



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DEL CAMINO “ECOVIVERISTA  
CASASANO – EX HACIENDA EL HOSPITAL”**

**T E S I N A**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**ESPECIALISTA EN VÍAS TERRESTRES**

PRESENTA:

**ING. IGNACIO GUERRA FERRUSCA**

DIRECTOR DE TESINA: ING. AGUSTÍN MELO JÍMENEZ

MÉXICO, CDMX.

JUNIO 2017

Agradezco principalmente a mis padres María Elena Ferrusca León e Ignacio Guerra Gutiérrez, los cuáles siempre me han apoyado en todo, y no fue la excepción para cumplir este objetivo. De igual forma agradezco a mi abuelo Ignacio Guerra Tejeda que fue junto con mi padre la gran inspiración de estudiar esta carrera, ellos me sembraron el amor por la Ingeniería Civil, además de ser grandes ejemplos a seguir en su distinguida carrera profesional.

También agradezco a mi hermana Rocío Elena Guerra Ferrusca, por complementar a partir de sus conocimientos los míos, siendo una arquitecta que admiro, pero sobre todo una hermana que me ha brindado su apoyo incondicional. A mi hermano, Héctor Miguel Guerra Ferrusca, el cual cursa la carrera de Ingeniería Mecánica y con el que he compartido no sólo parte de mi vida, sino también aspectos profesionales, los cuales me han ayudado a forjarme como la persona que soy.

Agradezco el apoyo de ambos y de toda mi familia en general abuelas, abuelos, tíos, tías, primas, primos. De igual forma a todos los amigos que me apoyaron y compañeros de trabajo de los cuáles he aprendido mucho.

También agradezco a mis maestros de la especialidad de los cuales aprendí mucho. En especial agradezco al Ingeniero Agustín Melo Jiménez que me ayudo a desarrollar esta tesina y con su clase a mostrarme lo interesante e importante que es la evaluación de carreteras y en general la planeación.

Por último agradezco al Instituto de Ingeniería de la UNAM por ayudarme con la beca de especialidad a realizar mis estudios y tesina de mejor manera, además de poder aprender mucho con los proyectos que realizamos, especialmente agradezco a la Dra. Angélica del Rocío Lozano Cuevas por brindarme la oportunidad de entrar a esta gran institución.

## Contenido

Introducción.....	1
Objetivo.....	1
Capítulo 1.- MARCO CONTEXTUAL.....	2
Justificación del problema.....	2
Historia del camino en estudio.....	3
Actividades que se realizan en la zona en la actualidad.....	4
Expectativas acerca del camino.....	8
Capítulo 2.- MARCO TEÓRICO.....	9
Costos de mantenimiento e inversión.....	9
Análisis de la oferta.....	11
Determinación de IRI (Índice de Rugosidad Internacional) y la velocidad de operación. ....	12
Costos de operación vehicular y por tiempo de recorrido.....	18
Análisis de la demanda.....	23
Indicadores de rentabilidad económica y análisis de sensibilidad.....	25
Capítulo 3.- SITUACIÓN ACTUAL.....	29
Ubicación geográfica.....	29
Características geométricas.....	30
Mecánica de suelos.....	35
Análisis de la Oferta.....	35
Análisis de la demanda.....	36
CAPÍTULO 4.- SITUACIÓN SIN PROYECTO.....	37
Análisis de la oferta.....	37
Velocidad de operación.....	37
Costos de operación.....	38
Costos por tiempo de recorrido.....	39
Análisis de la demanda.....	40
Capítulo 5.- SITUACIÓN CON PROYECTO.....	42
Análisis de la oferta.....	44
Progresión del Índice de Rugosidad Internacional.....	45
Velocidad de operación.....	48
Costo de operación.....	49
Costo por tiempo de recorrido.....	50
Análisis de la demanda.....	51
Capítulo 6.- EVALUACIÓN DEL PROYECTO.....	52
Indicadores de rentabilidad.....	52
Análisis de sensibilidad.....	60
Conclusiones y recomendaciones.....	63
Bibliografía:.....	64

## Lista de tablas

TABLA 1. POLÍTICA DE CONSERVACIÓN PARA OBRAS DE MEJORAMIENTO DE CAMINOS RURALES.....	11
TABLA 2. FACTORES DE EQUIVALENCIAS DE CARGAS POR EJES SENCILLOS.....	14
TABLA 3. FACTORES DE EQUIVALENCIA PARA CARGAS POR EJES TÁNDEM.....	15
TABLA 4. ASIGNACIÓN DE TRAMOS DE MODELACIÓN EN LA MATRIZ FACTORIAL FINAL.....	16
TABLA 5. RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN DE MODELO DE PROGRESIÓN DEL IRI.....	17
TABLA 6. VELOCIDAD DE OPERACIÓN PARA VEHÍCULOS PESADOS TIPO “C” SEGÚN IRI DEL CAMINO.....	17
TABLA 7. VELOCIDAD DE OPERACIÓN PARA VEHÍCULOS LIGEROS TIPO “A” SEGÚN EL IRI.....	18
TABLA 8. VALORES DEL TIEMPO SEGÚN MOTIVO DE VIAJE Y REGIÓN.....	20
TABLA 9. COSTOS DE OPERACIÓN PARA VEHÍCULOS LIGEROS SEGÚN EL IRI.....	22
TABLA 10. COSTOS DE OPERACIÓN PARA CAMIONES DE DOS EJES SEGÚN EL IRI.....	22
TABLA 11. AFORO VEHICULAR DEL CAMINO "CASASANO - EX HACIENDA EL HOSPITAL".....	24
TABLA 12. TASA DE CRECIMIENTO DE TRÁNSITO CON RESPECTO AL TDPA.....	25
TABLA 13. VELOCIDADES DE OPERACIÓN SIN PROYECTO.....	38
TABLA 14. COSTOS DE OPERACIÓN VEHICULAR SIN PROYECTO.....	39
TABLA 15. DEMANDA DEL TRÁNSITO EN LOS SIGUIENTES 20 AÑOS.....	41
TABLA 16. DATOS DEL PAVIMENTO DEL CAMINO.....	42
TABLA 17. CONSERVACIONES DEL CAMINO.....	44
TABLA 18. PESOS MÁXIMOS AUTORIZADOS POR TIPO DE EJE Y CAMINO.....	45
TABLA 19. VALORES OBTENIDOS DE LA TABLA 7.....	47
TABLA 20. ÍNDICES DE RUGOSIDAD DEL CAMINO A LO LARGO DE SU VIDA ÚTIL.....	47
TABLA 21. VELOCIDADES DE OPERACIÓN CON PROYECTO.....	48
TABLA 22. COSTOS DE OPERACIÓN VEHICULAR CON PROYECTO.....	49
TABLA 23. DEMANDA DEL TRÁNSITO EN LOS SIGUIENTES 20 AÑOS.....	51
TABLA 24. DATOS CON Y SIN PROYECTO.....	52
TABLA 25. VALORES DEL TRÁNSITO, VELOCIDAD DE OPERACIÓN Y COSTOS DE OPERACIÓN SIN PROYECTO.....	53
TABLA 26. COSTOS TOTALES DE OPERACIÓN, TIEMPO DE RECORRIDO Y COSTOS POR TIEMPO SIN PROYECTO.....	53
TABLA 27. COSTO POR MANTENIMIENTO SIN PROYECTO.....	54
TABLA 28. COSTOS TOTALES SIN PROYECTO EN MILES DE PESOS.....	55
TABLA 29. VALORES DEL TRÁNSITO, VELOCIDAD DE OPERACIÓN Y COSTOS DE OPERACIÓN CON PROYECTO.....	55
TABLA 30. COSTOS TOTALES DE OPERACIÓN, TIEMPO DE RECORRIDO Y COSTOS POR TIEMPO CON PROYECTO.....	56
TABLA 31. COSTO POR MANTENIMIENTO CON PROYECTO.....	56
TABLA 32. COSTOS TOTALES CON PROYECTO EN MILES DE PESOS.....	57
TABLA 33. AHORROS EN MILES DE PESOS AL AÑO.....	58
TABLA 34. . INDICADORES EN MILES DE PESOS.....	59
TABLA 35. RESUMEN DE RESULTADOS.....	59
TABLA 36. INDICADORES EN MILES DE PESOS.....	60
TABLA 37. RESUMEN DE RESULTADOS.....	60
TABLA 38. INDICADORES EN MILES DE PESOS.....	61
TABLA 39. RESUMEN DE RESULTADOS.....	61
TABLA 40. INDICADORES EN MILES DE PESOS.....	62
TABLA 41. RESUMEN DE RESULTADOS.....	62

ILUSTRACIÓN 1. SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CAMINO.....	3
ILUSTRACIÓN 2. INGENIO AZUCARERO “CENTRAL CASASANO S.A DE C.V” . .....	5
ILUSTRACIÓN 3. CULTIVO DE CAÑAS AL REDEDOR DEL CAMINO.....	6
ILUSTRACIÓN 4. INVERNADEROS AL REDEDOR DEL CAMINO. ....	6
ILUSTRACIÓN 5. PARTE DE LAS INSTALACIONES DE CONAPLOR. (MAPIO).....	7
ILUSTRACIÓN 6. UBICACIÓN DE CONAPLOR Y “CENTRAL DE CASASANO S.A DE C.V CON RESPECTO AL CAMINO EN ESTUDIO. (GOOGLE EARTH, 2017). ....	7
ILUSTRACIÓN 7. ESCALA DEL ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD. (IMT, 1998). ....	12
ILUSTRACIÓN 8. VALOR DEL TIEMPO SEGÚN LA REGIÓN. (IMT, 2016). ....	20
ILUSTRACIÓN 9. UBICACIÓN DE CUAUTLA, MORELOS. (INAFED, 2016). ....	29
ILUSTRACIÓN 10. UBICACIÓN DEL CAMINO “ECOVIVERISTA CASASANO- EX HACIENDA EL HOSPITAL”. (GOOGLE MAPS, 2017).....	30
ILUSTRACIÓN 11. UBICACIÓN DEL INICIO Y FINAL DEL CAMINO. (GOOGLE EARTH, 2017). ....	31
ILUSTRACIÓN 12. CAMINO DE TERRACERÍA, RODEADO DE CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR.....	32
ILUSTRACIÓN 13. CAMINO CON ESCOMBRO DE CAÑA, ADEMÁS DE ESTAR EN MALAS CONDICIONES. ....	32
ILUSTRACIÓN 14. CAMINO DE TERRACERÍA RUGOSO, RODEADO DE CULTIVOS.....	33
ILUSTRACIÓN 15. INVASIÓN DE AGUA DE RIEGO AL CAMINO CAUSANDO DAÑO A ÉSTE. ....	33
ILUSTRACIÓN 16. UNIÓN DEL CAMINO CON LA UNA CARRETERA DE LA ZONA “CUAUTLA- EL HOSPITAL”. ES LA PARTE FINAL DEL CAMINO EN ESTUDIO. ....	34
ILUSTRACIÓN 17. AUTOMÓVIL LIGERO CIRCULANDO POR EL CAMINO.....	34
ILUSTRACIÓN 18. INICIO DEL CAMINO KM 0+000, UNIÓN CON CAMINO DE CONEXIÓN AL INGENIO Y CONAPLOR. ....	35
ILUSTRACIÓN 19. SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PAVIMENTO. (CICC, 2013). ....	43
ILUSTRACIÓN 20. SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CAMINO CON PROYECTO. ....	44

**Introducción.**

En el primer capítulo se abordará un enfoque contextual del problema, empezando por la justificación de la realización de éste trabajo y explicando el tipo de obra que se desea analizar. Asimismo se expondrá la historia que ha tenido este camino, las actividades que se realizan a los alrededores y se planteará las expectativas que se tienen.

Posteriormente, en el segundo capítulo se mostrará la teoría de la que se sustentará el análisis socioeconómico que se llevará a cabo, desde antecedentes, procedimientos, tablas, estudios, ecuaciones, conceptos y todo lo necesario para poder realizar el trabajo de manera adecuada. Es aquí donde se mostrará lo que son y cómo se realizan las partes de una evaluación socioeconómica.

Dentro del tercer capítulo se encuentra el estudio de la situación actual del camino, mostrando la ubicación geográfica, características geométricas, estado del suelo, así como la realización del análisis de la oferta y la demanda que tiene dicho camino.

