA \times \text{Indice de Ocup.} \times \text{Factor} \times \text{Costo tiempo} \times 365$$

Dónde:

CTR Costo del Tiempo de Recorrido (CTR) anual

TDPA Transito diario promedio Anual del vehículo.

Factor El Factor por trabajo o placer del objeto del viaje

Costo Tiempo El valor del tiempo de las personas por concepto de trabajo y por placer.

En la tabla siguiente se presentan los resultados del Costo generalizado de Viaje (CGV) de la situación sin proyecto, evaluando al horizonte de proyecto de 10 años de operación y un año de ejecución de ejecución o construcción:

Tabla No. 18. Costos Generalizados de Viaje (CGV) de la “situación sin proyecto” proyectados al horizonte de proyecto.

Años	t	Velocidad de Operación (km/hr)			Costos de Operación Vehicular (\$/km)			Costos de Operación Diaria al 2024 (\$)			Costos por Tiempos de Recorrido Diario 2024 (Por trabajo y placer)			Costos Totales (Pesos por Año)			
		Total	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	COV	CTR	CGV
2024	0	2418	78.92	75.27	61.84	7.82	21.32	25.62	844,087	-	307,268	357,367.89	-	37,031.46	\$ 420,244,531.20	\$ 143,955,764.40	\$ 564,200,295.60
2025	1	2576	78.92	75.27	61.84	7.82	21.32	25.62	899,206	-	327,332	380,704.01	-	39,449.62	\$ 447,686,499.09	\$ 153,356,075.82	\$ 601,042,574.90
2026	2	2744	78.92	75.27	61.84	7.82	21.32	25.62	957,924	-	348,707	405,563.99	-	42,025.68	\$ 476,920,427.48	\$ 163,370,227.57	\$ 640,290,655.04
2027	3	2923	78.92	75.27	61.84	7.82	21.32	25.62	1,020,477	-	371,478	432,047.32	-	44,769.95	\$ 508,063,331.39	\$ 174,038,303.43	\$ 682,101,634.82
2028	4	3114	78.92	75.27	61.84	7.82	21.32	25.62	1,087,114	-	395,735	460,260.01	-	47,693.43	\$ 541,239,866.93	\$ 185,403,004.64	\$ 726,642,871.57
2029	5	3318	78.92	75.27	61.84	7.82	21.32	25.62	1,158,102	-	421,577	490,314.98	-	50,807.81	\$ 576,582,830.24	\$ 197,509,820.84	\$ 774,092,651.09
2030	6	3534	78.92	75.27	61.84	7.82	21.32	25.62	1,233,726	-	449,106	522,332.55	-	54,125.56	\$ 614,233,689.06	\$ 210,407,212.14	\$ 824,640,901.20
2031	7	3765	78.92	75.27	61.84	7.82	21.32	25.62	1,314,289	-	478,432	556,440.87	-	57,659.96	\$ 654,343,148.95	\$ 224,146,803.10	\$ 878,489,952.05
2032	8	4011	78.92	75.27	61.84	7.82	21.32	25.62	1,400,112	-	509,674	592,776.46	-	61,425.16	\$ 697,071,756.58	\$ 238,783,589.34	\$ 935,855,345.92
2033	9	4273	78.92	75.27	61.84	7.82	21.32	25.62	1,491,539	-	542,956	631,484.76	-	65,436.22	\$ 742,590,542.28	\$ 254,376,157.72	\$ 996,966,700.01
2034	10	4552	78.92	75.27	61.84	7.82	21.32	25.62	1,588,936	-	578,411	672,720.71	-	69,709.21	\$ 791,081,704.70	\$ 270,986,920.82	\$ 1,062,068,625.52

Fuente: Elaboración propia

e) Alternativas de solución

Para solucionar la problemática presentada en la carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua en su tramo del Km 0+000 al Km 49+600, se propone desarrollar dos alternativas de proyecto, los cuales cada uno de ellos soluciona la problemática presentada, es decir, la reducción del Costo generalizado de Viaje (CGV), ambos proyectos generan los mismos beneficios, por lo que el indicador que se utilizará para seleccionar la mejor alternativa será el Costo Anual Equivalente (CAE).

El Costo Anual Equivalente (CAE) es utilizado frecuentemente para evaluar alternativas del programa o proyecto de inversión que brindan los mismos beneficios; pero que poseen distintos costos y/o distinta vida útil. El Costo Anual Equivalente (CAE) es la anualidad del valor presente de los costos relevantes menos el valor presente del valor de rescate de un programa o proyecto de inversión, considerando el horizonte de evaluación de cada una de las alternativas.

La ecuación que se utiliza para calcular el Costo Anual Equivalente (CAE) es la siguiente:

$$CAE = VPC \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

Dónde:

CAE es el Costo Anual Equivalente

VPC Es el Valor Presente de los Costos

r Es la Tasa Social de Descuento (TSD = 10% anual)

n Es la vida útil del proyecto en años

Para calcular el Valor Presente de los Costos (VPC) es necesario llevar al presente la inversión todos los costos del proyecto, utilizando para ello la ecuación del Valor Presente (P) del interés compuesto, mediante la siguiente ecuación:

$$VPC = \sum_0^n \frac{VFC}{(1+r)^n}$$

Dónde:

VPC es el Valor Presente de los Costos del proyecto

VFC Es el Valor Futuro de cada uno de los Costos del proyecto

r Es la Tasa Social de descuento (TSD)

n Es el año en que se encuentra aplicado cada uno de los costos

Como proyecto No. 1, se propone Rehabilitar el camino, se contemplan trabajos de rehabilitación que se realizaran en tramos parciales, los trabajos se iniciaran con el proceso de fresado de la capa de pavimento existente en un espesor de 4.0 cm en todo el ancho de corona, se continuará con los trabajos de renivelación y bacheo superficial asilado, para posteriormente colocar una carpeta asfáltica de 5.0 cm de espesor con tamaño máximo de 1" (25.4 mm) compactada al noventa y ocho por ciento (98%), finalmente se aplicará la pintura del señalamiento horizontal en el pavimento para el correcto funcionamiento de la vialidad. Los costos del proyecto son los siguientes:

Inversión Inicial	\$ 93,000,000.00 (Con IVA)
Conservación Rutinaria anual	\$ 4,482,505.86 (sin IVA)
Conservación periódica cada 5 años	\$ 25,753,126.00 (sin IVA)
Costos por molestia (año cero)	\$ 25,404,089.64 (sin IVA)
Vida Útil del proyecto	10 años
Tasa Social de Descuento	10 % anual

Utilizado los costos descritos anteriormente y aplicando las ecuaciones mencionadas, se calculó el Costo Anual Equivalente (CAE) para la alternativa del proyecto No. 1:

Tabla No. 19. Cálculo del Valor Presente de los Costos (VPC) alternativa de proyecto No. 1.

ANÁLISIS DEL CAE PARA ALTERNATIVA No. 1						
AÑO	INVERSIÓN INICIAL	COSTOS POR MOLESTIA	CONSERVACIÓN RUTINARIA	CONSERVACIÓN PERIÓDICA	COSTOS TOTALES	VALOR PRESENTE DE LOS COSTOS (VPC)
0	\$ 80,172,413.79	\$ 25,404,089.64			\$ 105,576,503.43	\$ 105,576,503.43
1			\$ 4,482,505.86		\$ 4,482,505.86	\$ 4,075,005.33
2			\$ 4,482,505.86		\$ 4,482,505.86	\$ 3,704,550.30
3			\$ 4,482,505.86		\$ 4,482,505.86	\$ 3,367,773.00
4			\$ 4,482,505.86		\$ 4,482,505.86	\$ 3,061,611.82
5			\$ 4,482,505.86	\$ 25,753,126.00	\$ 30,235,631.86	\$ 18,773,948.54
6			\$ 4,482,505.86		\$ 4,482,505.86	\$ 2,530,257.70
7			\$ 4,482,505.86		\$ 4,482,505.86	\$ 2,300,234.27
8			\$ 4,482,505.86		\$ 4,482,505.86	\$ 2,091,122.07
9			\$ 4,482,505.86		\$ 4,482,505.86	\$ 1,901,020.06
10			\$ 4,482,505.86		\$ 4,482,505.86	\$ 1,728,200.05
					VPC = \$	149,110,226.56

(Fuente: Elaboración propia)

$$CAE_1 = \$ 149,110,226.56 \times \frac{0.1(1 + 0.1)^{10}}{(1 + 0.1)^{10} - 1} = \$ 24,267,002.7$$

Como Proyecto No. 2, se propone reconstruir el camino en los tramos dañados a nivel base, cortando la carpeta del camino, recompactando la base existente y construyendo una capa nueva de base hidráulica estabilizada con cemento, para posteriormente impregnarla y tender una carpeta asfáltica de 6.0 cm de espesor. Los costos del proyecto son los siguientes:

Inversión Inicial	\$ 134,850,000.00 (IVA Incluido)
Conservación Rutinaria anual	\$ 4,482,505.86 (sin IVA)
Conservación periódica cada 5 años	\$ 25,753,126.00 (sin IVA)
Costos por molestia (año cero)	\$ 25,404,089.64 (sin IVA)
Vida Útil del proyecto	15 años
Tasa Social de Descuento	10 % anual

Utilizado los costos descritos anteriormente y aplicando las ecuaciones mencionadas, se calculó el Costo Anual Equivalente (CAE) para la alternativa del proyecto No. 2:

Tabla No. 20. Cálculo del Valor Presente de los Costos (VPC) alternativa de proyecto No. 2.

ANÁLISIS DEL CAE PARA ALTERNATIVA No. 2						
AÑO	INVERSIÓN INICIAL	COSTOS POR MOLESTIA	CONSERVACIÓN RUTINARIA	CONSERVACIÓN PERIÓDICA	COSTOS TOTALES	VALOR PRESENTE DE LOS COSTOS (VPC)
0	\$ 134,850,000.00	\$ 25,404,089.64			\$ 160,254,089.64	\$ 160,254,089.64
1			\$ 4,482,505.86		\$ 4,482,505.86	\$ 4,075,005.33
2			\$ 4,482,505.86		\$ 4,482,505.86	\$ 3,704,550.30
3			\$ 4,482,505.86		\$ 4,482,505.86	\$ 3,367,773.00
4			\$ 4,482,505.86		\$ 4,482,505.86	\$ 3,061,611.82
5			\$ 4,482,505.86	\$ 25,753,126.00	\$ 30,235,631.86	\$ 18,773,948.54
6			\$ 4,482,505.86		\$ 4,482,505.86	\$ 2,530,257.70
7			\$ 4,482,505.86		\$ 4,482,505.86	\$ 2,300,234.27
8			\$ 4,482,505.86		\$ 4,482,505.86	\$ 2,091,122.07
9			\$ 4,482,505.86		\$ 4,482,505.86	\$ 1,901,020.06
10			\$ 4,482,505.86	\$ 25,753,126.00	\$ 30,235,631.86	\$ 11,657,144.97
11			\$ 4,482,505.86		\$ 4,482,505.86	\$ 1,571,090.96
12			\$ 4,482,505.86		\$ 4,482,505.86	\$ 1,428,264.51
13			\$ 4,482,505.86		\$ 4,482,505.86	\$ 1,298,422.28
14			\$ 4,482,505.86		\$ 4,482,505.86	\$ 1,180,383.89
15			\$ 4,482,505.86		\$ 4,482,505.86	\$ 1,073,076.26
					VPC = \$	220,267,995.58

(Fuente: Elaboración propia)

$$CAE_2 = \$ 220,267,995.58 \times \frac{0.1(1 + 0.1)^{15}}{(1 + 0.1)^{15} - 1} = \$ 28,959,465.3$$

Analizando las dos alternativas propuestas mediante el indicador del Costo Anual Equivalente (CAE), utilizado para ello los costos de inversión de cada proyecto, una Tasa Social de Descuento (TSD) del 10 % anual y una vida útil de 10 y 15 años respectivamente, los resultados obtenidos fueron que para el Proyecto No. 1 el CAE₁ es de \$ 24,267,002.7, para el Proyecto No. 2 el CAE₂ de \$ 28,959,465.3, por lo que el mejor proyecto es la alternativa No. 1, que es del menor Costo Anual Equivalente (CAE), se anexa a este documento la memoria del cálculo para estimar este indicador de rentabilidad.

IV. Situación con el Proyecto de Inversión

a) Descripción general

El proyecto de la Rehabilitación de la carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua en su tramo del Km 0+000 al Km 49+600, es un **Proyecto de Infraestructura Económica**, ya que se trate de la construcción, adquisición y/o ampliación de activos fijos para la producción de bienes y servicios en los sectores de agua, **comunicaciones y transportes**. Bajo esta denominación, se incluyen todos los proyectos de infraestructura productiva de largo plazo a que se refieren los artículos 18, tercer párrafo, de la Ley General de Deuda Pública y 32, segundo párrafo, de la Ley, **así como los de rehabilitación y mantenimiento** cuyo objeto sea incrementar la vida útil o capacidad original de los activos fijos destinados a la producción de bienes y servicios de los sectores mencionados.