En el cuarto capítulo se estudió la situación sin proyecto, donde se analizan la oferta y demanda de los 20 años posteriores en el camino sin realizar ningún tipo pavimentación, mostrando el comportamiento que tendrán ambas en los distintos años y la variación de la oferta con respecto a la demanda.

El quinto capítulo aborda algo similar al cuarto pero considerando que se realiza el proyecto, por lo tanto se hace el análisis de la oferta y demanda, además de mostrar el comportamiento de ambas en los 20 años de vida útil del camino.

Por último, el sexto capítulo mostrará la evaluación del proyecto, donde se expondrá los resultados que se obtuvieron al realizar este análisis con los indicadores de rentabilidad y análisis de sensibilidad. Es aquí donde se determinó si era rentable o no el proyecto.

**Objetivo.**

Con este trabajo se determinará mediante una evaluación socioeconómica si sería adecuada la pavimentación del camino “Ecoviverista Casasano – Ex Hacienda el Hospital”, considerando las situaciones con y sin el proyecto, comparándolas y analizando el resultado de los indicadores de rentabilidad para así determinar si es rentable el proyecto.

## **Capítulo 1.- MARCO CONTEXTUAL**

### **Justificación del problema.**

La razón por la que se realiza este estudio es debido a que tanto en el estado como en el país se produce crecimiento y desarrollo de las localidades que integran la economía de la república. En esta zona la demanda ha crecido considerablemente con respecto a los desarrollos viveristas y de la caña de azúcar del ingenio de la zona, “Central Casasano S.A de C.V”.

Si bien en México existen diversos caminos conectores de tipo rural en mal estado, se ha elegido este precisamente porque muestra muchos de los factores que afectan a este tipo de caminos en el país, puesto que estos la mayoría de las veces se encuentran en malas condiciones. El camino analizado tiene la participación de población local, zona de agricultura, zona de viveros y una industria de gran importancia de la zona, es por eso que se consideró un ejemplo adecuado con respecto a otros caminos conectores rurales. También se considera que está ubicado en un lugar estratégico del estado por lo que dicha pavimentación permitiría potencializar el desarrollo económico de la zona. Así mismo es considerado un camino con una ubicación estratégica dentro del estado Además de que se encuentra una de las azucareras y una de las empresas de comercialización de plantas ornamentales más importantes del país.

Con respecto a que la modernización, sea sólo la pavimentación y pequeña ampliación de la sección transversal existente se justifica con que los alrededores del camino están ocupados por cultivos o viveros, por lo que sería muy complicado conseguir el derecho de vía. Además el camino cuenta con espacio para expandir la calzada al ser pavimentada, así como poner sus respectivas guarniciones y banquetas. Por lo que el hecho de pavimentar con asfalto el camino de 4 carriles se consideró en un estudio de la zona lo más adecuado.

A continuación se muestra una imagen de la sección transversal del camino para demostrar que se puede pavimentar y ampliar un poco el camino sin invadir los terrenos aledaños.



*Ilustración 1. Sección transversal del camino.*

### **Historia del camino en estudio.**

Las actividades que se realizan en la región empezaron en 1598 cuando se empezaron a contratar trabajadores para los sembradíos de caña de azúcar. En 1603 el virrey de la Nueva España brindó indígenas a la zona para que se construyera una hacienda y también un pequeño ingenio azucarero. En la época de la revolución mexicana hubo un estancamiento en la producción de caña y por lo tanto de azúcar, fue así que hasta después de la revolución se dio la repartición de tierras a los campesinos de la zona y así se fue incrementando el desarrollo económico, también el ingenio tuvo gran prosperidad y fue nombrado por Don Juan Barrales ingenio “La abeja” que en la actualidad es el ingenio con mayor producción de la república, aunque formalmente se llama “Central Casasano S.A de C.V.” Por otra parte el auge viverista en la zona se dio con la construcción de CONAPLOR y fue entonces



cuando diversos empresarios empezaron a construir e invertir en viveros formando una zona de alta productividad económica con respecto a esta actividad.

Todas estas actividades se han podido realizar y proyectarse gracias al camino “Ecoviverista Casasano - Ex Hacienda el Hospital”. Este camino se construyó desde la época de la colonia para poder conectar las haciendas de Casasano y la del Hospital permitiendo así el intercambio económico de ambas. Conforme fue creciendo la producción de las actividades que se realizan en la zona, los caminos sirvieron también para conectar con otras haciendas, posteriormente con poblados de la región y en la actualidad regiones del estado de Morelos y de toda la República. Durante toda la historia de estos caminos, sólo se le han realizado obras de tipo de terracería, nunca se le ha colocado pavimento. Se realizaron compactaciones, alineamientos, nivelamientos pero jamás se ha realizado una modernización, que a mi criterio, y de muchos, requiere el camino en la actualidad.

En el año 2010 la regiduría de hacienda, programación y presupuesto determino la realización del proyecto de la pavimentación de los caminos de conexión Casasano-Ex Hacienda el Hospital a través del cual se buscaba detonar este espacio colocando distintos proyectos de producción y pretendía brindar 6 mil 500 empleos directos e indirectos. Se quería contar con 3.8 kilómetros lineales de asfalto con la intención de generar desarrollo económico, fuentes de empleo y alternativa para el tránsito.

Este proyecto no se llevó a cabo, entre una de las razones por que no había un estudio que justificara la realización de la obra. Un documento de evaluación socioeconómica es de gran importancia para determinar la ejecución de estas obras para saber si tienen beneficio para la población y el país o si es mejor realizar otro tipo de proyecto.

### **Actividades que se realizan en la zona en la actualidad.**

Cuautila Morelos es una ciudad que se caracteriza por tener habitantes económicamente activos realizando diferentes actividades, como lo son la agricultura, ganadería, industria y comercio.

En el lugar que recorren los caminos se encuentran diversos cultivos como grandes viveros, debido a que es una de las zonas viveristas más grandes del país, la función principal de

estos caminos es conectar una carretera principal de la zona con el ingenio azucarero más importante del estado “Central Casasano S.A de C.V”, así como con el desarrollo viverista CONAPLOR y la zona agrícola de la zona. El ingenio es una azucarera que se encarga de distribuir azúcar a otros lugares de la República, así como a la zona. Mientras que CONAPLOR es un desarrollo viverista que se creó en el año 2000 por 83 productores, se realiza la comercialización de un amplia gama de plantas de ornato, está constituida por varios socios y es una de las mayores empresas de este tipo en el país. También se sabe que en la colonia Ex Hacienda el Hospital se encuentra 87 estanques de peces, actividad que se desea potencializar con la pavimentación de la vía.

A continuación se muestran imágenes de las actividades que se realizan en los alrededores del camino:



*Ilustración 2. Ingenio Azucarero “Central Casasano S.A de C.V”.*



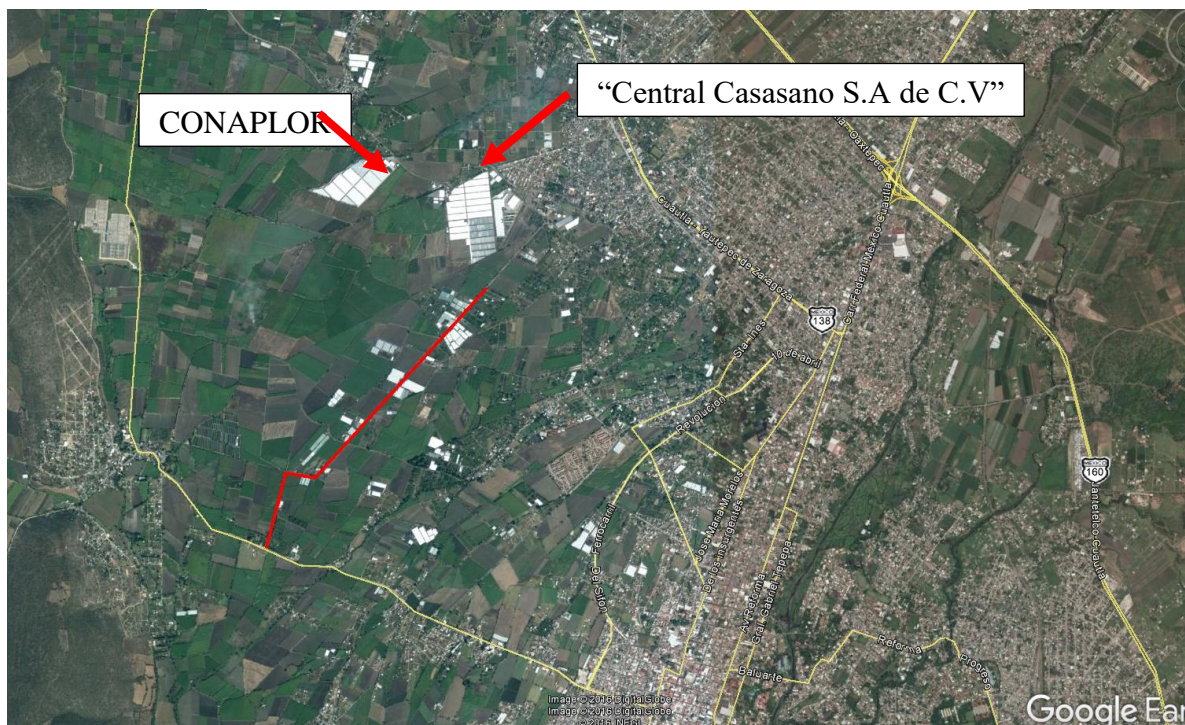
*Ilustración 3. Cultivo de cañas al rededor del camino*



*Ilustración 4. Invernaderos al rededor del camino.*



*Ilustración 5. Parte de las instalaciones de CONAPLOR. (Mapio).*



*Ilustración 6. Ubicación de CONAPLOR y “Central de Casasano S.A de C.V con respecto al camino en estudio. (Google earth, 2017).*

**Expectativas acerca del camino.**

Durante muchos años los empresarios y clientes de esta región han sugerido la pavimentación, sin embargo lo han hecho sin contar con un estudio que demuestre que el desarrollo de la obra sería adecuada. Se ha establecido la opción de pavimentación de asfalto, ya que esto ahorraría tiempo y costos de operación a los camiones encargados de llevar la caña al ingenio, así como de las camionetas que transportan las flores y plantas a los diferentes destinos. De igual forma la zona es transitada por diversas personas que van a comprar al desarrollo viverista o que son dueños de los establecimientos; la pavimentación de dicho camino beneficiaría tanto a estas personas al disminuir el costo de operación y del tiempo si así lo determina el estudio. Se argumenta que con la realización de esta pavimentación se generaría las condiciones adecuadas en lo que corresponde a sus vialidades para impulsar un desarrollo más adecuado y así potenciar el desarrollo económico de la zona.

Entre las principales acciones que pretende el gobierno es combatir a la pobreza, propulsar el desarrollo económico del sector, además de recudir el congestionamiento vial de la ciudad de Cuautla, Morelos. Se busca también vincular el sector de educación para mejorar las condiciones de la población. Esto con el aumento de empleos y la proyección de los productos a nuevos mercados.

## **Capítulo 2.- MARCO TEÓRICO**

La evaluación socioeconómica es el análisis del programa o proyecto desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto, con el objeto de conocer el efecto neto de los recursos utilizados en la producción de los bienes o servicios sobre el bienestar de la sociedad. Dicha evaluación debe incluir todos los factores del programa o proyecto, es decir, sus costos y beneficios independientemente del agente que los enfrente. Ello implica considerar adicionalmente a los costos y beneficios directos, las externalidades y los efectos indirectos e intangibles que se deriven del programa o proyecto.<sup>1</sup>

### **Costos de mantenimiento e inversión.**

Estos costos son asumidos por el gobierno.

El costo de inversión para ejecución de la obra, involucra materiales, mano de obra, herramienta, maquinaria, costos indirectos, financiamiento y utilidad. Por lo regular se hace mediante un análisis de precios unitarios, para este trabajo este valor se obtuvo de un estudio de zona metropolitana del Colegio de Ingenieros Civiles de Cuautla en el cual se hizo precisamente un estudio de precios unitarios.

Costos de mantenimiento, éstos pueden ser del tipo rutinario, periódico y en algunos casos también se considera la modernización del camino en ciertos años.

#### **Costo de Conservación Rutinaria (CCR)**

Este tipo de conservación se realiza en forma anual y corresponde a la conservación normal de un camino. En un camino revestido la conservación rutinaria contempla los trabajos de limpieza de alcantarillas, desazolve de cunetas, limpieza del camino (eliminación de la maleza que se encuentra en los hombros del mismo), así como refinamiento o conformación de la superficie de rodamiento utilizando una moto conformadora.

---

<sup>1</sup> Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2013). Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión.. Abril 2017, de Gobierno Federal Sitio web: [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/21174/Lineamientos\\_costo\\_beneficio.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/21174/Lineamientos_costo_beneficio.pdf)

### Costo de Conservación Periódica (CCP)

La conservación periódica en el caso de caminos revestidos se refiere a recargues de material, el cual se tiende en espesores de 12 o 21 centímetros dependiendo del daño que pueda presentar el camino. El revestimiento puede ser mejorado utilizando en algunos casos estabilizadores, además se lleva a cabo la limpieza y rehabilitación de las obras de drenaje. Si se trata de caminos cuya superficie de rodamiento es pavimentada, la conservación periódica puede ir desde un riego de sello hasta una sobrecarpeta, dependiendo, al igual que en el caso anterior del daño que presente la superficie de rodamiento, lo cual depende básicamente del nivel de precipitación pluvial de la zona en que se localice el camino. Así mismo, se llevan a cabo trabajos de mantenimiento y limpieza de las obras de drenaje.<sup>2</sup>

Además se anexa la siguiente tabla que se utilizará para obtener valores de conservación de este trabajo:

---

<sup>2</sup> Torres, G., Hernández, S., Pérez J., & Zaragoza M. (2002). Modernización de Caminos Rurales: La Evaluación Económica Como Herramienta en la Toma de Decisiones. Enero 2017, de Instituto Mexicano del Transporte Sitio web: <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt216.pdf>

Tabla 1. Política de Conservación para obras de mejoramiento de caminos rurales.

CONSERVACION RUTINARIA							
(CONDICION SIN PROYECTO)							
Superficie de rodamiento	Frecuencia de la acción de conservación según el nivel de precipitación pluvial			Tipo de terreno (Costo en Pesos / Km)			
				Plano (P)	Lomerío Suave (LS)	Lomerío Abrupto (LA)	Montañoso (M)
	Alta	Media	Baja				
Revestido (R)	Anual	Anual	Anual	13.365.96	16.707.45	20.605.86	25.618.09
Pavimentado (P)	Anual	Anual	Anual	17.821.28	22.276.60	27.845.75	34.528.73
(CONDICIÓN CON PROYECTO)							
Superficie de rodamiento	Frecuencia de la acción de conservación según el nivel de precipitación pluvial			Tipo de terreno (Costo en Pesos / Km)			
				P	LS	LA	M
	Alta	Media	Baja				
Revestido (R)	Anual	Anual	Anual	8.019.58	10.024.47	12.252.13	14.479.79
Pavimentado (P)	Anual	Anual	Anual	10.692.77	13.365.96	16.707.45	21.162.77
CONSERVACION PERIODICA							
(CONDICION SIN PROYECTO)							
Superficie de rodamiento	Frecuencia de la acción de conservación según el nivel de precipitación pluvial			Tipo de terreno (Costo en Pesos / Km)			
				P	LS	LA	M
	Alta	Media	Baja				
Revestido (R)	3 Años	4 Años	5 Años	60.146.82	75.183.53	92.447.89	113.610.66
Pavimentado-Sobrecarpeta (SC)	8 Años	9 Años	10 Años	220.538.35	231.676.65	242.814.95	255.067.08
(CONDICION CON PROYECTO)							
Superficie de rodamiento	Frecuencia de la acción de conservación según el nivel de precipitación pluvial			Tipo de terreno (Costo en Pesos / Km)			
				P	LS	LA	M
	Alta	Media	Baja				
Revestido (R)	3 Años	5 Años	7 Años	37.591.76	51.051.29	65.874.14	71.285.12
Revestido Estabilizado (RE)	6 Años	6 Años	6 Años	33.414.90	41.768.63	51.236.18	62.374.48
Pavimentado-Riego de Sello (RS)	3 Años	4 Años	5 Años	69.057.46	72.398.95	75.740.44	79.081.93

Nota: Tomada de IMT (2002).

### Análisis de la oferta.

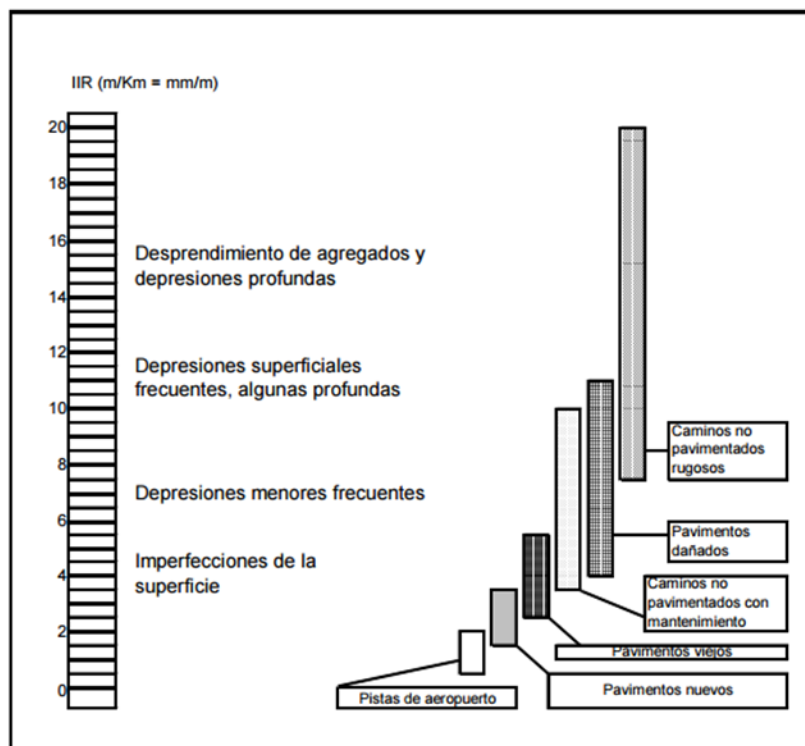
El analizar la oferta es de gran utilidad para determinar cómo se comportarán las características físicas del camino según sea el escenario. Ya que mientras mejor sean las condiciones del camino las características como el IRI (Índice de Rugosidad Internacional), velocidad de operación, costos de operación y por tiempo serán más adecuadas.



Determinación de IRI (Índice de Rugosidad Internacional) y la velocidad de operación.

Índice de Rugosidad Internacional (IRI), mientras más bajo sea éste mejor son las condiciones del camino.

A continuación se muestra la figura:



*Ilustración 7. Escala del índice internacional de rugosidad. (IMT, 1998).*

Estos valores fueron obtenidos de pruebas de campo con sofisticados equipos y llevados y determinados en laboratorio. En el trabajo se utilizó esta tabla para valorar el IRI del camino.

Para estimar la progresión del IRI con el tiempo utilicé la metodología establecida como “Modelo de evaluación técnica del desempeño del mantenimiento de pavimentos flexibles”, que sirve como gestión técnica para evaluación ex ante del pavimento asfáltico, dado para cuando no se tiene la herramienta del HDM4, es de gran utilidad y confianza ya que se basa en los mismos principios del modelo HDM4.

A continuación se muestran la metodología a seguir:

Primero se obtiene la estimación de equivalencia de carga con una tabla adquirida del modelo, esto se hace primero obteniendo el número estructural según el pavimento utilizando los siguientes datos:

Carpeta: Espesor x 0.4

Base: Espesor x 0.14

Subase: Espesor x 0.11

La suma de estos es el número estructural.

También se obtiene la carga máxima permisible de la NOM 012, según el tipo de vehículo.

Por último con el número estructural y el peso por eje se obtiene el factor equivalente de carga de las siguientes tablas:

Tabla 2. Factores de equivalencias de cargas por ejes sencillos.

Carga por eje (kips)	Número estructural					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.01	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.09	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.35	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1	1	1	1	1	1
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.4	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24	25.1
40	39.6	38	34.3	30.9	30	31.2
42	49.7	47.7	43	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73	65.6	58.3	55.7	57
48	92.9	89.1	80	70.9	67.3	68.6
50	113	108	97	86	81	82

Nota: Tomada de (Zarate, 2011).

Tabla 3. Factores de equivalencia para cargas por ejes tándem.

Carga por eje (kips)	Número estructural					
	1	2	3	4	5	6
2	0	0	0	0	0	0
4	0.003	0.003	0.003	0.0002	0.002	0.002
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	0.041	0.048	0.05	0.046	0.042	0.04
18	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	0.227	0.244	0.26	0.252	0.239	0.231
26	0.322	0.34	0.36	0.353	0.338	0.329
28	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	0.81	0.823	0.943	0.842	0.829	0.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.7
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.2	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.1	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12	12.6
62	16.6	16	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18	18	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32	29.1	26.5	26.2	27.4
74	37.8	36.4	33	30	29.4	30.8
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42	38	37	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43
82	61.1	58.7	52.9	47.6	46	47.8
84	68.4	65.7	59.2	53	51.2	53
86	76.3	73.3	66	59	56.8	58.6
88	85	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

Nota: Tomada de (Zarate, 2011).

Luego se obtiene los ejes equivalentes anuales con la siguiente expresión:

$$EE_{anual} = 365 \sum_i (TMDA_{vehículoi} * FEC_{vehículoi})$$

*Ecuación 1. Fórmula de ejes equivalentes.*

TMDA es lo mismo que TDPA. Que es Transito Diario Promedio Anual.

Por último se obtiene el IRI en el tiempo según indique el código (Cod.) de la siguiente tabla, dependiendo de las características del camino

*Tabla 4. Asignación de tramos de modelación en la matriz factorial final.*

Tráfico		Muy Alto		Alto		Medio	
Clima	Estructura	Cod	Tramos	Cod	U.M.	Cod	Tramos
Húmedo	Fuerte	1	0	10	70	19	80
	Intermedia	2	0	11	80	20	72
	Débil	3	0	12	0	21	0
Intermedio	Fuerte	4	48	13	80	22	80
	Intermedia	5	0	14	80	23	80
	Débil	6	0	15	0	24	0
Seco	Fuerte	7	0	16	0	25	0
	Intermedia	8	0	17	0	26	75
	Débil	9	0	18	0	27	0

*Nota: Tomada de (Revista de la construcción, 2010).*

Según la tabla se utiliza el Cod. 23, al considerar tráfico medio, clima seco y estructura intermedia. Con este valor se obtiene la ecuación por utilizar y los valores de correlación a, b o c. Estos se obtienen en la siguiente tabla:

Tabla 5. Resultado de la calibración de modelo de progresión del IRI.

Nivel Matriz	Tipo de Ecuación	Pista Lenta				Pista Rápida				
		Coeficientes			R <sup>2</sup> ajustado	Tipo de Ecuación	Coeficientes			R <sup>2</sup> Ajustado
		a	b	c			a	b	c	
4	11	1,4183	0,0000	0,0137	0,628	11	1,2691	0,0000	0,0140	0,762
10	11	1,2400	0,0006	0,0234	0,797	11	1,2350	0,0002	0,0218	0,361
11	11	0,7165	0,0024	-0,0105	0,433	10	0,0487	0,6668	-0,0148	0,223
13	10	0,2120	0,3191	0,0113	0,127	10	0,1219	0,4156	0,0014	0,152
14	11	0,9613	0,0006	0,0528	0,754	11	0,9414	0,0032	-0,0056	0,332
19	11	0,7026	0,0014	0,0445	0,512	11	0,7892	0,0009	0,0446	0,712
20	11	1,9686	-0,0027	0,0508	0,279	11	1,5289	-0,0027	0,0562	0,323
22	10	1,8646	-0,0889	0,0506	0,175	10	1,8983	-0,0717	0,0169	0,016
23	10	0,5311	0,1988	0,0175	0,635	11	0,8820	0,0053	-0,0049	0,620
26	10	0,0078	1,0899	-0,0268	0,875	10	1,0718	0,0222	0,0172	0,769

Nota: Tomada de (Revista de la construcción, 2010).

$$IRI_t = a \cdot \left(\frac{EE}{NE}\right)^b \cdot e^{c \cdot EDAD} \quad (10)$$

Ecuación 2. Progresión del IRI. Ecuación 10 de la revista.