Tabla No. 21. Tipo de Proyecto de Inversión (Fuente: Elaboración propia)

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

El proyecto contempla trabajos de rehabilitación que se realizarán en una longitud de 42 kilómetros en tramos parciales de la carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua, los trabajos se iniciaran con el proceso de fresado de la capa de pavimento existente en un espesor de 4.0 cm en todo el ancho de corona, se continuará con los trabajos de nivelación y bacheo superficial asilado, para posteriormente colocar una carpeta asfáltica de 5.0 cm de espesor con tamaño máximo de 1” (25.4 mm) compactada al noventa y ocho por ciento (98%), finalmente se aplicará la pintura del señalamiento horizontal en el pavimento para el correcto funcionamiento de la vialidad.



Figura No. 8. Sección Tipo de los trabajos de Rehabilitación (Fuente: Elaboración propia)

Tabla No. 22. Descripción general del Proyecto de Inversión (Fuente: Elaboración propia)

COMPONENTE	TIPO	CANTIDAD	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS
Trabajos para la Rehabilitación de la Carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua del Km 0+000 al Km 49+600.	Camino Tipo D	49.6 Km	Rehabilitación de la superficie del pavimento IRI = 2.6

b) Alineación estratégica

En este apartado de estudio se describirá como el proyecto contribuye a la consecución de los objetivos y estrategias establecidos en el “Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020 – 2024, el Programa Nacional Estratégico de Infraestructura Carretera 2030 (PRONEIC 2030) y el Plan Estatal de Desarrollo Chihuahua 2022 – 2027”, así como al mecanismo de planeación al que hace referencia el artículo 34 fracción I de la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria.

PROGRAMA SECTORIAL DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES 2020 – 2024

La transformación del país hacia un desarrollo equitativo e incluyente, depende en gran medida del acceso a un transporte seguro, ágil y oportuno, y a una conectividad eficiente y suficiente, que son la base del crecimiento económico al

ofrecer los medios para movilizar y controlar todos los bienes e insumos que se requieren para la producción y el consumo, y como detonadores del crecimiento regional. Son, además, los medios de acceso a los servicios de educación, salud y cultura, así como a las fuentes de empleo, derivado de los anterior. El presente proyecto se alinea con:

- I. **El Objetivo Prioritario 1:** “Contribuir al bienestar social mediante la construcción, modernización y conservación de infraestructura carretera accesible, segura, eficiente y sostenible, que conecte a las personas de cualquier condición, con visión de desarrollo regional e intermodal”, a través de las siguientes las siguientes estrategias y líneas de acción.
- II. **Estrategia prioritaria 1.4** Incrementar la cobertura y accesibilidad de las vías de comunicación para impulsar el desarrollo regional y disminuir la marginación.
- III. **Línea de acción 1.4.4** Continuar con la construcción y modernización de la Red Carretera Federal.
- IV. **Línea de acción 1.4.6** Construir y modernizar la infraestructura carretera para el desarrollo regional.

PROGRAMA NACIONAL ESTRATÉGICO DE INFRAESTRUCTURA CARRETERA 2030 (PRONEIC 2030)

El proyecto de los trabajos de Rehabilitación de la carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua podría considerarse que se alinea con el Programa Nacional Estratégico de Infraestructura Carretera 2030 (ProNEIC 2030), el cual es un documento rector para la planeación a largo plazo de infraestructura carretera orientado a impulsar el desarrollo económico y la competitividad nacional.

PLAN ESTATAL DE DESARROLLO CHIHUAHUA 2022 – 2027

El proyecto se alinea perfectamente con el Plan Estatal de Desarrollo 2022-2024, específicamente con:

- I. **El Eje 3: INFRAESTRUCTURA, DESARROLLO URBANO Y MEDIO AMBIENTE.**

Objetivo 10. Mejorar el entorno urbano de manera equilibrada en pos de la sustentabilidad ambiental, con el objetivo de proporcionar seguridad e identidad a las y los habitantes de las zonas urbanas.

Acción 10.3: Incrementar y modernizar la infraestructura de vialidades para una mejor movilidad y articulación de la comunicación interna en las localidades.

- Construir y modernizar obras viales que faciliten la movilidad e integración de las localidades.
- Implementar proyectos que modernicen y brinden transporte público de calidad, privilegiando a la población cuyo salario no le permite desplazarse en automóvil particular.

c) Localización geográfica

La carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua es una vía de comunicación que se localiza en el noroeste del estado de Chihuahua, perteneciente al gobierno del estado y designada como la Carretera Estatal No. 33, el tramo en estudio tiene su origen en el Km 0+000 en la comunidad de Álvaro Obregón, municipio de Cuauhtémoc, Chih., y concluye en el Km 49+600 en la comunidad Campo Setenta y Dos, perteneciente al municipio de Riva Palacio, Chih., así mismo, el proyecto se localiza en las siguientes coordenadas geográficas:

- Km 0+000: Latitud: **28°45'5.93"N** y Longitud: **106°54'25.83"O**
- Km 49+600: Latitud: **29° 6'47.76"N** y Longitud: **106°42'51.05"O**

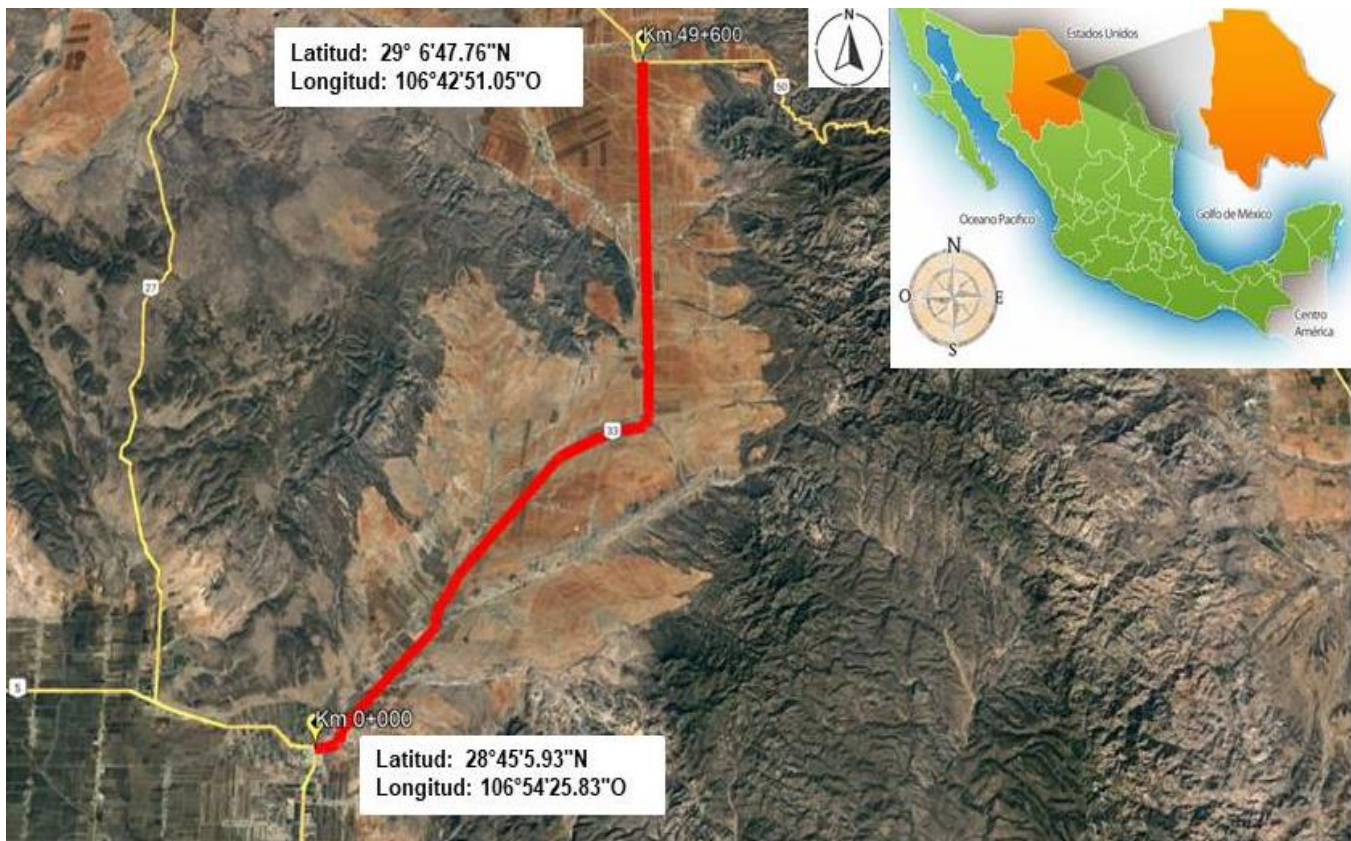


Figura No. 1. Localización geográfica del proyecto objeto de estudio
(Fuente: Elaboración propia)

d) Calendario de actividades

La programación de las principales actividades necesarias para la ejecución y operación del proyecto de inversión se resume en el siguiente cuadro:

Tabla No. 23. Calendario de actividades del Proyecto de Inversión (Fuente: Elaboración propia)

ACTIVIDAD	1er. Trimestre	2do. Trimestre	3er. Trimestre	4to. Trimestre
Pavimentos				
Conservación				
Señalamiento y Dispositivos de Seguridad.				

e) Monto total de inversión

El monto total de inversión del proyecto asciende a \$ 93,000,000.00 con IVA incluido. Este monto se ejercerá en el año 2024 y sus principales componentes son: Pavimentos, Conservación y Señalamientos. En la Tabla No.1 se muestra la distribución de la inversión en los componentes del proyecto.

Tabla No. 1. Montos de la Inversión del Proyecto de Inversión (Fuente: Elaboración propia)

COMPONENTES	MONTO INVERSIÓN
PAVIMENTOS	69,592,931.00
CONSERVACIÓN	7,985,898.00
SEÑ. Y DIS. DE SEG.	2,593,584.79
SUB-TOTAL	80,172,413.79
16% I.V.A.	12,827,586.21
TOTAL	\$ 93,000,000.00

f) Fuentes de financiamiento

La fuente de financiamiento del Proyecto de Inversión procede de recursos Estatales, en un 100 %, establecidos en el presupuesto de egresos del 2024 del estado de Chihuahua.

Tabla No. 24. Fuentes de Financiamiento del Proyecto de Inversión
(Fuente: Elaboración propia)

FUENTE DE LOS RECURSOS	PROCEDENCIA	MONTO	PORCENTAJE
1. Federales	-	-	-
2. Estatales	Presupuesto de egresos del Estado.	\$93,000,000.00	100 %
3. Municipales	-	-	-
4. Fideicomisos	-	-	-
5. Otros	-	-	-
Total		\$ 93,000,000.00	100 %

g) Capacidad instalada

De acuerdo con el estudio de Ingeniería de Tránsito, se estimó que la capacidad de operación de la carretera en ambas direcciones en condiciones ideales es de 2,800 veh/hora, para lo cual se evaluará la evolución del nivel de servicio que presenta la carretera a lo largo del horizonte de proyecto, considerando las condiciones de operación de la carretera.

La expresión utilizada para obtener el nivel de servicio en carreteras de dos carriles, es la recomendada en la publicación técnica No. 485 del Instituto Mexicano del Transporte (IMT) y del manual de capacidad vial de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT), la cual es la siguiente:

$$VS_i = C_i \times V / C_i \times f_D \times f_A \times f_P \times f_{VP}$$

Dónde:

VS_i Es el Volumen de servicio para el nivel de servicio i, en veh/hr

C_i Es la Capacidad en condiciones ideales en ambas direcciones, la cual es de 2,800 vehículos por hora en ambas direcciones.

- V/C_i Es la máxima relación Volumen/Capacidad asociada al nivel de servicio i
- f_D Es el Factor de ajuste por efecto de la distribución direccional.
- f_A Es el Factor de ajuste por efecto de restricciones en el ancho de carril y acotamientos o distancia a obstáculos laterales.
- f_P Es Factor de ajuste por efecto sobre los automóviles de la pendiente en tangentes verticales. Es igual a uno, si el análisis es generalizado
- f_{VP} Es el Factor de ajuste por efecto de vehículos pesados.