Para determinar la velocidad de operación con base al IRI, el Instituto Mexicano del Transporte proporciona tablas que se usarán para determinar los valores en la evaluación.

Tabla 6. Velocidad de operación para vehículos pesados tipo "C" según IRI del camino.

IIR	Plano	Lomerío	Montañoso
2	69.24	54.69	42.48
4	67.16	53.77	42.09
6	62.54	51.68	41.23
8	56.11	48.37	39.77
10	49.39	44.32	37.75
12	43.34	40.14	35.37

Nota: Tomada de (IMT, 2014).

Tabla 7. Velocidad de operación para vehículos ligeros tipo "A" según el IRI.

<b>IRR</b>	<b>Plano</b>	<b>Lomerío</b>	<b>Montañoso</b>
<b>2</b>	<b>84.34</b>	<b>66.72</b>	<b>51.76</b>
<b>4</b>	<b>82.45</b>	<b>65.94</b>	<b>51.46</b>
<b>6</b>	<b>78.04</b>	<b>64.08</b>	<b>50.76</b>
<b>8</b>	<b>71.39</b>	<b>60.90</b>	<b>49.48</b>
<b>10</b>	<b>63.87</b>	<b>56.69</b>	<b>47.59</b>
<b>12</b>	<b>56.69</b>	<b>52.01</b>	<b>45.17</b>

Nota: Tomada de (IMT, 2014).

### Costos de operación vehicular y por tiempo de recorrido.

En 2004, el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) inició la publicación de una estimación del valor del tiempo de los ocupantes de los vehículos que circulan por la red carretera de México, con base en una metodología de cálculo cuyas principales variables explicativas son el salario mínimo general vigente (SMG), el número de horas laboradas por semana por la población ocupada con ingreso (POI) y el monto del ingreso percibido, expresado en salarios mínimos generales promedio a nivel nacional (SMGP).

Los valores publicados han sido tomados como referencia por las áreas operativas de la Subsecretaría de Infraestructura de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) para la evaluación de proyectos carreteros. Asimismo, la metodología ha sido utilizada por investigadores y profesionales del Sector que han elaborado otros trabajos relacionados con el valor social del tiempo. Con la publicación de los resultados definitivos del Censo 2010, se realizó una actualización de los factores, aplicando la metodología antes mencionada y cuyas expresiones básicas se muestran a continuación.

$$\text{SHP} = (\text{FIP} * \text{SMGP} * 7) / \text{HTP}$$

Ecuación 3. Valor del tiempo de pasajeros que viajan por motivos de placer.

En donde:

SHP = valor del tiempo de los pasajeros que viajan por motivo de trabajo, expresado en \$/h

FIP = factor de ajuste del ingreso promedio de la población ocupada (promedio ponderado del ingreso, expresado en número de salarios mínimos diarios)

SMG = promedio del salario mínimo general, expresado en \$/día

7 = días/semana

HTP = tiempo promedio que labora por semana la población ocupada

$$VT_{pp} = 0.3 * H / (HTP / 7)$$

*Ecuación 4. Valor del tiempo de pasajeros por motivo de paseo.*

Donde:

$VT_{pp}$  = valor del tiempo de los pasajeros que viajan por motivo de paseo

H = ingreso horario familiar [2] =  $2 * FIP * SMH$

2 = número de miembros de la familia que cuentan con ingreso

FIP = factor de ajuste del ingreso promedio de la población ocupada (promedio ponderado del ingreso, expresado en número de salarios mínimos diarios)

SMH = salario mínimo horario de la población, expresado en \$/h

HTP = promedio de las horas trabajadas por semana = 41.444

FIP = factor de ajuste del ingreso promedio de la población = 3.367”

Cabe mencionar que también se considera el factor de ocupación, que es de 2.32 para vehículos ligeros, 1.5 para camiones y de 20.49 para autobuses. A su vez los autobuses son categorizados como vehículo tipo B, los vehículos ligeros como tipo A y los pesados como tipo C.<sup>3</sup>

Para fines prácticos el IMT publicó tablas según la región del valor del tiempo por trabajo y por motivo de placer que fueron los que se utilizaron en la evaluación de este trabajo, dichas tablas se muestran a continuación:

---

<sup>3</sup> Torres, G., Hernández, S., González, A. Estimación del valor del tiempo de los ocupantes de los vehículos que circulan por la red carretera de México, 2016. Febrero 2017, de Instituto Mexicano del Transporte Sitio web: <http://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=422&IdBoletin=158>





Ilustración 8. Valor del tiempo según la región. (IMT, 2016).

Tabla 8. Valores del tiempo según motivo de viaje y región.

Estructura regional	Factores 2010		Valor del tiempo, viaje por trabajo (SHP)	Valor del tiempo, viaje por placer (VTpp)
	FIP	HTP		
<b>Región 1</b>	3.659	41.172	45.44	27.26
<b>Región 2</b>	3.506	41.697	42.99	25.79
<b>Región 3</b>	2.981	41.043	37.13	22.28
<b>Región 4</b>	3.405	41.248	42.21	25.32
<b>Región 5</b>	3.221	42.030	39.18	23.51
<b>Nacional</b>	<b>3.367</b>	<b>41.444</b>	<b>41.54</b>	<b>24.92</b>
<b>SMGP(diario)</b>				<b>73.04</b>

Nota: Tomada de (IMT, 2016).

Para determinar el costo de tiempo de recorrido se hace la siguiente ecuación:

$$\text{Costo por tiempo: } \frac{\text{Distancia}}{\text{Voperación}} \times \text{Factor de ocupación} \times \text{Valor del tiempo} \times \text{No. de vehículos} \times \% \text{ vehículos según tipo de viaje}$$

*Ecuación 5. Costo por tiempo de recorrido.*

El Costo de Operación Vehicular (COV) mide en términos monetarios, el costo que representa para un determinado tipo de vehículo circular por una carretera. La unidad con que se expresa es \$/Km

Para su cálculo se incluyen los siguientes conceptos:

Costos Asociados al Vehículo

1. El consumo de combustibles
2. Lubricantes
3. Desgaste de llantas y elementos de frenado
4. Deterioro del sistema de suspensión y de embrague
5. Los costos de refacciones, mantenimiento y depreciación del vehículo.
6. Características de la carretera tales como geometría, estado físico, tipo de superficie y elevación respecto al nivel del mar.

Los COV dependen también de las Condiciones de la Carretera, tales como:

1. Geometría
2. Estado Físico del camino
3. Tipo de superficie
4. Pendiente
5. Grados de curvatura
6. Altitud sobre el nivel del mar

De tal manera que circular por un tramo en terreno plano implica menores costos que el recorrer la misma distancia en terreno montañoso

Del mismo modo circular por una vía en mal estado es sensiblemente más caro que hacerlo por una vía en buen estado. Es decir que a medida que se deteriora una vía, el COV se incrementa

El método de cálculo del COV con mayor aceptación a nivel internacional son los modelos matemáticos desarrollados por el Banco Mundial (The Highway Design and Maintenance

Standards Model, versión 4.0) (HDM4), con los cuales posteriormente se estructuró un programa de cómputo denominado Vehicle Operating Costs (VOC, por sus siglas en inglés).

Para el caso de México el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) efectuó una adaptación de dicho programa a las características técnicas de los vehículos que operan en el país, denominada VOCMEX.<sup>4</sup>

Para fines prácticos el IMT publicó tablas que nos determinan el costo de operación dependiendo el vehículo, tipo de terreno e IRI, dichas tablas se muestran a continuación:

*Tabla 9. Costos de operación para vehículos ligeros según el IRI.*

<b>IRI</b>	<b>Caso base</b>	<b>Plano</b>	<b>Lomerío</b>	<b>Montañoso</b>
<b>2</b>	3.82	3.99	4.42	5.01
<b>4</b>	4.03	4.20	4.64	5.23
<b>6</b>	4.30	4.48	4.93	5.51
<b>8</b>	4.69	4.88	5.32	5.90
<b>10</b>	5.23	5.42	5.86	6.42
<b>12</b>	5.84	6.03	6.46	6.99

*Nota: Tomada de (IMT, 2014).*

*Tabla 10. Costos de operación para camiones de dos ejes según el IRI.*

<b>IRI</b>	<b>Caso base</b>	<b>Plano</b>	<b>Lomerío</b>	<b>Montañoso</b>
<b>2</b>	6.71	7.48	9.39	11.68
<b>4</b>	7.50	8.31	10.27	12.59
<b>6</b>	8.22	9.08	11.13	13.49
<b>8</b>	8.99	9.87	11.98	14.40
<b>10</b>	9.89	10.74	12.87	15.32
<b>12</b>	10.89	11.71	13.81	16.27

*Nota: Tomada de (IMT, 2014).*

---

<sup>4</sup> Arroyo, J., Aguerrebere, R., & Torres, G. (2014). Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2014. Enero 2017, de Instituto Mexicano del Transporte Sitio web: <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt407.pdf>

Para determinar el costo por operación se requiere hacer la siguiente ecuación:

$$\text{Costo de operación} = COV \times \text{Distancia} \times \text{No. Vehículos de ese tipo}$$

*Ecuación 6. Costo de operación.*

Para desarrollar esta evaluación es importante determinar los valores de IRI, velocidad de operación, costo de operación vehicular, costo por tiempo de recorrido y mantenimiento para la situación con y sin proyecto para así compararlos y obtener los ahorros. En los costos sin proyecto se consideran el mantenimiento, costo de operación vehicular y costo por tiempo de recorrido, mientras que para la situación con proyecto se considera la inversión, el mantenimiento, el costo de operación vehicular y costo por tiempo de recorrido.

Beneficio= Costos sin proyecto – Costos con proyecto.

*Ecuación 7. Beneficios del proyecto.*

### **Análisis de la demanda.**

Otro de los datos importantes que se debe obtener es el tránsito diario promedio anual (TDPA) que es el número de vehículos que pasan por un lugar dado durante un año dividido entre 365 días.

Para este trabajo se utilizó el dato de aforo del estudio de zona metropolitana del Colegio De Ingenieros Civiles De Cuautla. En este estudio también se encontraban clasificados los tipos de vehículos aforados. Estos datos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11. Aforo vehicular del camino "Casasano - Ex Hacienda el Hospital".

TIPO	MOVIMIEN TOS	CANT	HRS DE AFORO	VEH POR HR	TOTAL DE HRS	TOTAL PROMEDI O	% ASIGNADO		100% VEH	% PROMEDI O	MOVIMIEN TOS	TOTAL	%	TOTAL VEH	% TOTAL
Ap	IZQ	60	1	60	8	480	8.62	656	696	94.25	IZQ	480	8.62	656	94.25
	SIN CAMBIO	0	1	0	8	0	0.00		696		SIN CAMBIO	-	-		
	DER	22	1	22	8	176	3.16		696		DER	176	3.16		
Ac		0	1	0	8	0	0.00	0	696	0.00					
		0	1	0	8	0	0.00		696						
		0	1	0	8	0	0.00		696						
B2		0	1	0	8	0	0.00	0	696	0.00	IZQ	-	-	-	0.00
		0	1	0	8	0	0.00		696		SIN CAMBIO	-	-		
		0	1	0	8	0	0.00		696		DER	-	-		
C2		3	1	3	8	24	0.43	40	696	5.75	IZQ	24	0.43	40	5.75
		0	1	0	8	0	0.00		696		SIN CAMBIO	-	-		
		2	1	2	8	16	0.29		696		DER	16	0.29		
C3		0	1	0	8	0	0.00	0	696	0.00					
		0	1	0	8	0	0.00		696						
		0	1	0	8	0	0.00		696						
TS-2		0	1	0	8	0	0.00	0	696	0.00	IZQ	-	-	-	0.00
		0	1	0	8	0	0.00		696	0.00	SIN CAMBIO	-	-		
		0	1	0	8	0	0.00		696	0.00	DER	-	-		
TS-2		0	1	0	8	0	0.00	0	696	0.00					
		0	1	0	8	0	0.00		696	0.00					
		0	1	0	8	0	0.00		696	0.00					
TS-3		0	1	0	8	0	0.00	0	696	0.00		-	-	-	0.00
		0	1	0	8	0	0.00		696	0.00		-	-		
		0	1	0	8	0	0.00		696	0.00		-	-		

Nota: Tomada de (CICC, 2013).

Como se puede notar sólo existen camiones de dos ejes y autos ligeros.

Para poder realizar la progresión del tránsito en los siguientes 20 años del proyecto se utiliza la tasa de crecimiento de tránsito, la cual se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 12. Tasa de crecimiento de tránsito con respecto al TDPA.

Rango de TDPA (veh/día)	TCMA %
1-2,000	7.07
2,001-5,000	7.72
5,001-10,000	8.32
10,001-20,000	9.57
Más de 20, 000	10.4

Nota: Tomada de (IMT, 1995).

Con ayuda de esta tasa y con la siguiente ecuación de estimación de crecimiento se determinó el tránsito según el año:

$$TDPA_T = TDPA_{T-1}(1 + i)$$

*Ecuación 8. Fórmula de estimación de crecimiento del tránsito.*

Siendo “TDPA” el tránsito diario promedio anual, “T” el tiempo en años e “i” la tasa de crecimiento de tránsito.

### **Indicadores de rentabilidad económica y análisis de sensibilidad.**

Estos indicadores nos permiten determinar si el proyecto es rentable o no, dependiendo del resultado según sus parámetros, los cuales se explicarán a continuación. Cabe mencionar que al tratarse de un proyecto de tipo socioeconómico el beneficio se mide en los ahorros que tendrá el usuario al desarrollar la obra.

El Valor Presente Neto (VPN), es un indicador que debe ser considerado en todo estudio de factibilidad económica, debido a que éste es fundamental en la determinación del periodo de recuperación de la inversión. Al igual que los indicadores anteriores, el VPN puede ser determinado a precios constantes y a precios actualizados. El Valor Presente Neto a precios constantes se determina mediante la expresión siguiente:

$$VPN = \sum_j^n \frac{B_j - C_j}{(1 + i)^n}$$

*Ecuación 9. Cálculo del valor presente neto.*

Siendo:

B: Los beneficios derivados del proyecto.

C: Los costos del proyecto.

i : La tasa de descuento.

j: Año.

n: Número de años en el horizonte.

El Valor Presente Neto es otro indicador de rentabilidad económica, en este caso para que un proyecto sea viable económicamente, la suma de beneficios derivados del mismo, debe ser al menos igual al costo de la inversión realizada. En otros términos:

$$VPN \geq 0$$

La conveniencia de calcular VPN anualmente, proporciona al analista de proyectos de inversión, los elementos suficientes para determinar en qué momento se recupera la inversión. La evaluación propuesta, presenta en forma tabular y gráfica el VPN. En el caso de la representación gráfica, la interpretación es más evidente debido a que en ella se determina con suficiente aproximación el momento en que los beneficios generados llegan a permitir la recuperación de la inversión. La inversión corresponde al costo de adquisición de los insumos  $C_j$ , necesarios para la realización del proyecto y los beneficios representan las ventajas  $B_j$ . Es conveniente señalar que en el caso del análisis económico de proyectos nacionales de infraestructura, la cuantificación de los beneficios incluye una parte de beneficios considerados como externalidades, que pueden ser cuantificables, tal es el caso de los beneficios debidos al incremento de la producción en la rehabilitación de caminos rurales.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Torres, G., Hernández, S., Pérez J., & Zaragoza M. (2002). Modernización de Caminos Rurales: La Evaluación Económica Como Herramienta en la Toma de Decisiones. Enero 2017, de Instituto Mexicano del Transporte Sitio web: <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt216.pdf>

La tasa de recuperación de la inversión o tasa interna de retorno (TIR), se define como la tasa de actualización que debe ser aplicada al flujo de beneficios y costos durante el horizonte económico del proyecto de tal manera que su valor presente neto (VPN) sea igual a cero. La tasa interna de retorno, se calcula mediante iteraciones sucesivas hasta llegar a encontrar el equilibrio entre el flujo de costos y beneficios actualizados, es decir en el momento en que el valor presente de los beneficios originados por el proyecto sea igual al costo de inversión del mismo. En la actualidad, su determinación se realiza rápidamente gracias a los avances que han tenido las herramientas de informática en la época reciente.<sup>6</sup>

Para este trabajo se utilizó la función que se encuentra en Excel.

El parámetro Beneficio / Costo determina si el proyecto es rentable cuando el valor nos da mayor a 1 y se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\frac{B}{C} = \sum_{t=0}^n \frac{\text{Beneficios actualizados}_i}{\text{Costos actualizados}_i}$$

*Ecuación 10. Beneficio – Costo.*

La tasa de rentabilidad inmediata es un indicador de rentabilidad que permite determinar el momento óptimo para la entrada en operación de un proyecto con beneficios crecientes en el tiempo. A pesar de que el VPN sea positivo en casos puede ser preferible postergar su ejecución<sup>7</sup>

Las fórmulas para el cálculo de la TRI son las siguientes:

---

<sup>6</sup> Torres, G., Hernández, S., Pérez J., & Zaragoza M. (2002). Modernización de Caminos Rurales: La Evaluación Económica Como Herramienta en la Toma de Decisiones. Enero 2017, de Instituto Mexicano del Transporte Sitio web: <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt216.pdf>

<sup>7</sup> Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2015). Metodología para la Evaluación de Carreteras. Enero 2017, de Gobierno Federal Sitio web: [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/21452/Met\\_Carreteras\\_Parte1.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/21452/Met_Carreteras_Parte1.pdf)



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

*Ecuación 11. Cálculo de la Tasa de rentabilidad inmediata.*

*B<sub>t+1</sub> - Son los beneficios totales en el año t+1*

*C<sub>t+1</sub> - Son los costos totales en los años t+1*

*I<sub>t</sub> - Es el monto total de inversión valuado al año.*

*t+1 - Es el primer año de operación*

En la evaluación socioeconómica de proyectos realizada con el análisis Costo Beneficio, se debe llevar a cabo un análisis de sensibilidad que tome en consideración la variación del capital por invertir y el costo financiero del mismo, es decir la tasa de actualización del capital. Dada la incertidumbre que trae consigo determinar el rango de variación de la tasa de actualización que debe ser aplicable a proyectos de carácter gubernamental, el análisis de sensibilidad que se propone en la evaluación desarrollada considera únicamente la variación del monto del capital por invertir, a una tasa de actualización o descuento previamente establecido.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> Torres, G., Hernández, S., Pérez J., & Zaragoza M. (2002). Modernización de Caminos Rurales: La Evaluación Económica Como Herramienta en la Toma de Decisiones. Enero 2017, de Instituto Mexicano del Transporte Sitio web: <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt216.pdf>

### Capítulo 3.- SITUACIÓN ACTUAL

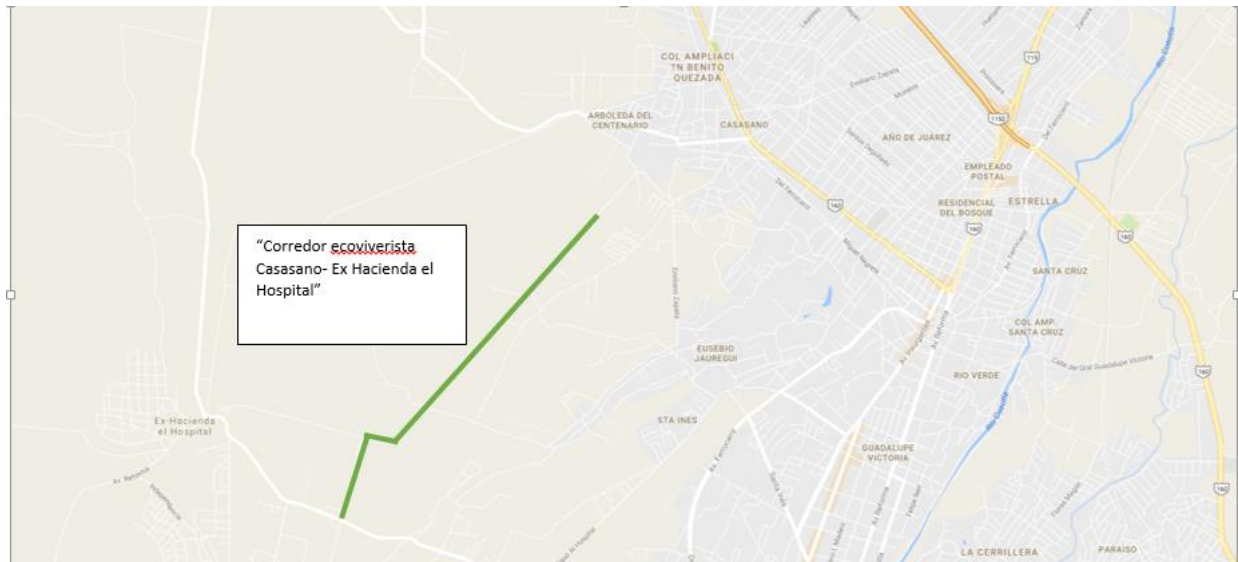
#### Ubicación geográfica.

El corredor “Ecoviverista Casasano - Ex Hacienda el Hospital” se encuentra en la Ciudad de Cuautla del Estado de Morelos. Este estado se encuentra en la parte centro del país, colindando con los estados de Guerrero, Estado de México, Puebla y la Ciudad de México. Esta ciudad tiene una extensión territorial de 153 651 000 kilómetros cuadrados, además de un total de 175, 651 habitantes, siendo así la segunda ciudad más importante del estado de Morelos.



Ilustración 9. Ubicación de Cuautla, Morelos. (Inafed, 2016).

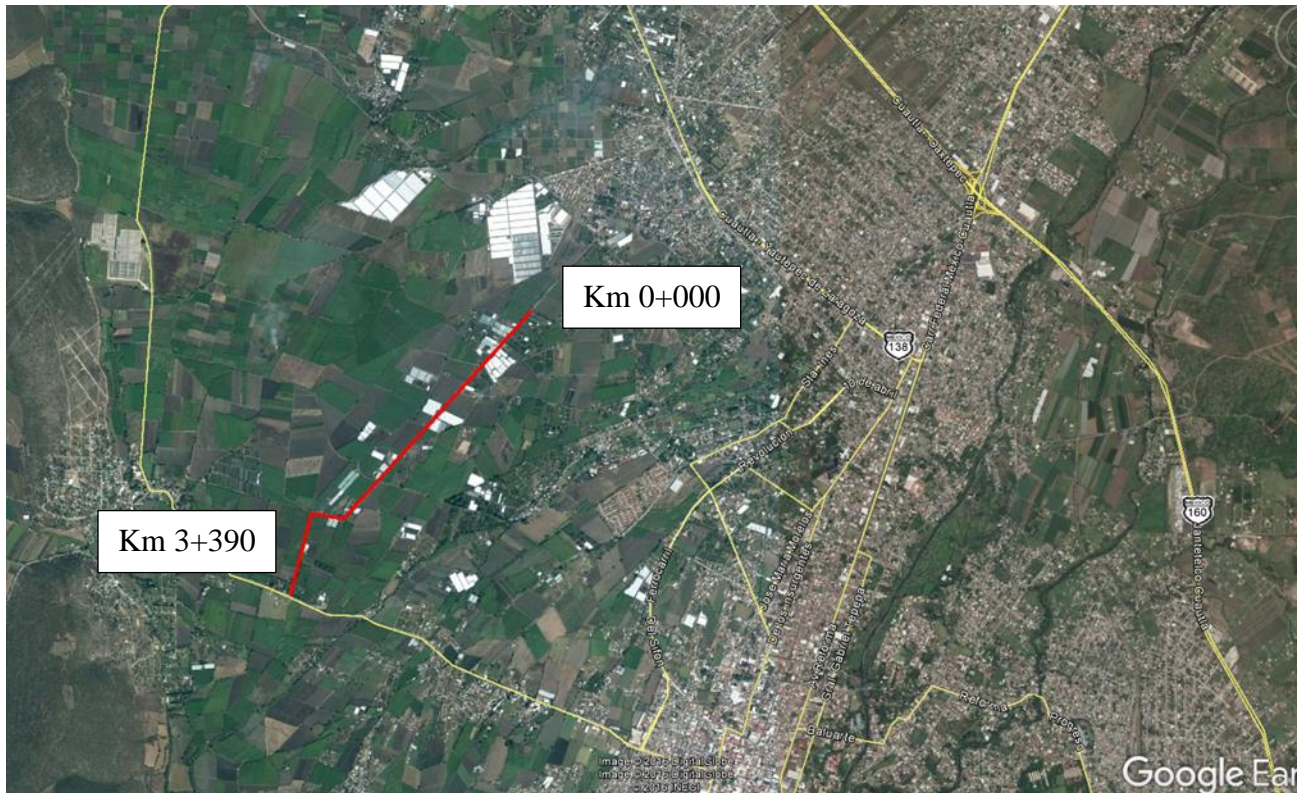
En la siguiente imagen se puede ver en la parte de Cuautla en la que está el camino:



*Ilustración 10. Ubicación del camino “Ecoviverista Casasano- Ex Hacienda el Hospital”. (Google maps, 2017).*

### **Características geométricas.**

El camino “Ecoviverista Casasano - Ex Hacienda el Hospital” que va de Casasano a la Ex Hacienda el Hospital tiene una longitud de 3.93 km, que comprende del kilómetro 0+000 al 3+930, mientras que el ancho de la sección transversal varía entre 8 y 12 metros, esto se determinó mediante un recorrido por el lugar realizando un levantamiento topográfico. Está constituida de terracería sin tener separadores de sentidos de circulación, luminarias ni acotamientos marcados. El camino también carece de obras de drenaje adecuadas que provocan encharcamientos en épocas de lluvia. Es un camino de terreno plano y con alineamiento horizontal suave, además se clasifica con nivel de servicio tipo C al tener un TDPA entre 500-1500 vehículos, a continuación se muestra una imagen de la planta del camino:



*Ilustración 11. Ubicación del inicio y final del camino. (Google earth, 2017).*

El kilómetro 0+000 pertenece a la unión con un pequeño tramo de camino asfáltico que llega al acceso a CONAPLOR y al ingenio “La Central de Casasano S.A de C.V”, este pequeño tramo mide 720 m, mientras que el km 3+390 pertenece al entronque con la carretera “Cuautla - El Hospital”.