Todos los factores descritos anteriormente se obtuvieron de tablas de la publicación técnica No. 485 del Instituto Mexicano del Transporte (IMT). Aplicando la ecuación anterior y sus factores se obtuvieron los volúmenes de servicio para nivel de servicio de la carretera en estudio:

Tabla No. 25. Volumen de Servicio (VS_i) del camino en estudio
(Fuente: Elaboración propia)

VOLUMEN DE SERVICIO	C_i	V/C	f_D	f_A	f_P	f_{VP}	VOLUMEN (VPH)
VS_A	2800	0.14	0.7	0.870	1	1	239
VS_B	2800	0.26	0.7	0.870	1	1	443
VS_C	2800	0.41	0.7	0.870	1	1	699
VS_D	2800	0.63	0.7	0.870	1	1	1,074
VS_E	2800	1	0.7	0.870	1	1	1,705
VS_E	2800	1	0.88	0.870	1	1	2,144

VOLÚMEN DE SERVICIO					
A	B	C	D	E	NIVEL DE SERVICIO
239	443	699	1,074	1,705	VOLÚMEN DE SERVICIO

Con la ayuda del Transito diario promedio anual (TDPA) y el factor K obtenido de las publicación de datos viales de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) ($K= 0.082$ de la Tabla No.4), se puede obtener el volumen de servicio con el cual opera la carretera referida en los datos viales, al ser una aproximación de los volúmenes horarios más altos queda a consideración si es necesario el dividirlo por el FHMD (factor horario de máxima demanda) proporcionado en el “Manual de Capacidad Vial” de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT).

$$VS = TDPA \times K$$

Dónde:

VS Es el Volumen de Servicio (veh/hor)

TDPA Es el Transito diario promedio anual (veh/día)

K Este factor es útil para determinar el volumen horario de proyecto

Aplicando la ecuación anterior se determinaron los volúmenes de servicio a lo largo del horizonte de proyecto, para posteriormente compararlos con los límites obtenidos y así establecer el nivel de servicio al que opera la carretera en estudio.

Tabla No. 26. Nivel de Servicio al que opera el camino en estudio
(Fuente: Elaboración propia)

No.	AÑOS	TDPA (Veh/día)	K	VS (Veh/hora)	NIVEL DE SERVICIO
0	2024	2418	0.082	198	A
1	2025	2576	0.082	211	A
2	2026	2744	0.082	225	A
3	2027	2923	0.082	240	B
4	2028	3114	0.082	255	B
5	2029	3318	0.082	272	B
6	2030	3534	0.082	290	B
7	2031	3765	0.082	309	B
8	2032	4011	0.082	329	B
9	2033	4273	0.082	350	B
10	2034	4552	0.082	373	B

Conclusión:

La carretera opera a nivel de servicio A hasta el año 2 (2026) y nivel B hasta el año 10 (2034).

En la tabla anterior se puede apreciar que la vía de comunicación operara a Nivel de Servicio A hasta el año 2026 y terminará en Nivel de Servicio B en el año 2034, lo que se puede concluir que la carretera operará adecuadamente a lo largo de su vida útil.

h) Metas anuales y totales de producción

Las metas anuales de producción del presente caso consisten en la cantidad de viajes que se realizarán con el Proyecto de Inversión. En este sentido, dicho aforo vehicular se puede consultar Tabla No. 16. Proyección de la demanda (TDPA) de la “situación sin proyecto”, que corresponderá a la situación con proyecto.

i) Vida útil

Se estima que la vida útil del Proyecto de inversión denominado “TRABAJOS DE REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA ÁLVARO OBREGÓN – OJO DE LA YEGUA 0+000 AL KM 49+600” tendrá una vida útil de 10 años, por lo que el horizonte de la evaluación es de 11 años, debido a que el primer año es el tiempo que se llevará la ejecución de los trabajos.

Tabla No. 27. Vida Útil del Proyecto de Inversión
(Fuente: Elaboración propia)

VIDA ÚTIL DEL PROYECTO DE INVERSIÓN	
Vida útil en años	El horizonte de evaluación del proyecto es de 11 años, en tanto que la vida útil del proyecto es por un periodo de 10 años, debido a que el primer año es el tiempo que se lleva la ejecución del proyecto.

j) Descripción de los aspectos más relevantes

Estudios Técnicos: El proyecto ejecutivo fue desarrollado conforme a las Normas para la Infraestructura del transporte de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (NIT-SICT), por lo que desde el punto de vista técnico el proyecto no tiene ningún problema para desarrollarse.

Estudios Legales: Con base en los estudios legales se concluye que se cuenta con la propiedad del derecho de vía y el uso de suelo necesario para llevar a cabo el proyecto, por lo que por la parte legal el proyecto no tiene ningún inconveniente para ejecutarse.

Estudios Ambientales: El resolutivo de la de la Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología del Gobierno del Estado, en relación a la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) establece que debido a que se tratan de trabajos de conservación sobre el camino existente, estos no causan impactos ambientales significativos, por lo que no requiere de una autorización en materia de impacto ambiental, según lo establecido en los artículos 41 y 43 de la Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente del Estado de Chihuahua y de los artículos 104 y 105 de su Reglamento.

Estudios de Económicos: Desde el punto de vista Económico, considerando los resultados que presenta la Evaluación Costo Beneficio Simplificado (ACBS) del proyecto en estudio, se concluye que el presente Proyecto de Inversión, es factible económica de realizar, así como el tiempo en el cual será recuperada la inversión y se comenzarán a presentar ahorros por efecto del mismo.

k) Análisis de la Oferta

El proyecto contempla trabajos de rehabilitación que se realizarán en una longitud de 42.0 kilómetros en tramos parciales, en la carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua, del Km 0+000 al Km 49+600, cuyas características físicas y geométricas se presentan en la Tabla No. 28.

Tabla No. 28. Características físicas y geométricas de la carretera de la “situación con proyecto”

CONCEPTO	TRAMO DEL KM 0+000 AL KM 49+600
Longitud Tramo (Km)	49.6
Tipo de carretera	D
Tipo de terreno	Plano
Número de carriles	2
Ancho de carril (m)	3.5
Franja Central (m)	No cuenta
Ancho de Calzada (m)	7.0
Ancho de Corona (m)	7.0
Acotamiento	No cuenta
Superficie de Rodamiento	Pavimento asfáltico
Índice de Regularidad Promedio (IRI)	2.4
Estado físico del pavimento	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia con base a las características geométricas de la vía obtenidas en campo.

El proyecto contempla trabajos de rehabilitación que se realizarán en una longitud de 42 kilómetros en tramos parciales de la carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua, los trabajos se iniciaran con el proceso de fresado de la capa de pavimento existente en un espesor de 4.0 cm en todo el ancho de corona, se continuará con los trabajos de renivelación y bacheo superficial asilado, para posteriormente colocar una carpeta asfáltica de 5.0 cm de espesor con tamaño máximo de 1” (25.4 mm) compactada al noventa y ocho por ciento (98%),

finalmente se aplicará la pintura del señalamiento horizontal en el pavimento para el correcto funcionamiento de la vialidad.

Con la implementación del proyecto, se mejoraran las condiciones del pavimento, pasando de un estado físico de “Malo” con un IRI = 5.6, a un estado físico “Muy Buena” con un IRI de 2.4, reduciendo con ello el Costos Generalizados de Viaje (CGV) de los usuarios de la vía de comunicación.

I) Análisis de la Demanda

Con la implementación del proyecto no se espera un impacto en la demanda de la situación sin proyecto, por lo que para la situación con proyecto se considerara la misma demanda, Un Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) de 2,418 vehículos por día para el año de 2024, un clasificación del 90.0 % de vehículos tipo A, 0.0 % vehículos tipo B, 10.0 % vehículos tipo C (T3-S2) y una tasa de crecimiento anual del 6.53 %, igual a la situación actual.

Tabla No. 29. Proyección de la demanda (TDPA) de la “situación con proyecto”

No.	AÑOS	TDPA (Veh/día)	VEHICULOS A 90%	VEHICULOS B 0 %	VEHICULOS C 10.0 %
0	2024	2418	2176	0	242
1	2025	2576	2318	0	258
2	2026	2744	2470	0	274
3	2027	2923	2631	0	292
4	2028	3114	2803	0	311
5	2029	3318	2986	0	332
6	2030	3534	3181	0	353
7	2031	3765	3388	0	376
8	2032	4011	3610	0	401
9	2033	4273	3845	0	427
10	2034	4552	4097	0	455

Fuente: Elaboración propia con base a los aforos de campo y estudio de tráfico.

De acuerdo con la metodología propuesta para la estimación del Costo Generalizado de Viaje (CGV) de la situación sin proyecto, se utilizará el un índice de ocupación por tipo de vehículo, de 2.6 personas para vehículos tipo A, 24.2 personas para vehículos tipo B y 1.9 personas para vehículos tipo C.

Para la proyección de la demanda (TDPA) de la situación con proyecto, a lo largo del horizonte de proyecto evaluado, se consideró la tasa de crecimiento anual de 6.53 %, calculado de la misma forma que se realizó en la situación sin proyecto.

m) Interacción Oferta-Demanda

Una vez desarrollado el proyecto de los trabajos de Rehabilitación, su efecto se reflejará en la **“interacción entre la oferta y la demanda de la situación con proyecto”**, reduciendo con ello el Costo Generalizado de Viaje (CGV).

Para evaluar esta situación, se calculó el Costo Generalizado de Viaje (CGV) a lo largo del horizonte de proyecto, considerando la proyección de la demanda esperada (TDPA), estimando así el Costo de Operación Vehicular (COV) anual, la velocidad promedio de operación de los vehículos y por consiguiente la valoración del Costo de Tiempo de Recorrido (CTR) anual de los pasajeros que viajan en los vehículos.

En la tabla siguiente se presentan las velocidades promedio de operación obtenidas de los vehículos de la situación con proyecto, las cuales fueron obtenidas para la nueva condición del pavimento (IRI = 2.4), mediante las recomendaciones de la publicación técnica del Instituto Mexicano el Transporte (IMT) No. 756 “Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2023”, estas velocidades fueron utilizadas para posteriormente calcular el Costo Generalizado de Viaje (CGV) de la situación con proyecto.

Tabla No. 30. Velocidades promedio de operación de la **“situación con proyecto”**

TIPO DE VEHÍCULO	VELOCIDAD PROMEDIO
Vehículo Ligero (A)	83.95 Km/hr
Autobús (B)	79.83 Km/hr
Camión de Carga (C)	72.55 Km/hr

(Fuente: Elaboración propia con base a la publicación técnica No. 756)

Para calcular el Costo de Operación Vehicular (COV) anual de la situación con proyecto, se recurre a la publicación técnica del Instituto Mexicano el Transporte (IMT) No. 756 “Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2023”, que toma como referencia los modelos matemáticos desarrollados por el Banco Mundial, que utiliza un programa de computo denominado *Vehicle Operating Costs* (VOC) adaptando a las características mexicanas, obteniendo así los costos de operación base y los factores de ajuste a estos, según las características de la carretera a estudiar (IRI), los costos de operación base se ajustaron mediante el índice precio productor (IPP) del INEGI a enero del 2024.

Para estimar el Costo de Operación Vehicular (COV) anual de la situación con proyecto, se analizó un periodo de 10 años, que es el horizonte de proyecto, empleado el TDPA para cada año, con la siguiente ecuación:

$$COV = F_b \times CB \times TDPA \times 365 \times Long.$$

Dónde:

COV Costo de operación vehicular anual, para todos los vehículos en cada año.

F_b Factor de costo de operación base, para el tipo de vehículo, tipo de terreno y estado de la superficie del camino.

CB Costo de operación base del vehículo, obtenida de publicación No. 756 (IMT).

TDPA Transito diario promedio anual del vehículo.

Para el cálculo del Costo de Tiempo de Recorrido (CTR) de la situación con proyecto se utilizó la información de la nota Técnica No. 207 del Instituto Mexicano el Transporte (IMT), en la que se considera el valor del tiempo de las personas por concepto de trabajo y por placer del año 2024, considerando que del total de los viaje, el 70% son por trabajo y el 30% por motivo de placer.

Para evaluar el Costo de Tiempo de Recorrido (CTR) anual de la situación con proyecto, se analizó un periodo de 10 años, que es el horizonte de proyecto, empleado el TDPA para cada año, empleando la siguiente ecuación:

$$CTR = TDPA \times Indice \ de \ Ocup. \times Factor \ x \ Costo \ tiempo \ x \ 365$$

Dónde:

CTR Costo del Tiempo de Recorrido (CTR) anual

TDPA Transito diario promedio Anual del vehículo.

Factor El Factor por trabajo o placer del objeto del viaje

Costo Tiempo El valor del tiempo de las personas por concepto de trabajo y por placer.

En la tabla siguiente se presentan los resultados del Costo Generalizado de Viaje (CGV) de la situación con proyecto, evaluando al horizonte de proyecto de 10 años.

Tabla No. 31. Costos Generalizados de Viaje (CGV) de la “**situación con proyecto**” proyectados al horizonte de proyecto.