También es importante mostrar el estado del camino y alrededores por lo que a continuación se muestran algunas ilustraciones:



*Ilustración 12. Camino de terracería, rodeado de cultivo de caña de azúcar.*



*Ilustración 13. Camino con escombro de caña, además de estar en malas condiciones.*



*Ilustración 14. Camino de terracería rugoso, rodeado de cultivos.*



*Ilustración 15. Invasión de agua de riego al camino causando daño a éste.*



*Ilustración 16. Unión del camino con la una carretera de la zona “Cuautla- El Hospital”. Es la parte final del camino en estudio.*



*Ilustración 17. Automóvil ligero circulando por el camino.*



*Ilustración 18. Inicio del camino km 0+000, unión con camino de conexión al Ingenio y CONAPLOR.*

### **Mecánica de suelos.**

Con respecto a la mecánica de suelos se encontraron que en la sección del camino predominan las arcillas de baja y de alta plasticidad.

### **Análisis de la Oferta.**

Considerando que después de hacer un recorrido por el camino se encontró que todo es de terracería, con algunos desprendimientos de agregados, compactada y sin depresiones profundas, pero en época de lluvias se generan encharcamientos. Por lo que se considera un IRI de 12 mm/m. Este valor se estableció con la ilustración 7. Al determinar este IRI se obtuvo con ayuda de la tabla 6 y 7 que la velocidad de operación para un vehículo ligero tipo A es de 56.69 km/h y para uno pesado tipo C es de 43.34 km/h. Considerando estas velocidades, de la tabla 9 y 10 se obtiene que los costos de operación para un vehículo ligero (A) es de 11.03, mientras para una pesado (C) es de 11.71.



**Análisis de la demanda.**

Para obtener el TDPA del camino se recurrió al Colegio De Ingenieros Civiles De Cuautla, quienes realizaron un estudio metropolitano del municipio de Cuautla Morelos en donde se proporcionó que según aforos vehiculares el TDPA es de 656 vehículos, este se determinó mediante un aforo manual el cual se realizó en un periodo de 12 horas contemplando las horas de mayor demanda Además se encontró que de estos el 94.25% son vehículos tipo “A”, esto representa 656 vehículos, mientras que 5.75% de vehículos tipo “C” lo cual es 40 vehículos, por otra parte no hay vehículos tipo “B”. La información se obtuvo de la tabla 11.

También es importante el porcentaje de vehículos que viajan con motivo de placer y los de trabajo. Para esto se realizó encuestas los días martes y jueves en horas pico 8:30-9:30, 14:30-15:30 y 18:00-19:00 para obtener un valor considerable, los resultados fueron que el 91.2% transita por cuestiones de trabajo y el 8.8% por cuestiones de placer.

Para obtener la tasa de crecimiento de tránsito se utilizó una publicación, de esta se obtuvo que para TDPA de 1-2000 vehículos la tasa es de 7.07%. Se determinó el valor de la tabla 12.

## **CAPÍTULO 4.- SITUACIÓN SIN PROYECTO**

### **Análisis de la oferta.**

En esta situación al considerar que el camino se ha mantenido en las mismas condiciones varios años se determinó que con la respectiva conservación que se le aplica el IRI se mantendría igual durante los siguientes 20 años, este valor es de 12 mm/m. Por lo tanto la velocidad de operación seguiría siendo igual de baja y los costos de operación y tiempo seguirían igual de altos.

### Velocidad de operación.

Mediante las tablas 6 y 7 de este trabajo, considerando un IRI de 12 mm/m se obtuvieron las velocidades de operación que se ocuparán para el estudio de la situación sin proyecto las cuales son de 56.69 km/h para vehículos ligeros (Tipo A) y 43.34 km/h para vehículos pesados (Tipo C). Debido a que el proyecto se considera de 20 años de vida útil se obtiene las siguientes velocidades de operación en el horizonte, las cuales varían según el deterioro del camino:

Tabla 13. Velocidades de operación sin proyecto.

Año	Velocidad de operación	
	Vehículo tipo A	Vehículo tipo C
0	59.69	43.34
1	59.69	43.34
2	59.69	43.34
3	59.69	43.34
4	59.69	43.34
5	59.69	43.34
6	59.69	43.34
7	59.69	43.34
8	59.69	43.34
9	59.69	43.34
10	59.69	43.34
11	59.69	43.34
12	59.69	43.34
13	59.69	43.34
14	59.69	43.34
15	59.69	43.34
16	59.69	43.34
17	59.69	43.34
18	59.69	43.34
19	59.69	43.34
20	59.69	43.34

Se considera que las velocidades se mantienen constantes debido a que con la conservación que tiene el camino el IRI se mantendría de 12.

#### Costos de operación.

Como se mencionó en el marco teórico el gasto de operación se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\text{Costo de operación} = COV \times \text{Distancia} \times \text{No. Vehículos de ese tipo}$$

(Ecuación 6).

Por lo tanto se considerando que el terreno plano y un IRI de 12 en las tablas 9 y 10 los costos de operación serán de 11.71 para camiones de dos ejes (vehículos tipo C) y 6.03 para vehículos ligeros (vehículos tipo A).

Tabla 14. Costos de operación vehicular sin proyecto.

Año	Costos de operación vehicular	
	Vehículo tipo A	Vehículo tipo C
0	6.03	11.71
1	6.03	11.71
2	6.03	11.71
3	6.03	11.71
4	6.03	11.71
5	6.03	11.71
6	6.03	11.71
7	6.03	11.71
8	6.03	11.71
9	6.03	11.71
10	6.03	11.71
11	6.03	11.71
12	6.03	11.71
13	6.03	11.71
14	6.03	11.71
15	6.03	11.71
16	6.03	11.71
17	6.03	11.71
18	6.03	11.71
19	6.03	11.71
20	6.03	11.71

Al no variar el IRI, ni la velocidad de operación permanecen los costos constantes.

#### Costos por tiempo de recorrido.

Se considerara que nuestro camino se encuentra en la región 4 según la ilustración 7, ya que es el estado de Morelos. Por lo tanto los valores que se utilizarán para el estudio son de SHCP DE 42.21 \$/km y VTpp de 25.32 \$/km. Esto de la tabla 8.

También se considera el factor de ocupación que es de 2.32 para automóviles y de 1.5 para camiones.

Para camiones: En esta sólo se considera los viajes con fines de trabajo.

Viaje por trabajo:

$$\text{Costo por tiempo de recorrido: } \frac{3.93 \text{ km}}{43.34 \text{ km/hr}} \times 1.5 \times 42.21 \frac{\$}{\text{km}} \times 656 \frac{\text{veh}}{\text{día}} = 3,766.29 \frac{\$}{\text{día}}$$

(Ecuación 5).

Para vehículos ligeros: Se consideran viajes por motivo de placer y por trabajo.

Viaje por motivo de placer:

$$\text{Costo por tiempo de recorrido: } \frac{3.93 \text{ km}}{59.69 \text{ km/hr}} \times 2.32 \times 25.32 \frac{\$}{\text{km}} \times 40 \frac{\text{veh}}{\text{día}} \times 0.088 = 13.61 \frac{\$}{\text{día}}$$

(Ecuación 5).

Viaje por trabajo:

$$\text{Costo por tiempo de recorrido: } \frac{3.93 \text{ km}}{59.69 \text{ km/hr}} \times 2.32 \times 42.21 \frac{\$}{\text{km}} \times 40 \frac{\text{veh}}{\text{día}} \times 0.912 = 235.21 \frac{\$}{\text{día}}$$

(Ecuación 5).

### **Análisis de la demanda.**

La demanda va creciendo con el tiempo aunque no exista proyecto. Para obtener la tasa de crecimiento de tránsito se utilizó una tabla realizada por el Instituto Mexicano del Transporte, de esta se obtuvo que para TDPA de 1-2000 vehículos la tasa es de 7.07%. Este valor se encuentra en la tabla 12.

Evaluando la demanda del tránsito actual obtenida mediante los aforos y proyectándola a los 20 años de vida útil del camino queda de la siguiente manera:

Tabla 15. Demanda del tránsito en los siguientes 20 años.

Tasa de crecimiento:		7.07%
Demanda de tránsito (TDPA)		
Año	Vehículo tipo A	Vehículo tipo C
0	40	656
1	43	702
2	46	752
3	49	805
4	53	862
5	56	923
6	60	988
7	65	1058
8	69	1133
9	74	1213
10	79	1299
11	85	1391
12	91	1489
13	97	1594
14	104	1707
15	111	1828
16	119	1957
17	128	2095
18	137	2243
19	146	2402
20	157	2572

## Capítulo 5.- SITUACIÓN CON PROYECTO

El proyecto consiste en colocar pavimento asfáltico en una longitud de 3.93 km y una sección transversal promedio de 15.8 m. Este considera desde los trazos preliminares, los trabajos de terracerías, los señalamientos de protección de obra, obras de drenaje, los acabados y alumbrado público. Al ser un pavimento nuevo se pretende que el IRI sea de 2.5 mm/m.

Para obtener que el pavimento asfáltico era el adecuado se recurrió al estudio de zona metropolitana del Colegio De Ingenieros Civiles De Cuautla, donde utilizaron el diseño desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM. Mediante el desarrollo de este método se establecieron los siguientes datos:

*Tabla 16. Datos del pavimento del camino.*

Espesor de la carpeta	7 cm
Espesor de la base	20 cm
Espesor de la subbase	20 cm
Espesor de la capa rompedora	40 cm
Terraplén	0 cm

Se puede apreciar en la siguiente imagen obtenida también del “Colegio de Ingenieros Civiles de Cuautla”:



*Ilustración 19. Sección transversal del pavimento. (CICC, 2013).*

Para determinar el tiempo y costo de construcción de la obra se analizó el estudio de zona metropolitana del Colegio de Ingenieros Civiles de Cuautla, en su capítulo de presupuestación de obra, donde se encuentra el desglose de precios unitarios, además del programa de obra. El cual nos menciona que se tendrá un total de 50,327.04 m<sup>2</sup> área pavimentada y se estableció un tiempo de 4 meses para realizar la obra. Para este tipo de caminos se considera adecuado tener una conservación rutinaria y otra periódica.

De la tabla 1 para obtener los montos de conservación se consideró que el terreno es plano, además de una calzada “pavimentada” con proyecto para la conservación rutinaria y “pavimentada - riego de sello” en la periódica. Se consideró una precipitación pluvial media ya que así es en la ciudad de Cuautla, Morelos. Cabe mencionar que el costo es la resta del mantenimiento con proyecto menos la de sin proyecto ya que si no se hiciera el proyecto el costo de mantenimiento en el camino revestido existiría. Por lo tanto los valores de conservación para aplicar la evaluación son los siguientes:



Tabla 17. Conservaciones del camino.

Conservación	Frecuencia	Precio (Costo pesos/km)
Rutinaria	Annual	\$5,346.39
Periódica	4 años	\$ 60, 703.76

A continuación se muestra una sección transversal de cómo quedará el camino después de realizar la obra.

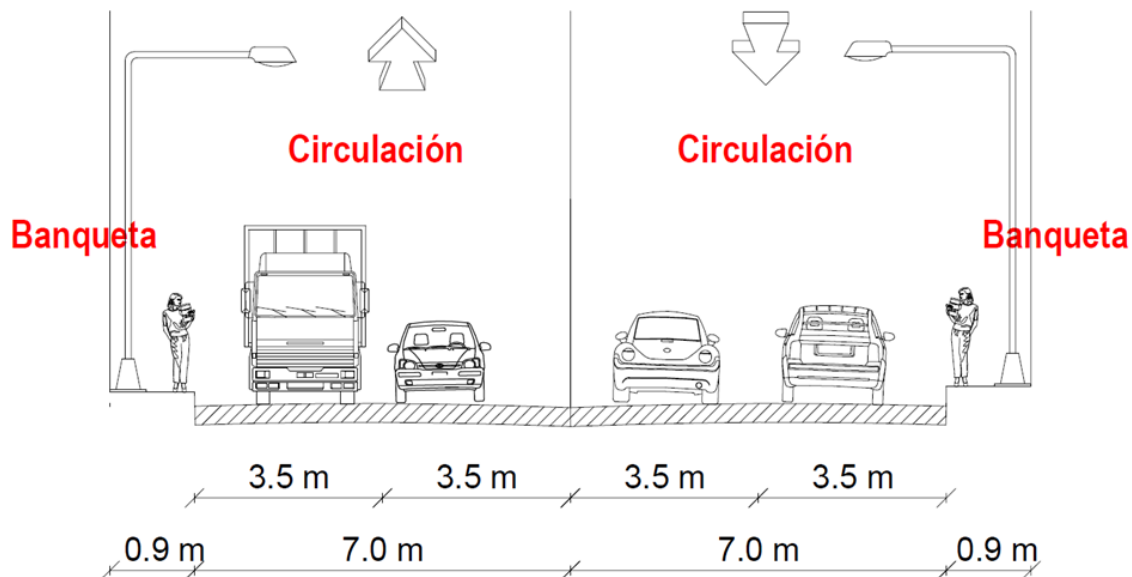


Ilustración 20. Sección transversal del camino con proyecto.

En el proyecto se consideran camiones de 2 ejes y vehículos ligeros, ya que según el aforo analizado son los únicos vehículos existentes en la zona.

### Análisis de la oferta.

En la situación con proyecto nuestras características del camino son bastante buenas al terminarse la obra, ya que al tener duración de 4 meses solo se ve afectado el primer año, a partir del segundo año de operación las condiciones del IRI, velocidad de operación y





costos de operación y por tiempo se ven mejorados. A medida que los años transcurra el IRI ira decreciendo al igual que la velocidad de operación, mientras que los costos aumentaran, por eso es importante una buena conservación para que el camino tenga los 20 años de vida útil que se propusieron.

#### Progresión del Índice de Rugosidad Internacional.

Para obtener esta progresión se utilizó un modelo basado en las ecuaciones de Irfan, Kerali y Odoki. que se utilizan para evaluación ex ante del de pavimentos y que son la base del HDM4, que es un programa precisamente para este tipo de evaluaciones. Se obtiene la estimación de equivalencia de carga con las tablas 2 y 3.

Se determinó primero la carga máxima permisible en la siguiente tabla de la NOM 012 para camiones C2 que son los que existen en el camino.

*Tabla 18. Pesos máximos autorizados por tipo de eje y camino.*

CONFIGURACIÓN DE EJES	VEHÍCULO	TIPO DE CAMINO			
		ET4 Y ET2 A4 Y A2	B4 Y B2	C	D
 SENCILLO DOS LLANTAS	B	6,50	6,00	5,50	5,00
 MOTRIZ SENCILLO CUATRO LLANTAS	B	12,50	10,50	9,00	8,00
 MOTRIZ DOBLE TANDEM SEIS LLANTAS	B	17,50	13,00	11,50	11,00
 MOTRIZ DOBLE TANDEM OCHO LLANTAS	B	21,00	17,00	14,50	13,50

*Tomada de la NOM 012*

Para obtener el factor de carga se hace por eje los cuales según la NOM-012 es de 5 para el de enfrente y 8 para el de atrás. Para determinar en la tabla se requiere el número estructural del pavimento, el cual es el siguiente:

$$(7 \text{ cm} \times 0.4) + (20 \text{ cm} \times 0.14) + (20 \text{ cm} \times 0.11) = 2.8 + 2.8 + 2.2 = 7.8$$

Con respecto a esto y la tabla anterior los factores equivalentes de carga son:

Para el eje frontal es de 0.123, mientras que para el posterior es de 0.0706, por lo que nos da un total de factor de carga de 0.194.

Luego se obtienen los ejes equivalentes anuales con la siguiente expresión:

$$EE_{anual} = 365 \sum_i (TMDA_{vehículoi} * FEC_{vehículoi})$$

*Ecuación 1.*

TMDA es lo mismo que TDPA. Que es transito diario promedio anual.

Despejando la ecuación 1 obtenemos que:

$$EE_{anual} = 365 * (656 * 0.736) = 176,227.84$$

Por último se obtiene el IRI en el tiempo según indique el cod de la tabla 4 según características del camino.

Con respecto a esta tabla el clima es intermedio y la estructura también, mientras que el tráfico se considera medio por lo que el Cod es 23. Según la tabla 5 se ocupará entonces la ecuación 10, con sus respectivos valores de correlación según el Cod de matriz que es 23 y considerando el camino como lento.

Se utiliza entonces la ecuación 2 de esta tesina o la 10 de la metodología de la revista de la construcción.

Siendo:

IRI.- Índice de rugosidad en m/km.

EE.-Ejes equivalentes.

NE.-Estimación de equivalencia de carga.

EDAD.- Tiempo en años

a, b, c son los índices de correlación.

Los valores según tablas y formulas resultas anteriormente son los siguientes:

Tabla 19. Valores obtenidos de la tabla 7.

a=	0.5311
b=	0.1988
c=	0.0175
EE=	46369.4715
NE=	7

Despejando el IRI para los años hasta el 20 debido a que es la vida útil del camino se obtienen los siguientes valores, los cuales se obtuvieron para el IRI base que es el que arroja la fórmula, mientras que la diferencia del IRI en cada año se utilizó para nuestra progresión del IRI del camino, agregando esa delta a nuestro IRI inicial de 2.5. Los valores son los siguientes:

Tabla 20. Índices de rugosidad del camino a lo largo de su vida útil.

EDAD	IRIBASE	Delta IRI	IRI del Camino en estudio
0	3.053639479	0	2.5
1	3.107548498	0.053909019	2.553909019
2	3.162409228	0.108769749	2.608769749
3	3.21823847	0.164598992	2.664598992
4	3.275053324	0.221413845	2.721413845
5	3.332871188	0.279231709	2.779231709
6	3.391709769	0.338070291	2.838070291
7	3.451587089	0.39794761	2.89794761
8	3.512521484	0.458882005	2.958882005
9	3.574531616	0.520892137	3.020892137
10	3.637636476	0.583996997	3.083996997
11	3.701855391	0.648215912	3.148215912
12	3.767208028	0.713568549	3.213568549
13	3.833714402	0.780074923	3.280074923
14	3.901394881	0.847755402	3.347755402
15	3.970270193	0.916630714	3.416630714
16	4.040361431	0.986721952	3.486721952
17	4.111690061	1.058050582	3.558050582
18	4.184277928	1.130638449	3.630638449
19	4.258147263	1.204507785	3.704507785
20	4.33320689	1.279681211	3.779681211

Velocidad de operación.

Según el proyecto propuesto y la tabla del índice de rugosidad, se pretende que el IRI sea de 2.5 mm/m al terminar la pavimentación asfáltica, por lo que con las mismas tablas se determina que como es terreno plano la velocidad de operación en el primer año será de 62.54 km/hr para vehículos tipo C que son los camiones de 2 ejes, mientras que para los de tipo A que son los vehículos ligeros será de 78.04 km/hr. Estos valores fueron determinados de las tablas 6 y 7 de este trabajo.

Mientras que la velocidad a lo largo de los 20 años de la vida del camino sería la siguiente para cada tipo de vehículo:

*Tabla 21. Velocidades de operación con proyecto.*

Año	Velocidad de operación	
	Vehículo tipo A	Vehículo tipo C
0	78.04	62.54
1	83.87	68.72
2	83.82	68.66
3	83.76	68.61
4	83.71	68.55
5	83.66	68.49
6	83.60	68.43
7	83.55	68.37
8	83.49	68.31
9	83.43	68.24
10	83.38	68.18
11	83.32	68.11
12	83.25	68.05
13	83.19	67.98
14	83.13	67.91
15	83.07	67.84
16	83.00	67.77
17	82.94	67.69
18	82.87	67.62
19	82.80	67.54
20	82.73	67.47

Cabe destacar que las velocidades del año 0 se ven afectadas por la realización de la obra.

Costo de operación.

El costo de operación para un vehículo ligero y uno pesado resulta de un estudio realizado por el programa VOCMEX que considera diversos factores del vehículo. El IMT desarrolló tablas que son las que se ocuparon para este trabajo.

Considerando el IRI de 2.5 mm/km al terminar el proyecto obtenemos que para los vehículos de tipo C que son los camiones de 2 ejes el costo es de 7.69, mientras para los vehículos ligeros que son del tipo A será de 4.04. Los valores fueron obtenidos de las tablas 9 y 10 de este trabajo.

Mientras que en el horizonte los precios aumentarán según decrezca el IRI, al calcularlos quedan de la siguiente manera:

*Tabla 22. Costos de operación vehicular con proyecto.*

Año	Costos de operación vehicular	
	Vehículo tipo A	Vehículo tipo C
0	4.48	9.08
1	4.04	7.69
2	4.05	7.71
3	4.05	7.73
4	4.06	7.76
5	4.07	7.78
6	4.07	7.80
7	4.08	7.83
8	4.08	7.85
9	4.09	7.88
10	4.10	7.90
11	4.10	7.93
12	4.11	7.96
13	4.12	7.98
14	4.12	8.01
15	4.13	8.04
16	4.14	8.07
17	4.15	8.10
18	4.15	8.13
19	4.16	8.16
20	4.17	8.19

Cabe destacar que el año 0 se ve afectado por la ejecución de la obra.

### Costo por tiempo de recorrido.

Se considerara que nuestro camino se encuentra en la región 4 según la ilustración 7, ya que es el estado de Morelos. Por lo tanto los valores que se utilizaran para el estudio son de SHCP DE 42.21 \$/km y VTpp de 25.32 \$/km. Esto de la tabla 8.

También se considera el factor de ocupación que es de 2.32 para automóviles y de 1.5 para camiones.

Para determinar el costo por tiempo de recorrido se realizan la siguiente fórmula:

$$\text{Costo por tiempo de recorrido: } \frac{\text{Distancia}}{V_{\text{operación}}} \times \text{Factor de ocupación} \times \text{Valor del tiempo} \times \text{No. de vehículos} \times \% \text{ vehículos según tipo de viaje}$$

(Ecuación 5).

Considerando las tablas, figuras y fórmula del marco teórico obtenemos los valores para el primer año de operación. Se considera que la obra afecta a las velocidades de operación en este primer año. Por lo tanto los costos por tiempo de recorrido serían de:

Para camiones: En esta sólo se consideran los viajes con fines de trabajo.

Viaje por trabajo:

$$\text{Costo por tiempo de recorrido : } \frac{3.93 \text{ km}}{62.54 \text{ km/hr}} \times 1.5 \times 42.21 \frac{\$}{\text{km}} \times 656 \frac{\text{veh}}{\text{día}} = 2610.02 \frac{\$}{\text{día}}$$

(Ecuación 5).

Para vehículos ligeros: Se consideran viajes por motivo de placer y por trabajo.

-Viaje por motivo de placer:

$$\text{Costo por tiempo de recorrido: } \frac{3.93 \text{ km}}{78.04 \text{ km/hr}} \times 2.32 \times 25.32 \frac{\$}{\text{km}} \times 40 \frac{\text{veh}}{\text{día}} \times 0.088 = 10.41 \frac{\$}{\text{día}}$$

(Ecuación 5).