AÑO	t	Publicación 756 IMT									Con un IRI de: 2.4			Costos Totales (Pesos por Año)				
		Tránsito (Veh/Día)			Velocidad de Operación (km/hr)			Costos de Operación Vehicular (\$/km)			Costos por Tiempos de Recorrido Diario 2024 (Por trabajo y placer)			Situación con Proyecto				
		Total	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	AÑO	COV	CTR	CGV
2024	0	2418	2176	0	242	83.95	79.83	72.55	7.08	20.17	23.19	335,955.62	-	31,564.79	2,024	380,452,627	134,144,949	514,597,576
2025	1	2576	2318	0	258	83.95	79.83	72.55	7.08	20.17	23.19	357,893.52	-	33,625.97	2,025	405,296,184	142,904,614	548,200,798
2026	2	2744	2470	0	274	83.95	79.83	72.55	7.08	20.17	23.19	381,263.96	-	35,821.75	2,026	431,762,025	152,236,286	583,998,310
2027	3	2923	2631	0	292	83.95	79.83	72.55	7.08	20.17	23.19	406,160.50	-	38,160.91	2,027	459,956,085	162,177,315	622,133,400
2028	4	3114	2803	0	311	83.95	79.83	72.55	7.08	20.17	23.19	432,682.78	-	40,652.82	2,028	489,991,217	172,767,494	662,758,711
2029	5	3318	2986	0	332	83.95	79.83	72.55	7.08	20.17	23.19	460,936.97	-	43,307.45	2,029	521,987,644	184,049,211	706,036,855
2030	6	3534	3181	0	353	83.95	79.83	72.55	7.08	20.17	23.19	491,036.15	-	46,135.42	2,030	556,073,437	196,067,625	752,141,061
2031	7	3765	3388	0	376	83.95	79.83	72.55	7.08	20.17	23.19	523,100.81	-	49,148.06	2,031	592,385,032	208,870,840	801,255,873
2032	8	4011	3610	0	401	83.95	79.83	72.55	7.08	20.17	23.19	557,259.30	-	52,357.43	2,032	631,067,775	222,510,106	853,577,881
2033	9	4273	3845	0	427	83.95	79.83	72.55	7.08	20.17	23.19	593,648.33	-	55,776.37	2,033	672,276,500	237,040,016	909,316,517
2034	10	4552	4097	0	455	83.95	79.83	72.55	7.08	20.17	23.19	632,413.56	-	59,418.57	2,034	716,176,156	252,518,729	968,694,885

(Fuente: Elaboración propia)

En la tabla anterior se puede apreciar que con el desarrollar el proyecto se presentará una reducción significativa en el Costo generalizado de Viaje (CGV), lo cual solucionaría la problemática presentada en este estudio.

V. Evaluación del Proyecto de Inversión

a) Identificación, cuantificación y valoración de costos del Proyecto de inversión.

Los costos que se consideraran para el Análisis Costo Beneficio Simplificado (ACBS) de este proyecto son: el monto de la inversión inicial para realizar el proyecto de inversión, consistentes en los trabajos de rehabilitación del pavimento; los costos por molestia, los costos los costos de mantenimiento y conservación para la situación con proyecto, que corresponden a lo siguiente:

- IV. Costos por molestia, que son los que se originan por la construcción de los desvíos en el proceso de la ejecución del proyecto, referentes al incremento en el Costo del Tiempo de Recorrido (CTR) de los pasajeros dentro de los vehículos, ya que se reducen las velocidades.
- V. Costos de la Conservación Rutinario, que incluye básicamente la limpieza general y reparación de pequeños desperfectos de la superficie de rodamiento del tramo, como son bacheos y renivelaciones en tramos aislados, en forma anual, desde el inicio de las operaciones del proyecto hasta terminar su vida útil;
- VI. Costos de conservación periódica, que incluye bacheo y renivelación general, además de la colocación de una sobre carpeta asfáltica a la mitad de su vida útil, al 5^{to} año.

Tabla No. 2. Costos del proyecto

COSTOS DEL PROYECTO	MONTOS (\$)
Inversión inicial (2024)	\$ 80,172,413.79 (Sin IVA)
Costos por molestia (2024)	\$ 25,404,089.64 (Sin IVA)
Conservación Rutinaria (Anual)	\$ 4,482,505.86 (Sin IVA)
Sobre carpeta al 5to año (mitad vida útil)	\$ 25,753,126.00 (Sin IVA)

(Fuente: Elaboración propia)

b) Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios del Proyecto de inversión.

El beneficio directo identificado, por el desarrollo de este proyecto, son los ahorros que se obtienen en la reducción del Costo Generalizado de Viaje (CGV) de los vehículos y personas que transitan por la carretera en estudio. Para el calcularlo, se realizó la diferencia entre la Situación sin Proyecto y con Proyecto del costo generalizado de viaje (CGV), para cada uno de los años de la vida útil del proyecto, estos ahorros antes mencionados, se pueden apreciar en la Tabla No. 3.

Tabla No. 3. Beneficios o ahorros anuales generados por el proyecto de inversión

t	AÑO	AHORROS O BENEFICIOS DIRECTOS		
		CGV SIN PROYECTO	CGV CON PROYECTO	AHORROS EN CGV
0	2024	\$ 564,200,295.60	\$ 514,597,576.29	\$ 49,602,719.31
1	2025	\$ 601,042,574.90	\$ 548,200,798.02	\$ 52,841,776.88
2	2026	\$ 640,290,655.04	\$ 583,998,310.13	\$ 56,292,344.91
3	2027	\$ 682,101,634.82	\$ 622,133,399.79	\$ 59,968,235.03
4	2028	\$ 726,642,871.57	\$ 662,758,710.79	\$ 63,884,160.78
5	2029	\$ 774,092,651.09	\$ 706,036,854.61	\$ 68,055,796.48
6	2030	\$ 824,640,901.20	\$ 752,141,061.21	\$ 72,499,839.99
7	2031	\$ 878,489,952.05	\$ 801,255,872.51	\$ 77,234,079.54
8	2032	\$ 935,855,345.92	\$ 853,577,880.98	\$ 82,277,464.93
9	2033	\$ 996,966,700.01	\$ 909,316,516.61	\$ 87,650,183.39
10	2034	\$ 1,062,068,625.52	\$ 968,694,885.15	\$ 93,373,740.37

Fuente: Elaboración propia

c) Cálculo de los Indicadores de Rentabilidad

Para evaluar la factibilidad económica de este proyecto se utilizaron los indicadores de rentabilidad recomendados por los LINEAMIENTOS para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión, publicados en el Diario Oficial de la Federación, el lunes 30 de diciembre de 2013, los cuales fueron:

- V. Valor Presente Neto (VPN),
- VI. Relación Beneficio - Costo (B/C),
- VII. Tasa Interna de Retorno (TIR) y
- VIII. Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI)

Para realizar los cálculos de los indicadores de rentabilidad, se realizó el flujo de los flujos de capital del proyecto a lo largo del horizonte de proyecto, es decir, Costos totales los costos del proyecto, como son, el Costo de la Inversión Inicial, el costo por molestia, los Costos de mantenimiento y los Beneficios generados por el desarrollo del proyecto, que fueron determinados como los ahorros en el Costo Generalizado de Viaje (CGV), cuyos montos se obtuvieron en las Tablas No. 2 y 3 respectivamente, los cuales se concentraron en la Tabla No. 32.

Para evaluar los indicadores de rentabilidad se utilizó una Tasa Social de descuento (TSD) del 10 % anual, fijada en el artículo Tercero Transitorio de los INEAMIENTOS para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión, y de la Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP), publicado en el oficio Circular No. 400.1.410.14.099 del 13 de enero del 2014.

Tabla No. 32. Flujos de capital generados por el proyecto de inversión

t	TASA SOCIAL DE DESCUENTO r (%)	TASA DE INCREMENTO ANUAL DE TRAFICO VEHICULAR (%)	BENEFICIOS		COSTOS		FACTOR DE ACTUALIZACION (1+r) ^t	BENEFICIOS A VALOR PRESENTE	COSTOS A VALOR PRESENTE	BENEF - COSTOS A VALOR PRESENTE	COSTO DE INVERSION POR AMORTIZAR (\$).	TRI	BENEF - COSTOS
			AHORRO EN COSTO GENERALIZADO DE VIAJE (\$/año)	COSTOS DE CONSTRUCCION, MOLESTIA Y MANTENIMIENTO									
0				\$ 105,576,503.43		1.000		\$ 105,576,503.43	-\$ 105,576,503				\$ (105,576,503.43)
1	10.00%	6.10%	\$ 52,841,776.88	\$ 4,482,505.86	1.100	\$ 48,037,978.98	\$ 4,075,005.33	\$ 43,962,974				45.8%	\$ 48,359,271.02
2	10.00%	6.10%	\$ 56,292,344.91	\$ 4,482,505.86	1.210	\$ 46,522,599.10	\$ 3,704,550.30	\$ 42,818,049				49.1%	\$ 51,809,839.05
3	10.00%	6.10%	\$ 59,968,235.03	\$ 4,482,505.86	1.331	\$ 45,055,022.56	\$ 3,367,773.00	\$ 41,687,250				52.6%	\$ 55,485,729.17
4	10.00%	6.10%	\$ 63,884,160.78	\$ 4,482,505.86	1.464	\$ 43,633,741.40	\$ 3,061,611.82	\$ 40,572,130				56.3%	\$ 59,401,654.92
5	10.00%	6.10%	\$ 68,055,796.48	\$ 4,482,505.86	1.611	\$ 42,257,295.19	\$ 2,800,257.70	\$ 39,457,037				60.1%	\$ 63,517,334.13
6	10.00%	6.10%	\$ 72,499,839.99	\$ 4,482,505.86	1.772	\$ 40,924,269.61	\$ 2,530,257.70	\$ 38,394,012				64.4%	\$ 68,017,334.13
7	10.00%	6.10%	\$ 77,234,079.54	\$ 4,482,505.86	1.949	\$ 39,633,294.92	\$ 2,300,234.27	\$ 37,333,061				68.9%	\$ 72,751,573.68
8	10.00%	6.10%	\$ 82,277,464.93	\$ 4,482,505.86	2.144	\$ 38,383,044.62	\$ 2,091,122.07	\$ 36,291,923				73.7%	\$ 77,794,959.07
9	10.00%	6.10%	\$ 87,650,183.39	\$ 4,482,505.86	2.358	\$ 37,172,234.03	\$ 1,901,020.06	\$ 35,271,214				78.8%	\$ 83,167,677.54
10	10.00%	6.10%	\$ 93,373,740.37	\$ 4,482,505.86	2.594	\$ 35,999,619.01	\$ 1,728,200.05	\$ 34,271,419				84.2%	\$ 88,891,234.51
								417,619,099.41	149,110,226.55	\$ 268,508,873 = VPN		TIR =	49.91%

Fuente: Elaboración propia

I. Valor Presente Neto (VPN)

El Valor Presente Neto (VPN) es la suma de los flujos netos anuales, descontados por la Tasa Social de Descuento (TSD). Para el cálculo del El Valor Presente Neto (VPN), tanto los costos como los beneficios futuros del programa o proyecto de inversión son descontados, utilizando la Tasa Social de Descuento (TSD) para su comparación en un punto en el tiempo o en el "presente". Si el resultado del Valor Presente Neto (VPN) es positivo, significa que los beneficios derivados del programa o proyecto de inversión son mayores a sus costos, el proyecto es rentable. Alternativamente, si el

resultado del Valor Presente Neto (VPN) es negativo, significa que los costos del programa o proyecto de inversión son mayores a sus beneficios, lo que indicará que el proyecto no es rentable.

La fórmula del Valor Presente Neto (VPN) es:

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + r)^t}$$

Dónde:

B_t Son los Beneficios totales en el año t

C_t Son los Costos totales en el año t

n Número de años en el horizonte de evaluación

r Es la Tasa Social de Descuento (TSD)

t Año calendario en donde el año 0 será el inicio de las erogaciones

De la tabla No. 32, se puede apreciar que se llevó a Valor Presente los Beneficios y los Costos, por lo que para calcular el Valor Presente Neto (VPN) sería:

$$VPN = \text{Valor Presente de Beneficios (VPB)} - \text{Valor Presente de los Costos (VPC)}$$

$$VPN = \$ 417,619,099.41 - 149,110,226.55 = \$ 268,508,872.9$$

$$VPN = \$ 268,508,872.9 > 0 \text{ por lo que el proyecto es rentable}$$

II. Relación Beneficio - Costo (B/C)

El método consiste en obtener la relación del valor actualizado de los beneficios que genera el proyecto entre el valor actualizado de los erogaciones (costos) hechas por el proyecto. Si la relación $B/C > 1$, el proyecto es rentable (Si es Factible), pero si la relación $B/C < 1$, el proyecto no es rentable (NO es factible económicamente).

La fórmula de la relación Beneficio – Costo (B/C) es:

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^n B_t(1 + r)^{-t}}{\sum_{t=0}^n C_t(1 + r)^{-t}}$$

Dónde:

- B_t Son los Beneficios totales en el año t
- C_t Son los Costos totales en el año t
- n Número de años en el horizonte de evaluación
- r Es la Tasa Social de Descuento (TSD)
- t Año calendario en donde el año 0 será el inicio de las erogaciones

De la tabla No. 32, se puede apreciar que se llevó a Valor Presente los Beneficios y los Costos, por lo que para calcular la relación B/C sería:

$$B/C = \frac{\$ 417,619,099.41}{\$ 149,110,226.55} = 2.80 > 1 \text{ el Proyecto es rentable}$$

III. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) se define como la tasa de descuento que hace que el Valor Presente Neto (VNP) de un programa o proyecto de inversión sea igual a cero. Esto es económicamente equivalente a encontrar el punto de equilibrio de un programa o proyecto de inversión, es decir, el valor presente de los beneficios netos del programa o proyecto de inversión es igual a cero y se debe comparar contra una tasa de retorno deseada.

La TIR se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

Dónde:

- B_t Son los Beneficios totales en el año t
- C_t Son los Costos totales en el año t
- n Número de años en el horizonte de evaluación
- TRI Tasa interna de Retorno, para VPN = 0
- t Año calendario en donde el año 0 será el inicio de las erogaciones

Para encontrar la Tasa Interna de Retorno (TIR) se calculó el valor del Valor Presente Neto (VPN) para diferentes tasa de descuento, cuyos valores se graficaron en la Figura No. 9, en la cual se puede apreciar como el Valor

Presente Neto (VPN) se va reduciendo, hasta hacerse un valor negativo, de ahí se puede inferir que para una tasa del 49.91 %, el Valor Presente Neto (VPN) se hace cero, por lo éste valor corresponde a la Tasa Interna de Retorno (TIR).

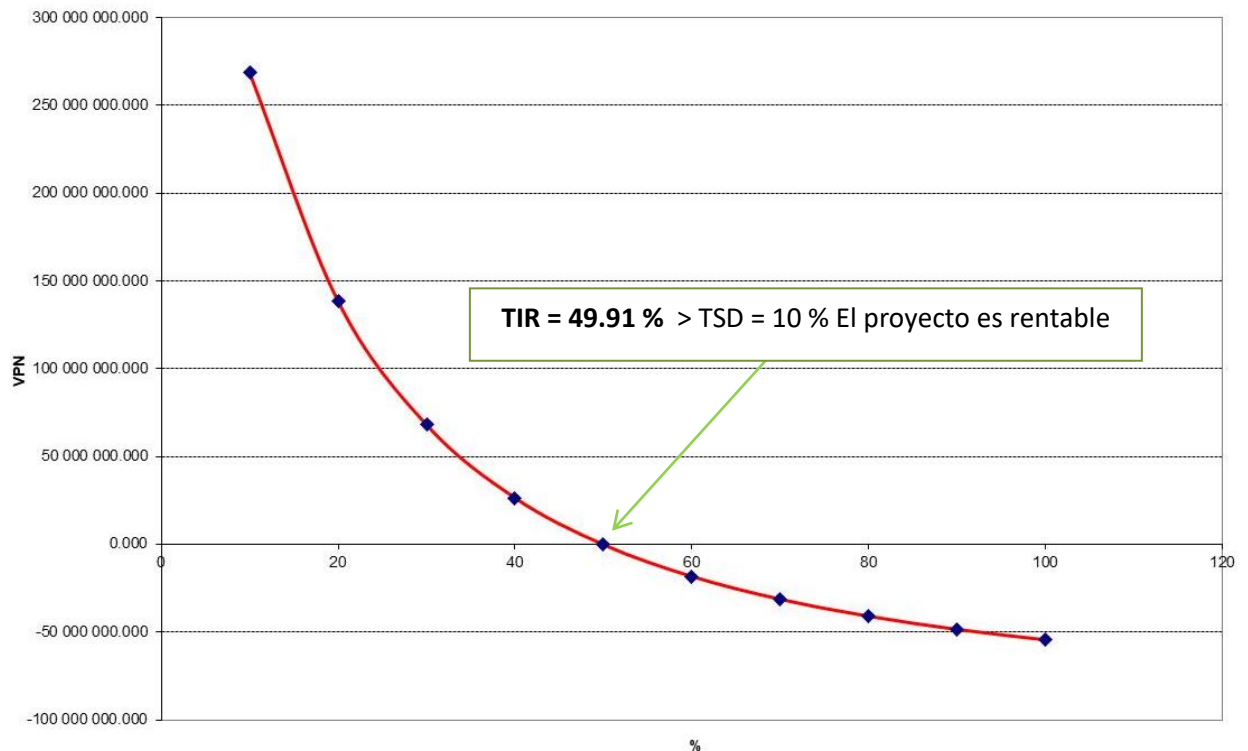


Figura No. 9. Variación del Valor Presente Neto (VPN) del proyecto de Inversión
(Fuente: Elaboración propia)

De la gráfica anterior se puede concluir que:

La Tasa Interna de Retorno (TIR) = 49.91 % > 10 % (TSD) el proyecto es rentable o factible.

IV. Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI)

La Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI) es un indicador de rentabilidad que permite determinar el momento óptimo para la entrada en operación de un programa o proyecto de inversión con beneficios crecientes en el tiempo. A pesar de que el Valor Presente Neto (VPN) sea positivo para el

programa o proyecto de inversión, en algunos casos puede ser preferible postergar su ejecución.

La TRI se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$TRI = \frac{B_{t+1} - C_{t+1}}{I_t}$$

Dónde:

B_{t+1} Es el beneficio total en el año t+1

C_{t+1} Es el costo total en el año t+1

I_t Monto total de inversión valuado al año t (inversión acumulada hasta el periodo t)

t Año anterior al primer año de operación

t+1 Primer año de operación

De la Tabla 31, Aplicando la ecuación anterior se tiene:

$$TRI = \frac{\$ 52,841,776.88 - \$ 4,482,505.86}{\$ 105,576,503.43} = 44.80 \% > 10 \% (TSD)$$

por lo que es el momento óptimo de poner en operación el proyecto

En la Siguiete tabla se resumen los indicadores analizados en este apartado del estudio, resultando de la evaluación Económica del Proyecto de Inversión, por lo que se puede concluir que, el desarrollo del proyecto planteado **es rentable desde el punto de vista Económico y Social.**

Tabla No. 4. Indicadores de rentabilidad generados por el proyecto de inversión

INDICADORES DE RENTABILIDAD	
INDICADOR	VALOR
Valor Presente Neto (VPN)	\$ 268,508,872.9
Relación Beneficio – Costo (B/C)	2.80
Tasa interna de retorno (TIR)	49.91 %
Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI)	45.80 %

(Fuente: Elaboración propia)

d) Análisis de sensibilidad

Para realizar el análisis de Sensibilidad, se seleccionaron los indicadores de rentabilidad, con el objetivo de determinar la rentabilidad del proyecto con diferentes escenarios, para mostrar el **impacto** de las variables relevantes en la evaluación del proyecto de inversión, su valor en el cual el Valor Presente Neto (VNP) es igual a cero y finalmente, resumir de forma concreta las principales conclusiones del análisis de sensibilidad. Para este análisis se consideraron como variables más relevantes al monto de la inversión, los costos mantenimiento y los beneficios del proyecto.

Se analizaron diferentes “**escenarios desfavorables al proyecto**”, incrementando el costo de inversión y mantenimiento de un 10 % a un 40% y reduciendo los beneficios de 10 a 40 %, con el fin de evaluar el efecto que se tendría en la rentabilidad del proyecto. Los resultados obtenidos sobre el análisis de Sensibilidad de los indicadores de rentabilidad se muestran las tablas siguientes:

Tabla No. 33. Análisis de Sensibilidad de Monto de Inversión (Fuente: Elaboración propia)

VARIABLE	VARIACIÓN RESPECTO A SU VALOR ORIGINAL	IMPACTO SOBRE EL INDICADOR DE RENTABILIDAD	
INVERSIÓN INICIAL	+ 10 %	VPN =	\$ 257,951,222.52
		B/C =	2.62
		TIR =	45.46 %
		TRI =	41.64 %
	+ 20 %	VPN =	\$ 247,393,572.17
		B/C =	2.45
		TIR =	41.69 %
		TRI =	38.17 %
	+ 30%	VPN =	\$ 236,835,921.83
		B/C =	2.31
		TIR =	38.45 %
		TRI =	35.23 %
	+ 40 %	VPN =	\$ 226,278,271.49
		B/C =	2.18
		TIR =	35.62 %
		TRI =	32.72 %

En el análisis de Sensibilidad de la Tabla No. 33, en donde se ha aumentado de un 10 % hasta un 40% el costo de la inversión inicial, el proyecto continuará siendo rentable económicamente. Asimismo, con una variación porcentual positiva del 345 % del monto de inversión inicial, el Valor Presente Neto (VPN) sería igual a cero, una Tasa Interna de Retorno de (TIR) de 10.56 % y una Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI) del 13.28 %.

Para el análisis de Sensibilidad de la Tabla No. 34, en donde se ha aumentado de un 10 % hasta un 40% el costo de Mantenimiento, el proyecto continuará siendo rentable económicamente. Asimismo, con una variación porcentual positiva del 720 % del monto de Mantenimiento, el Valor Presente Neto (VPN) sería igual a cero, una Tasa Interna de Retorno de (TIR) de 9.77 % y una Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI) del 19.48 %.

Tabla No. 34. Análisis de Sensibilidad del Monto de Operación y Mantenimiento
(Fuente: Elaboración propia)

VARIABLE	VARIACIÓN RESPECTO A SU VALOR ORIGINAL	IMPACTO SOBRE EL INDICADOR DE RENTABILIDAD	
COSTOS DE MANTENIMIENTO	+ 10 %	VPN =	\$ 264,155,500.55
		B/C =	2.72
		TIR =	49.35 %
		TRI =	45.38 %
	+ 20 %	VPN =	\$ 259,802,128.23
		B/C =	2.65
		TIR =	48.78 %
		TRI =	44.96 %
	+ 30%	VPN =	\$ 255,448,755.92
		B/C =	2.58
		TIR =	48.21 %
		TRI =	44.53 %
	+ 40 %	VPN =	\$ 251,095,383.61
		B/C =	2.51
		TIR =	47.64 %
		TRI =	44.11 %

Tabla No. 35. Análisis de Sensibilidad de los Beneficios del Proyecto
(Fuente: Elaboración propia)

VARIABLE	VARIACIÓN RESPECTO A SU VALOR ORIGINAL	IMPACTO SOBRE EL INDICADOR DE RENTABILIDAD	
BENEFICIOS	- 10 %	VPN =	\$ 226,746,962.92
		B/C =	2.5
		TIR =	44.43 %
		TRI =	40.80 %
	- 20 %	VPN =	\$ 184,985,052.98
		B/C =	2.20
		TIR =	38.81 %
		TRI =	35.79 %
	- 30%	VPN =	\$ 143,223,143.04
		B/C =	2.0
		TIR =	33.00 %
		TRI =	30.79 %
	- 40 %	VPN =	\$ 101,461,233.09
		B/C =	1.70
		TIR =	26.92 %
		TRI =	25.78 %

En el análisis de Sensibilidad de la Tabla No. 35, en donde se reducen de un 10 % hasta un 40 % los beneficios generados por el proyecto, el proyecto continuará siendo rentable económicamente. Asimismo, con una reducción porcentual del 64.0 % de los beneficios, el Valor Presente Neto (VPN) sería igual a cero, una Tasa Interna de Retorno de (TIR) de 10.24 % y una Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI) del 13.77 %.

e) Análisis de riesgos

En este apartado se identificaron los principales riesgos asociados al Proyecto de Inversión, en sus etapas de ejecución y operación, dichos riesgos, se calificaron con base en la factibilidad de su ocurrencia y analizando sus impactos, en un escenario Optimista, medio y pesimista, así como la emisión de acciones

necesarias para su mitigación, con el fin de reducir el impacto al mínimo en el desarrollo y operación del proyecto de inversión.

Tabla No. 36. Análisis de Riesgo del Proyecto (Fuente: Elaboración propia)

RIESGOS	IMPACTO EN EL PROYECTO			PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (%)		
	Optimista	Medio	Pesimista	Optimista	Medio	Pesimista
Retraso en el proceso de licitación.	10%	25%	35%	10%	40%	45%
Retraso en los trabajos de Rehabilitación de la carretera.	10%	30%	40%	10%	30%	40%
Retraso en la obtención de permisos	10%	25%	45%	5%	25%	35%
Fallas relacionadas con la calidad del servicio.	20%	25%	60%	15%	20%	40%

Analizando los posibles riesgos del proyecto de la Tabla No.36, en la siguiente tabla se presentan las medidas de mitigación que se proponen con el fin de minimizar el impacto de los riesgos identificados en el desarrollo del proyecto de inversión.

Tabla No. 37. Medidas de mitigación de los riesgos (Fuente: Elaboración propia)

RIESGOS	MEDIDA DE MITIGACIÓN
Retraso en el proceso de licitación.	Revisar con tiempo los trámites administrativos correspondientes.
Retraso en los trabajos de Rehabilitación de la carretera.	Elegir a un proveedor del servicio que demuestre capacidad de respuesta.
Retraso en la obtención de permisos.	Realizar con tiempo los trámites administrativos correspondientes.
Fallas relacionadas con la calidad del servicio.	Revisar que los trabajos se realicen de acuerdo a la normativa vigente.

VI. Conclusiones y Recomendaciones

De acuerdo con la evolución desarrollada en el presente documento, sobre la Rehabilitación de la Carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua en su tramo del Km 0+000 al Km 49+600, el desarrollo del proyecto soluciona completamente la problemática presentada. Con la ejecución del proyecto de inversión, se reduce considerablemente el Costo Generalizado de Viaje (CGV), beneficiando directamente a los usuarios de esta vía, incrementando la velocidad promedio de operación de los vehículos y por consiguiente la reducción del Costo de Tiempo de Recorrido (CTR) anual de los pasajeros que viajan en los vehículos, además de reducir el Costo de Operación Vehicular (COV) anual.

Con la Rehabilitación de la carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua en su tramo del Km 0+000 al Km 49+600, se verán beneficiados los habitantes de esta región del este de Chihuahua, mejorando sustancialmente las condiciones de operación de esta vía de comunicación.

Los principales beneficios que se tendrán con la Rehabilitación de esta obra son:

- Aumento en las velocidades de operación de los diferentes tipos de usuarios.
- Reducción en los tiempos de recorrido.
- Reducción en los costos de operación de los diferentes tipos de vehículos.
- Reducción en el Costo Generalizado de Viaje (CGV).
- Disminución en los niveles de contaminación auditiva y del aire.
- Operación más segura para los usuarios, al reducirse significativamente la posibilidad de accidentes.
- Mejora del nivel de servicio.

Además de considerar que este proyecto de rehabilitación vial, es económicamente rentable, ya que el monto del Valor Presente Neto (VPN) es de \$ 268,508,872.90 el cual es mayor a cero, lo que indica que el proyecto es rentable o factible. La relación Beneficio – Costo (B/C) es de 2.80 mayor a uno, lo que indica que el proyecto es rentable. La Tasa Interna de Retorno (TIR) es de 49.91 %, mayor a la Tasa Social de Descuento (TSD) que es del 10 %, el proyecto es rentable y por último la Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI) es de 45.80 %, mayor a la Tasa Social de Descuento (TSD) que es del 10 %, lo que indica que es el

momento óptimo de realizar la inversión del proyecto. Por lo expuesto anteriormente **se puede concluir que el Proyecto de Inversión es factible** desde el punto de vista económico y social.

De acuerdo con los Indicadores de Rentabilidad obtenidos en el presente estudio, **se recomienda la realización del Proyecto de Inversión**, de acuerdo con los indicadores obtenidos en el presente estudio.

VII. Anexos

NÚMERO DEL ANEXO	CONCEPTO DEL ANEXO	DESCRIPCIÓN
Anexo A	Costos de Operación Base de Vehículos 2023	Tablas de Costos de Operación Vehicular y Velocidades de vehículos (Publicación Técnica No. 756 IMT), anexo a este documento.
Anexo B	Estudio de Tránsito del tramo carretero	Contiene el Estudio de Ingeniería de tránsito, Archivo Digital.
Anexo C	Costo Generalizado de Viaje (CGV) Situación Actual	Memoria de Cálculo CGV Situación Actual, Archivo Digital.
Anexo D	Cotos Por Molestia	Memoria de Cálculo Costos por Molestia, Archivo Digital.
Anexo E	Estudio ACBS	Memoria de Cálculo con los Costos, Beneficios e Indicadores de Rentabilidad del Proyecto, Archivo Digital.
Anexo F	Análisis del Costo Anual Equivalente (CAE)	Memoria Análisis del Costo Anual Equivalente (CAE), Archivo Digital.
Anexo G	Análisis de Sensibilidad	Memoria de Cálculo del Análisis de Sensibilidad, Archivo Digital.
Anexo H	Nivel de Servicio de la Vía y su Proyección	Memoria de Cálculo del Nivel de Servicio de la Vía y su Proyección, Archivo Digital.

Anexo A

Costos de Operación Base de los Vehículos Representativos del Transporte Interurbano 2023

Tabla No. 38. Costo de Operación Base de Vehículo Ligero (Vehículo tipo A 2023)

(Fuente: Publicación Técnica No. 756 IMT)

URVAN Nissan, con motor de 139 HP
Llantas Firestone convencionales

Consumos, por cada 1,000 veh-km

Consumo de combustible	litros	172.08
Uso de lubricantes	litros	1.85
Consumo de llantas	Núm. llantas nuevas equivalentes	0.06
Tiempo de operador	horas	10.68
Mano de obra de mantenimiento	horas	2.18
Refacciones	% precio vehiculo nuevo	0.15
Depreciación	% precio vehiculo nuevo	0.30
Intereses (tasa 4.75%)	% precio vehiculo nuevo	0.05

Costos unitarios en pesos, precios 2023

Precio de vehículo nuevo	\$	424 941.19
Costo de combustible	\$/litro	18.79
Costo de lubricantes	\$/litro	44.83
Costo de llanta nueva	\$/llanta	1 120.69
Tiempo de operador	\$/hora	36.64
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	33.63
Tasa de interés anual	%	5.29
Costos indirectos por veh-km	\$	0.60

Costo de operación base (pesos, por veh-km) \$ 6.57

Consumo de combustible	\$	3 233.33
Uso de lubricantes	\$	83.01
Consumo de llantas	\$	67.07
Tiempo de operador	\$	391.43
Mano de obra de mantenimiento	\$	73.26
Refacciones	\$	625.59
Depreciación	\$	1 294.84
Interés	\$	205.49
Costos indirectos	\$	600.00

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos, así como, del software VOC (versión 4.0), para el Vehículo Ligero.

Tabla No. 39. Costo de Operación Base de Autobús (Vehículo tipo B 2023)

(Fuente: Publicación Técnica No. 756 IMT)

Autobús integral foráneo, con motor SCANIA DC12 02 EPA de 380 HP
Sin aire acondicionado
Llantas 1100-22.00 normal

Consumos, por cada 1,000 veh-km

Consumo de combustible	litros	398.63
Uso de lubricantes	litros	3.37
Consumo de llantas	Núm. llantas nuevas equivalentes	0.26
Tiempo de operador	horas	11.47
Mano de obra de mantenimiento	horas	11.06
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.13
Depreciación	% precio vehículo nuevo	0.05
Intereses (tasa 4.75%)	% precio vehículo nuevo	0.01

Costos unitarios en pesos, precios 2023

Precio de vehículo nuevo	\$	2 394 428.00
Costo de combustible	\$/litro	20.33
Costo de lubricantes	\$/litro	45.69
Costo de llanta nueva	\$/llanta	3 043.11
Tiempo de operador	\$/hora	97.42
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	87.94
Tasa de interés anual	%	5.29
Costos indirectos por veh-km	\$	1.58

Costo de operación base (pesos, por veh-km) \$ 17.39

Consumo de combustible	\$	8 104.10
Uso de lubricantes	\$	154.05
Consumo de llantas	\$	793.74
Tiempo de operador	\$	1 117.13
Mano de obra de mantenimiento	\$	972.44
Refacciones	\$	3 199.10
Depreciación	\$	1 209.46
Interés	\$	255.92
Costos indirectos	\$	1 580.00

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos, así como, del software VOC (versión 4.0), para el Autobús.

Tabla No. 40. Costo de Operación Base de Camión de Carga T3-S2 (Vehículo tipo C 2023)

(Fuente: Publicación Técnica No. 756 IMT)

Tractocamión de tres ejes INTERNATIONAL 9200i con MOTOR CUMMINS ISX de 450 HP
Semirremolque de dos ejes, tipo caja de aluminio de 40 pies
Llantas 1100-20.00 normal

Consumos, por cada 1,000 veh-km

Consumo de combustible	litros	483.92
Uso de lubricantes	litros	5.45
Consumo de llantas	Núm. llantas nuevas equivalentes	0.33
Tiempo de operador	horas	11.48
Mano de obra de mantenimiento	horas	30.48
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.27
Depreciación	% precio vehículo nuevo	0.05
Intereses (tasa 4.75%)	% precio vehículo nuevo	0.01

Costos unitarios en pesos, precios 2023

Precio de vehículo nuevo	\$	1 280 074.00
Costo de combustible	\$/litro	20.33
Costo de lubricantes	\$/litro	45.69
Costo de llanta nueva	\$/llanta	2 844.83
Tiempo de operador	\$/hora	77.59
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	62.07
Tasa de interés anual	%	5.29
Costos indirectos por veh-km	\$	1.81

Costo de operación base (pesos, por veh-km) \$ 19.94

Consumo de combustible	\$	9 838.00
Uso de lubricantes	\$	249.09
Consumo de llantas	\$	942.82
Tiempo de operador	\$	890.49
Mano de obra de mantenimiento	\$	1 891.76
Refacciones	\$	3 495.06
Depreciación	\$	679.13
Interés	\$	143.70
Costos indirectos	\$	1 810.00

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos, así como, del software VOC (versión 4.0), para el T3-S2.

Tabla No. 41. Velocidades y Costos de Operación de Vehículo Ligero (Vehículo tipo A)

(Fuente: Publicación Técnica No. 756 IMT)

Tabla 3.19 Velocidad de Operación-Vehículo Ligero
Valores calculados en km/h (2023)

IIR	Plano	Lomerío	Montañoso
2	84.33	66.71	51.76
4	82.44	65.94	51.46
6	78.03	64.08	50.75
8	71.39	60.90	49.48
10	63.87	56.69	47.58
12	56.69	52.01	45.17

Nota 1: Columnas: diferentes tipos de terreno.

Nota 2: Renglones: Índice de Regularidad Internacional en m/km.

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el Vehículo Ligero.

Tabla 3.20 Costos de Operación-Vehículo Ligero
Valores calculados en pesos por veh-km (2023)

IIR	Caso base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	6.57	6.85	7.58	8.59
4	6.95	7.24	7.98	8.98
6	7.45	7.76	8.52	9.51
8	8.16	8.49	9.26	10.24
10	9.17	9.50	10.27	11.22
12	10.30	10.63	11.37	12.29

Nota 1: Columnas: diferentes tipos de terreno.

Nota 2: Renglones: Índice de Regularidad Internacional en m/km.

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el Vehículo Ligero.

Tabla 3.21 Factores del Costo Base-Vehículo Ligero
(adimensional)

IIR	Caso base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	1.00	1.04	1.15	1.31
4	1.06	1.10	1.21	1.37
6	1.13	1.18	1.30	1.45
8	1.24	1.29	1.41	1.56
10	1.40	1.45	1.56	1.71
12	1.57	1.62	1.73	1.87

Nota 1: Columnas: diferentes tipos de terreno.

Nota 2: Renglones: Índice de Regularidad Internacional en m/km.

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el Vehículo Ligero.

Tabla No. 42. Velocidades y Costos de Operación de Autobús (Vehículo tipo B)

(Fuente: Publicación Técnica No. 756 IMT)

Tabla 3.16 Velocidad de Operación-Autobús Foráneo
Valores calculados en km/h (2023)

IIR	Plano	Lomerío	Montañoso
2	80.14	62.78	47.79
4	78.61	62.12	47.52
6	74.44	60.45	46.94
8	67.63	57.38	45.82
10	59.82	53.14	44.07
12	52.50	48.40	41.77

Nota 1: Columnas: diferentes tipos de terreno.

Nota 2: Renglones: Índice de Regularidad Internacional en m³/km.

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el Autobús.

Tabla 3.17 Costos de Operación-Autobús Foráneo
Valores calculados en pesos por veh-km (2023)

IIR	Caso base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	17.39	19.60	24.63	30.45
4	18.07	20.33	25.45	31.32
6	18.69	21.02	26.32	32.27
8	19.40	21.77	27.26	33.33
10	20.40	22.74	28.32	34.50
12	21.73	24.01	29.58	35.84

Nota 1: Columnas: diferentes tipos de terreno.

Nota 2: Renglones: Índice de Regularidad Internacional en m³/km.

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el Autobús.

Tabla 3.18 Factores del Costo Base-Autobús Foráneo
(adimensional)

IIR	Caso base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	1.00	1.13	1.42	1.75
4	1.04	1.17	1.46	1.80
6	1.07	1.21	1.51	1.86
8	1.12	1.25	1.57	1.92
10	1.17	1.31	1.63	1.98
12	1.25	1.38	1.70	2.06

Nota 1: Columnas: diferentes tipos de terreno.

Nota 2: Renglones: Índice de Regularidad Internacional en m³/km.

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el Autobús.

Tabla No. 43. Velocidades y Costos de Operación de Camión de Carga T3-S2 (Vehículo tipo C)

(Fuente: Publicación Técnica No. 756 IMT)

Tabla 3.4 Velocidad de Operación-Camión Articulado (T3-S2)
Valores calculados en km/h (2023)

IIR	Plano	Lomerío	Montañoso
2	73.33	51.04	37.88
4	69.42	50.12	37.57
6	59.93	47.45	36.76
8	49.29	42.90	35.12
10	40.75	37.72	32.70
12	34.41	32.94	29.91

Nota 1: Columnas: diferentes tipos de terreno.

Nota 2: Renglon: Índice de Regularidad Internacional en m/km.

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el T3-S2.

Tabla 3.5 Costos de Operación-Camión Articulado (T3-S2)
Valores calculados en pesos por veh-km (2023)

IIR	Caso base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	19.94	22.41	28.58	35.76
4	21.24	23.91	30.23	37.45
6	22.59	25.39	31.90	39.16
8	24.49	27.20	33.70	40.96
10	26.75	29.34	35.67	42.88
12	29.19	31.69	37.82	44.92

Nota 1: Columnas: diferentes tipos de terreno.

Nota 2: Renglon: Índice de Regularidad Internacional en m/km.

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el T3-S2.

Tabla 3.6 Factores del Costo Base-Camión Articulado (T3-S2)
(adimensional)

IIR	Caso base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	1.00	1.12	1.43	1.79
4	1.07	1.20	1.52	1.88
6	1.13	1.27	1.60	1.96
8	1.23	1.36	1.69	2.05
10	1.34	1.47	1.79	2.15
12	1.46	1.59	1.90	2.25

Nota 1: Columnas: diferentes tipos de terreno.

Nota 2: Renglon: Índice de Regularidad Internacional en m/km.

Fuente: Elaboración propia, derivada de la información de precios e insumos para el T3-S2.

VIII. Bibliografía

- I. Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2023. Publicación Técnica No. 756. Instituto Mexicano del Transporte.
- II. Estimación del valor del tiempo de los ocupantes de los vehículos que circulan por la red carretera de México, 2024. Nota Técnica No. 207. Instituto Mexicano del Transporte.
- III. Guía para la obtención de los insumos necesarios para la evaluación económica de proyectos de infraestructura carretera, 2016. Publicación Técnica No. 485. Instituto Mexicano del Transporte.
- IV. Guía general para la presentación de estudios de evaluación socioeconómica de programas y proyectos de inversión: análisis costo-beneficio, actualización 2015. Centro de estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP).
- V. Guía general para la presentación de estudios de evaluación socioeconómica de programas y proyectos de inversión Actualización. Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos. Centro de estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP), 2013.
- VI. Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión. Diario Oficial de la Federación. 30 de diciembre de 2013.
- VII. Metodología general para la evaluación de proyectos. Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos. Centro de estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP), 2008.
- VIII. Metodología global de las etapas que componen el ciclo de inversiones. Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), 2012.



SECRETARÍA
**DE COMUNICACIONES
Y OBRAS PÚBLICAS**



ESTUDIOS DE TRÁNSITO

CARRETERA ESTATAL 5 ÁLVARO OBREGÓN – OJO DE LA YEGUA KM. 15

**Estación aforadora de referencia:
Carretera Cuauhtémoc – Buenaventura Punto Generador:
Álvaro Obregón Km. 42**

OBTENCIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO.....	2
UBICACIÓN DE PUNTO DE AFORO.	8
RESULTADO DEL AFORO POR CLASIFICACIÓN VEHÍCULAR	9
ESTUDIO DE TRÁNSITO EN EL PUNTO DE AFORO	10
ANEXO CLASIFICACIÓN VEHICULAR.	11

OBTENCIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO

De los compendios de datos viales de Secretaría de Comunicaciones y Transportes S.C.T. se resumen los siguientes datos considerando condiciones similares de crecimiento para el tramo en estudio:

Tabla 1 Estadísticas de Aforos

AFOROS VEHICULARES CARR. CUAUHTÉMOC - BUENAVENTURA DE DATOS VIALES DE LA SCT.

CHIHUAHUA

22.- CARR: ELSUECO - VILLA BATITUD. 28.752776° LONGITUD.- -106.918176°

Lugar	Km	ESTACION		CLASIFICACION VEHICULAR EN PORCIENTO														Año	
		TE	SC	TDPA	M	A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4	OTROS	A	B	C	K'		D
Álvaro Obregón	42	3	0	4935		89.90	6.70	1.80	1.40	0.00	0.00	0.00	0.20	89.90	6.70	3.40	0.100	0.516	2008
			0	5271		90.50	2.40	2.20	1.00	1.50	0.60	1.20	0.60	90.50	2.40	7.10	0.084		2009
			0	5345		91.80	1.60	2.70	1.10	1.50	0.50	0.00	0.80	94.80	1.60	6.60	0.095	0.502	2010
			1	3024	0.9	77.80	3.10	9.90	1.80	3.50	2.10	0.30	0.60	78.70	3.10	18.20	0.080	0.501	2011
			2	3039	0.9	77.80	3.10	9.90	1.80	3.50	2.10	0.30	0.60	78.70	3.10	18.20	0.080	0.501	2011
			1	3239	0.2	73.20	4.80	14.20	2.20	3.30	1.60	0.30	0.20	73.40	4.80	21.80	0.096	0.507	2012
			2	3156	0.2	70.80	5.40	15.20	2.50	3.60	1.70	0.30	0.30	71.00	5.40	23.60	0.090	0.507	2012
			1	3583	0.2	74.70	3.20	14.50	1.80	3.40	1.40	0.40	0.40	74.90	3.20	21.90	0.076	0.508	2013
			2	3468	0.1	71.50	3.80	17.00	1.90	3.50	1.50	0.30	0.40	74.160	3.80	24.60	0.077	0.508	2013
			1	3608	0.3	74.70	3.20	14.50	1.80	3.40	1.40	0.40	0.30	75.00	3.20	21.80	0.086	0.51	2014
			2	3468	0.2	71.50	3.70	17.00	1.90	3.60	1.50	0.30	0.30	71.70	3.70	24.60	0.080	0.51	2014
			1	3777	0.4	74.60	3.00	14.70	1.90	3.20	1.30	0.40	0.50	75.00	3.00	22.00	0.081	0.509	2015
			2	3642	0.3	72.00	3.50	16.80	2.00	3.40	1.40	0.40	0.20	72.30	3.50	24.20	0.081	0.509	2015
			1	3971	0.4	76.20	1.10	15.50	1.40	3.20	1.30	0.40	0.50	76.60	1.10	22.30	0.087	0.506	2016
			2	4061	0.9	72.90	1.30	17.70	1.50	3.40	1.50	0.30	0.50	73.80	1.30	24.90	0.083	0.506	2016
			1	3865	0.4	73.10	1.20	16.70	2.20	3.60	1.90	0.50	0.40	73.50	1.20	25.30	0.069	0.503	2017
			2	3919	0.7	69.00	1.30	19.70	2.30	3.90	2.30	0.40	0.40	69.70	1.30	29.00	0.071	0.503	2017
			1	3624	0.3	73.00	1.20	17.80	2.30	3.20	1.30	0.80	0.10	73.30	1.20	25.50	0.076	0.517	2018
			2	3386	0.8	74.60	1.20	15.10	2.40	3.60	1.50	0.50	0.30	75.40	1.20	23.40	0.075	0.517	2018
			1	3636	0.3	73.00	1.20	17.80	2.30	3.20	1.30	0.08	0.10	73.30	1.20	25.50	0.076	0.517	2019
			2	3529	0.8	74.60	1.20	15.10	2.40	3.60	1.50	0.50	0.30	75.40	1.20	23.40	0.075	0.517	2019
			1	3609	0.6	72.10	1.20	16.50	2.30	4.20	2.30	0.60	0.20	72.70	1.20	26.10	0.089	0.508	2020
			2	3497	0.6	72.10	1.20	16.50	2.30	4.20	2.30	0.60	0.20	72.70	1.20	26.10	0.1	0.508	2020
			1	3396	0.3	73.00	1.20	17.80	2.30	3.20	1.30	0.80	0.10	73.30	1.20	25.50	0.076	0.517	2021
			2	3296	0.8	74.60	1.20	15.10	2.40	3.60	1.50	0.50	0.30	75.40	1.20	23.40	0.075	0.517	2021
			1	3674	1.5	86.30	1.30	3.70	1.50	3.50	1.40	0.60	0.20	87.80	1.30	10.90	0.088	0.501	2022
			2	3695	1.5	84.70	1.70	4.00	1.70	3.70	1.70	0.70	0.30	86.20	1.70	12.10	0.082	0.501	2022

Nomenclatura de abreviaciones

TE (Tipo de Estación) Considerando el sentido en el que crece el kilometraje de la carretera, el No. "1" indica que el aforo fue efectuado antes del punto generador, el "2" que fue realizado en el punto generador y el "3" que el aforo se llevó a cabo después del punto generador.

SC (Sentido de Circulación). - El Numero "1" indica que los datos corresponden al sentido de circulación en que crece el cadenamamiento del camino, el "2" al sentido en que decrece el kilometraje u el "0" a ambos sentidos

K' Este Factor es útil para determinar el volumen horario de proyecto, el dato que se proporciona es aproximado y se obtuvo a partir de relacionar los volúmenes horarios más altos registrados en la muestra de aforo semanal y el tránsito diario promedio anual.

D (Factor Direccional).- Este Factor se obtuvo de dividir el volumen del tránsito horario en el sentido de circulación más cargado, entre el volumen en ambos sentidos a la misma hora.

Tipos de Vehículos y Descripción

A Automóviles

B Autobuses

C2 Camiones Unitarios de 2 Ejes

T3S2 Tractor de 3 Ejes con Semirremolque de 2 Ejes

T3S3 Tractor de 3 Ejes con Semirremolque de 3 Ejes

T3S2R4 Tractor de 3 Ejes con Semirremolque de 2 Ejes y Remolque de 4 Ejes

Otros Considera otro tipo de combinaciones de camiones de carga

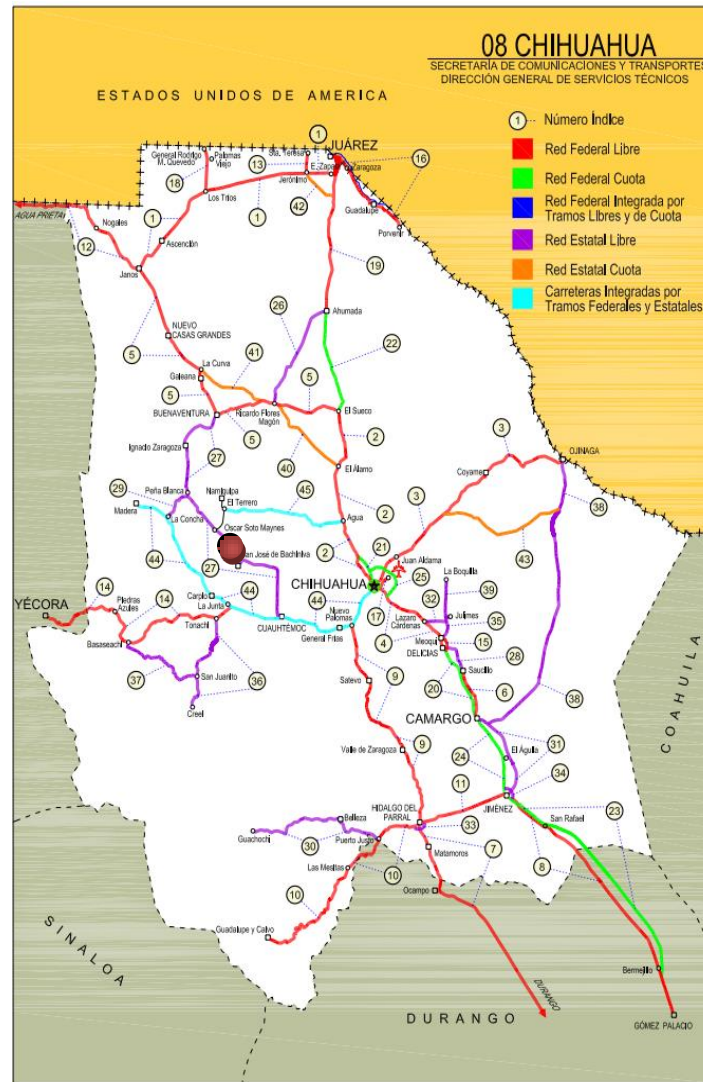


Fig. No. 1 Ubicación del punto de interés en el Estado de Chihuahua (Carretera Cuauhtémoc – Buenaventura) Estación Álvaro Obregón

CÁLCULO DE TDPA PARA EL AÑO 2022 Y TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL VOLUMEN DE TRANSITO

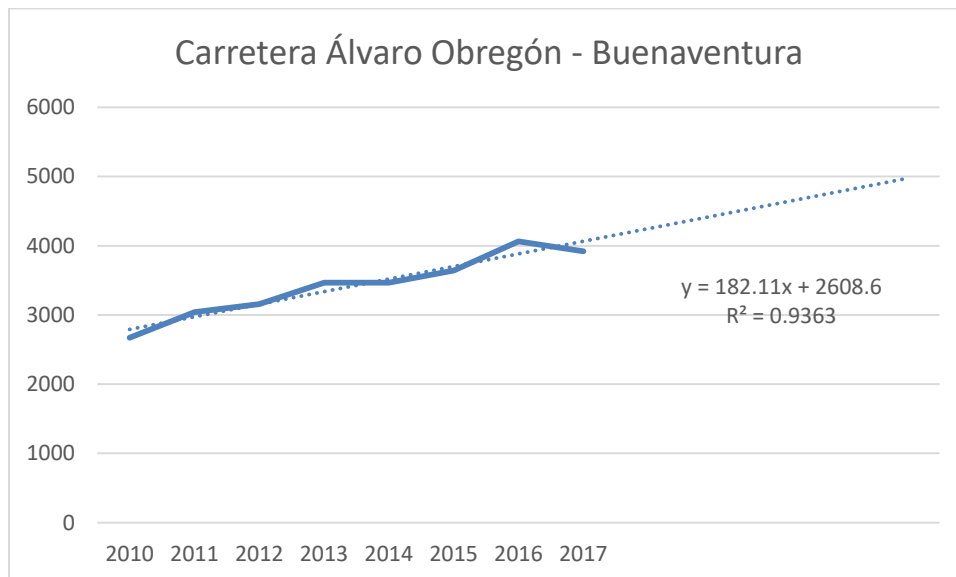
De la Tabla de Aforos Vehiculares para la Carretera Cuauhtémoc – Álvaro Obregón, se recopilan los datos de TDPA de cada año

Tabla 2 Aforos Anuales

DATOS		
No.	AÑO	TDPA
1	2010	2672
2	2011	3039
3	2012	3156
4	2013	3468
5	2014	3468
6	2015	3642
7	2016	4061
8	2017	3919
9	2018	3386
10	2019	3529
11	2020	3497
12	2021	3296
13	2022	3695

Con los datos de tránsito diario promedio anual del año 2010 hasta el año 2018 se grafican los datos de la tabla y se calculan líneas de tendencia lineal.

El volumen de T.D.P.A. a partir del año 2018 se descarta debido a la disminución de movilidad atribuido principalmente que en ese año fue el comienzo de por la pandemia de COVID, ya para el año 2022 se recupera la tendencia



Gráfica 1 Grafica de año y TDPA con línea de tendencia Lineal y ecuación lineal

De la gráfica anterior se observa que la línea ajustada con tendencia lineal se ajusta con los datos proporcionados un R^2 ¹ de 93.63

Por lo anterior, se propone que se calcule el Volumen de Tránsito para los siguientes años basándose en la siguiente expresión:

$$\text{TDPA} = 182.11 X + 2,608.6$$

Siendo el No. 1 en la horizontal el año 2010 y el No. 8 el año 2017

Por lo tanto, según la ecuación, el Volumen de tránsito estimado para el año 2024 es de:

$$2,608.6 + 182.11 (15) = 5,340 \text{ Vehículos/Día}$$

$$\text{TDPA para el Año 2024} = 5,340 \text{ Veh/Día}$$

La Tasa de Crecimiento anual (r) sería de:

$$r = (F/P-1)/n$$

En Donde:

r = Tasa de crecimiento anual del TDPA

F = Valor futuro de TDPA en el Año Cualquiera

P = Valor de TDPA en Año 2010

n = No. De años desde 2010 hasta el año en estudio

¹ El valor R cuadrado es una medida estadística que indica qué tan cerca están los datos de la línea de regresión ajustada. También se conoce como coeficiente de determinación, o coeficiente de determinación múltiple si se trata de regresión múltiple. La ecuación de línea de tendencia es una fórmula que encuentra una línea que se ajusta mejor a los puntos de datos. El valor R cuadrado mide la confiabilidad de la línea de tendencia: cuanto más cerca esté R^2 a 1, mejor se ajustará la línea de tendencia a los datos

Cálculo de Tasa de Crecimiento para el Año 2023 con Dato de TDPA considerando la tendencia lineal obtenida.

Tabla 3 Calculo de T.D.P.A al año en curso

DATOS		
No.	AÑO	TDPA
1	2010	2791
2	2011	2973
3	2012	3155
4	2013	3337
5	2014	3519
6	2015	3701
7	2016	3883
8	2017	4065
9	2018	4248
10	2019	4430
11	2020	4612
12	2021	4794
13	2022	4976
14	2023	5158
15	2024	5340

TDPA Año 2010 2,791 Veh/día TDPA Año 2024 5,340 Veh/día No. Años 14

$$r = ((5,340 / 2,791) - 1) / 14 = 6.53 \%$$

Crecimiento Anual (r) = 6.53 %

Tabla 4 Clasificación Vehicular Vigente Carretera Álvaro Obregón - Buenaventura

CLASIFICACION VEHICULAR EN PORCIENTO														
M	A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4	OTROS	A	B	C	K'	D	Año
1.5	86.30	1.30	3.70	1.50	3.50	1.40	0.60	0.20	87.80	1.30	10.90	0.088	0.501	2022
1.5	84.70	1.70	4.00	1.70	3.70	1.70	0.70	0.30	86.20	1.70	12.10	0.082	0.501	2022

Conclusiones:

El Tránsito Diario Promedio Anual de Diseño para el año 2024 tomando en consideración **la tasa de crecimiento anual (r) de 6.53 %** asciende a 5,340 Veh/Día. Dado que el tramo en estudio presenta similares condiciones socio – demográficas y es la estación de aforo más cercana, se recomienda considerar la misma línea de tendencia obtenida.

UBICACIÓN DE PUNTO DE AFORO.

Se realizó un Estudio de aforos con contadores propios en el Km. 15 de la Carretera Estatal 33 Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua



Figura No. 2 Ubicación sobre imagen satelital del punto de aforo

Coordenadas de Ubicación UTM Zona 13 323293.00 m E 3192704.00 m N



Figura No. 3 Colocación del Dispositivo Aforador Vista Atrás



Figura No. 4 Señal SII-14 de kilometraje y ruta en el punto de aforo Vista adelante (Estatl 33 Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua Km. 15)

RESULTADO DEL AFORO POR CLASIFICACIÓN VEHÍCULAR

AFORO VEHICULAR KM. 55.5 CARRETERA Álvaro Obregón - Soto Máynez

RESUMEN CLASIFICACIÓN POR EJES (FWHA)

AFORO VEHICULAR KM. 15 CARRETERA Álvaro Obregón - Ojo de la Yegua

RESUMEN CLASIFICACIÓN POR EJES (FWHA)

NO.	Descripción	FHWA	SICT	Aforados	Porcentaje
1	Motocicleta	Motos	N/A	34	0%
2	Vehículo Ligero	Ligeros	A	6,714	39%
3	Camionetas, Vans	2A-4T	A	8,677	51%
4	Camiones de Pasajeros	Buses	B	14	0%
5	Camión Unitario de dos ejes	2A-SU	C2	259	2%
6	Camión Unitario de tres ejes	3A-SU	C3	292	2%
7	Camión Unitario de 4 o más Ejes	4A-SU	N/A	35	0%
8	Tractocamión con un remolque de 3 o 4 ejes	4A-ST	C2-R2	215	1%
9	Tractocamión con un remolque de 5 ejes	5A-ST	C3-R2	559	3%
10	Tractocamión con un remolque de 6 o más ejes	6A-ST	C3-R3	187	1%
11	Tractocamión con un remolque y semirremolque de hasta 5 ejes	5A-MT	TS-S1 T2-S2 T2-S3	36	0%
12	Tractocamión con un remolque y semirremolque de 6 ejes	6A-MT	T2-S2-R2 T2-S1-R3 T3-S1-R2 T2-S2-S2	21	0%
13	Tractocamión con un remolque y semirremolque de 7 eje o mas	Otros	T3-SA-R3 T3-S2-R2 T3-S2-R3 T2-S2-R4 T3-S2-S2 T3-S3-S2	89	1%
TOTAL				17,132	100%

Se distribuye el porcentaje de vehículos en un 50% en sentido directo (8,552) y un 50% en sentido inverso (8,580) para una carretera de un carril por sentido.

El periodo de aforo es del 06 de febrero al 13 de febrero de 2024.

ESTUDIO DE TRÁNSITO EN EL PUNTO DE AFORO

TRÁFICO DIARIO PROMEDIO

Tipo de Vehículos	De lunes a viernes		Fin de Semana		Totales	
	Vehículos	Porcentaje	Vehículos	Porcentaje	Vehículos	Porcentaje
Vehículos Ligeros	2126	88%	2306	95%	2177	90%
Camiones de Carga	289	9%	118	5%	240	10%
	2,416		2,425		2,418	

VELOCIDADES PROMEDIO (km/h)

Vehículos Ligeros	102.0
Camiones de Carga	86.9

Velocidad Registrada	Máxima	160.8
Velocidad 85 percentil		119.0

Aplicando similar línea de tendencia en la tasa de crecimiento obtenida del Tramo comparativo de la carretera Álvaro Obregón – Buenaventura se obtiene los siguientes resultados para el tramo en Estudio Carretera Álvaro Obregón – Ojo de la Yegua Tabla 5 Horizonte de T.D.P.A de Proyecto.

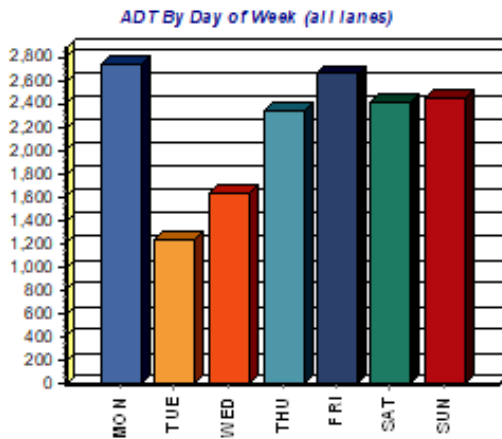


Tabla 5 Horizonte de T.D.P.A de Proyecto

DATOS		
No.	AÑO	Horizonte TDPA de Proyecto
5	2028	3,328
10	2033	4,239
15	2038	5,149
20	2043	6,060
25	2048	6,970

Figura No. 5 Gráfica de Tráfico Diario Promedio por día de la semana ambos sentidos

Entre los factores que se enlistan que afectan el resultado del aforo del tráfico diario promedio se enumeran los ciclos agrícolas, la finalización del calendario escolar y los periodos vacacionales.

Esta región, además, presenta condiciones socio – económicas atípicas respecto a lo que se presenta en la generalidad de los tramos carreteros. Se presenta la circulación de vehículos que no están clasificados en las Normas de pesos y dimensiones NOM-012-SCT-2-2017, que pueden incidir en la precisión de los resultados mostrados.

ANEXO CLASIFICACIÓN VEHICULAR.

Se anexan la clasificación vehicular de acuerdo a las especificaciones de los departamentos de transporte norteamericanos que arrojan los datos de los aparatos aforadores, ajustándolas a las que rigen en la Norma Oficial Sobre el peso y dimensiones máximas Mexicana NOM-012-SCT-2-2017.
























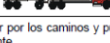
FHWA Vehicle Classifications				
1. Motorcycles 2 axles, 2 or 3 tires 	2. Passenger Cars 2 axles, can have 1- or 2-axle trailers 	3. Pickups, Panels, Vans 2 axles, 4-tire single units Can have 1 or 2 axle trailers 	4. Buses 2 or 3 axles, full length 	
5. Single Unit 2-Axle Trucks 2 axles, 6 tires (dual rear tires), single-unit 	6. Single Unit 3-Axle Trucks 3 axles, single unit 	7. Single Unit 4 or More-Axle Trucks 4 or more axles, single unit 	8. Single Trailer 3- or 4-Axle Trucks 3 or 4 axles, single trailer 	
9. Single Trailer 5-Axle Trucks 5 axles, single trailer 		10. Single Trailer 6 or More-Axle Trucks 6 or more axles, single trailer 		
11. Multi-Trailer 5 or Less-Axle Trucks 5 or less axles, multiple trailers 			12. Multi-Trailer 6-Axle Trucks 6 axles, multiple trailers 	
13. Multi-Trailer 7 or More-Axle Trucks 7 or more axles, multiple trailers 				

Ilustración 1 Tabla de Clasificación de acuerdo a la FHWA (Administración Federal Carreteras EE.UU.)

AUTOBUS (B)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	VEHÍCULO
B2	2	6	
B3	3	8 o 10	
B4	4	10	






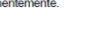
Nota: Los autobuses deben circular por los caminos y puentes de jurisdicción federal con las luces encendidas permanentemente.

TABLA 5.2.2

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	


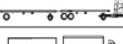

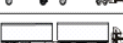
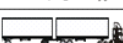


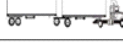
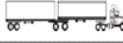

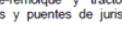
Nota: Los camiones unitarios y camión remolque deben circular por los caminos y puentes de jurisdicción federal con las luces encendidas permanentemente.

TABLA 5.2.3

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	







Nota: Las configuraciones de tractocamión articulado deben circular por los caminos y puentes de jurisdicción federal con las luces encendidas permanentemente.

TABLA 5.2.4

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	






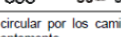
Nota: Las configuraciones de tractocamión semirremolque-remolque y tractocamión semirremolque-semirremolque deben circular por los caminos y puentes de jurisdicción federal con las luces encendidas permanentemente.

TABLA 5.2.2

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	

Nota: Los camiones unitarios y camión remolque deben circular por los caminos y puentes de jurisdicción federal con las luces encendidas permanentemente.

TABLA 5.2.3

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	

Nota: Las configuraciones de tractocamión articulado deben circular por los caminos y puentes de jurisdicción federal con las luces encendidas permanentemente.

Ilustración 2 Tablas de Clasificación de Vehículos Norma Oficial Sobre el peso y dimensiones máximas Mexicana NOM-012-SCT-2-2017