-Viaje por trabajo:

$$\text{Costo por tiempo de recorridoo: } \frac{3.93 \text{ km}}{78.04 \text{ km/hr}} \times 2.32 \times 42.21 \frac{\$}{\text{km}} \times 40 \frac{\text{veh}}{\text{día}} \times 0.912 = 179.9 \frac{\$}{\text{día}}$$

(Ecuación 5).

### Análisis de la demanda.

La demanda crecerá debido al aumento del tránsito. Para obtener la tasa de crecimiento de tránsito se utilizó una tabla realizada por el Instituto Mexicano del Transporte, de esta se obtuvo que para TDPA de 1-2000 vehículos la tasa es de 7.07%. Este valor se encuentra en la tabla 12. Obteniendo así el mismo aumento de tránsito que para la situación sin proyecto en los siguientes 20 años.

Evaluando la demanda del tránsito actual obtenida mediante los aforos y proyectándola a 20 años queda de la siguiente manera:

Tabla 23. Demanda del tránsito en los siguientes 20 años.

Tasa de crecimiento:		7.07%
Demanda de tránsito (TDPA)		
Año	Vehículo tipo A	Vehículo tipo C
0	40	656
1	43	702
2	46	752
3	49	805
4	53	862
5	56	923
6	60	988
7	65	1058
8	69	1133
9	74	1213
10	79	1299
11	85	1391
12	91	1489
13	97	1594
14	104	1707
15	111	1828
16	119	1957
17	128	2095
18	137	2243
19	146	2402
20	157	2572



## Capítulo 6.- EVALUACIÓN DEL PROYECTO.

A continuación se muestra con objeto de comparar la situación con proyecto y sin proyecto una tabla resumen de las diferencias en el camino:

Tabla 24. Datos con y sin proyecto.

Concepto	Camino con proyecto	Camino sin proyecto
Longitud (km)	3.93	3.93
Carriles	4	Sin definir
Ancho de corona por sentido (m)	7	5.5
Banqueta	0.9	0
Acotamiento	0	0
Tipo de pavimento	Flexible	Terracería
Estado físico	Bueno	Malo
Índice internacional de rugosidad	2.5	12

### Indicadores de rentabilidad

Para el cálculo de los indicadores se utilizó un programa en Excel. Primero se ocuparon los datos obtenidos de proyección de tránsito con la tasa de crecimiento de la demanda de vehículos. También se utilizaron las velocidades de operación que se obtuvieron, esto para poder obtener los costos de operación y por tiempo lo que nos da de resultado valores a lo largo de los 20 años de vida útil del camino. El factor que se utiliza para actualizar los beneficios es:

$$\frac{\text{Beneficios}}{(1+i)^n}$$

Ecuación 12. Factor de descuento.

Siendo “i” La tasa mínima esperada o tasa de descuento y “n” el año.

Primero se mostrarán los valores de la situación sin proyecto:

Tabla 25. Valores del tránsito, velocidad de operación y costos de operación sin proyecto.

Tránsito (Veh/Día)			Velocidad de Operación (km/hr)			Costos de Operación Vehicular (\$/km)		
A	B	C	A	B	C	A	B	C
40	0	656	59.69		43.34	6.03		11.71
43	0	702	59.69		43.34	6.03		11.71
46	0	752	59.69		43.34	6.03		11.71
49	0	805	59.69		43.34	6.03		11.71
53	0	862	59.69		43.34	6.03		11.71
56	0	923	59.69		43.34	6.03		11.71
60	0	988	59.69		43.34	6.03		11.71
65	0	1058	59.69		43.34	6.03		11.71
69	0	1133	59.69		43.34	6.03		11.71
74	0	1213	59.69		43.34	6.03		11.71
79	0	1299	59.69		43.34	6.03		11.71
85	0	1391	59.69		43.34	6.03		11.71
91	0	1489	59.69		43.34	6.03		11.71
97	0	1594	59.69		43.34	6.03		11.71
104	0	1707	59.69		43.34	6.03		11.71
112	0	1828	59.69		43.34	6.03		11.71
119	0	1957	59.69		43.34	6.03		11.71
128	0	2095	59.69		43.34	6.03		11.71
137	0	2243	59.69		43.34	6.03		11.71
147	0	2402	59.69		43.34	6.03		11.71
157	0	2572	59.69		43.34	6.03		11.71

Tabla 26. Costos totales de operación, tiempo de recorrido y costos por tiempo sin proyecto.

Costos Totales de Operación (Miles Pesos por Día)			Tiempo de Recorrido (Horas)			Costos por Tiempos de Recorrido (Miles de Pesos por Día)		
A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	-	30	0.07	-	0.09	0.25	-	3.77
1	-	32	0.07	-	0.09	0.27	-	4.03
1	-	35	0.07	-	0.09	0.29	-	4.32
1	-	37	0.07	-	0.09	0.31	-	4.62
1	-	40	0.07	-	0.09	0.33	-	4.95
1	-	42	0.07	-	0.09	0.35	-	5.30
1	-	45	0.07	-	0.09	0.38	-	5.67
2	-	49	0.07	-	0.09	0.40	-	6.08
2	-	52	0.07	-	0.09	0.43	-	6.50
2	-	56	0.07	-	0.09	0.46	-	6.96
2	-	60	0.07	-	0.09	0.49	-	7.46
2	-	64	0.07	-	0.09	0.53	-	7.98
2	-	69	0.07	-	0.09	0.57	-	8.55
2	-	73	0.07	-	0.09	0.61	-	9.15
2	-	79	0.07	-	0.09	0.65	-	9.80
3	-	84	0.07	-	0.09	0.69	-	10.49
3	-	90	0.07	-	0.09	0.74	-	11.24
3	-	96	0.07	-	0.09	0.80	-	12.03
3	-	103	0.07	-	0.09	0.85	-	12.88
3	-	111	0.07	-	0.09	0.91	-	13.79
4	-	118	0.07	-	0.09	0.98	-	14.77

Posteriormente se introdujeron en el programa los gastos por mantenimiento que tendría el camino sin proyecto durante los siguientes 20 años:

*Tabla 27. Costo por mantenimiento sin proyecto.*

Costos de Mantenimiento (Miles de Pesos por Año)		
Rutinaria	Periodica	Reconstrucción
13	-	-
13	-	-
13	-	-
13	-	-
13	-	-
13	60	-
13	-	-
13	-	-
13	-	-
13	60	-
13	-	-
13	-	-
13	-	-
13	60	-
13	-	-
13	-	-
13	-	-
13	-	-
13	60	-
13	-	-
13	-	-
13	-	-

Los costos de operación y por tiempo se multiplicaron por 365 días para poder comparar con los gastos de mantenimiento y así hacer el análisis anual, los costos totales anuales sin proyecto se muestran a continuación:

Tabla 28. Costos totales sin proyecto en miles de pesos.

AÑO	SITUACION SIN PROYECTO			
	COV	Tiempo	Conservación	TOTAL
0	11,365	1,466	13	12,844
1	12,168	1,569	13	13,751
2	13,029	1,680	13	14,722
3	13,950	1,799	13	15,762
4	14,936	1,926	13	16,876
5	15,992	2,062	74	18,128
6	17,123	2,208	13	19,344
7	18,333	2,364	13	20,711
8	19,629	2,531	13	22,174
9	21,017	2,710	74	23,801
10	22,503	2,902	13	25,418
11	24,094	3,107	13	27,215
12	25,798	3,327	13	29,138
13	27,622	3,562	74	31,257
14	29,574	3,814	13	33,401
15	31,665	4,083	13	35,762
16	33,904	4,372	13	38,289
17	36,301	4,681	74	41,056
18	38,868	5,012	13	43,893
19	41,615	5,366	13	46,995
20	44,558	5,746	13	50,317

A continuación se muestran las mismas tablas de resultados, pero de la situación con proyecto:

Tabla 29. Valores del tránsito, velocidad de operación y costos de operación con proyecto.

Tránsito (Veh/Día)			Velocidad de Operación (km/hr)			Costos de Operación Vehicular (\$/km)		
A	B	C	A	B	C	A	B	C
40	0	656	78.04		62.54	4.48		9.08
43	0	702	83.82		68.66	4.05		7.71
46	0	752	83.76		68.61	4.05		7.73
49	0	805	83.71		68.55	4.06		7.76
53	0	862	83.66		68.49	4.07		7.78
56	0	923	83.60		68.43	4.07		7.80
60	0	988	83.55		68.37	4.08		7.83
65	0	1058	83.49		68.31	4.08		7.85
69	0	1133	83.43		68.24	4.09		7.88
74	0	1213	83.38		68.18	4.10		7.90
79	0	1299	83.32		68.11	4.10		7.93
85	0	1391	83.25		68.05	4.11		7.96
91	0	1489	83.19		67.98	4.12		7.98
97	0	1594	83.13		67.91	4.12		8.01
104	0	1707	83.07		67.84	4.13		8.04
112	0	1828	83.00		67.77	4.14		8.07
119	0	1957	82.94		67.69	4.15		8.10
128	0	2095	82.87		67.62	4.15		8.13
137	0	2243	82.80		67.54	4.16		8.16
147	0	2402	82.73		67.47	4.17		8.19
157	0	2572	82.66		67.39	4.18		8.22

Tabla 30. Costos totales de operación, tiempo de recorrido y costos por tiempo con proyecto.

Costos Totales de Operación (Miles Pesos por Día)			Tiempo de Recorrido (Horas)			Costos por Tiempos de Recorrido (Miles de Pesos por Día)		
A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	-	23	0.050		0.063	0.19	-	2.61
1	-	21	0.047		0.057	0.19	-	2.55
1	-	23	0.047		0.057	0.20	-	2.73
1	-	25	0.047		0.057	0.22	-	2.92
1	-	26	0.047		0.057	0.23	-	3.13
1	-	28	0.047		0.057	0.25	-	3.36
1	-	30	0.047		0.057	0.27	-	3.60
1	-	33	0.047		0.058	0.29	-	3.85
1	-	35	0.047		0.058	0.31	-	4.13
1	-	38	0.047		0.058	0.33	-	4.43
1	-	40	0.047		0.058	0.35	-	4.75
1	-	43	0.047		0.058	0.38	-	5.09
1	-	47	0.047		0.058	0.41	-	5.45
2	-	50	0.047		0.058	0.43	-	5.84
2	-	54	0.047		0.058	0.47	-	6.26
2	-	58	0.047		0.058	0.50	-	6.71
2	-	62	0.047		0.058	0.53	-	7.19
2	-	67	0.047		0.058	0.57	-	7.71
2	-	72	0.047		0.058	0.61	-	8.26
2	-	77	0.048		0.058	0.66	-	8.86
3	-	83	0.048		0.058	0.70	-	9.50

Tabla 31. Costo por mantenimiento con proyecto

Costos de Mantenimiento (Miles de Pesos por Año)		
Rutinaria	Periodica	Reconstrucción
	-	-
19	-	-
19	-	-
19	-	-
19	-	-
19	121	-
19	-	-
19	-	-
19	-	-
19	-	-
19	121	-
19	-	-
19	-	-
19	-	-
19	-	-
19	121	-
19	-	-
19	-	-
19	-	-

Cabe mencionar que el año 0 se vio afectado por la construcción de la obra por lo que no se consideró mantenimiento y hubo impacto en los costos y velocidades.

Enseguida se muestran los gastos totales de la situación con proyecto:

*Tabla 32. Costos totales con proyecto en miles de pesos.*

AÑO	SITUACION CON PROYECTO			
	COV	Tiempo	Conservación	TOTAL
0	8,801	1,022	-	9,823
1	8,016	998	19	9,034
2	8,608	1,070	19	9,697
3	9,244	1,146	19	10,409
4	9,927	1,228	19	11,174
5	10,661	1,316	140	12,117
6	11,450	1,411	19	12,880
7	12,298	1,512	19	13,828
8	13,209	1,620	19	14,848
9	14,189	1,736	19	15,944
10	15,241	1,861	140	17,242
11	16,373	1,994	19	18,386
12	17,589	2,137	19	19,745
13	18,897	2,291	19	21,206
14	20,303	2,455	19	22,777
15	21,814	2,632	19	24,464
16	23,439	2,821	140	26,399
17	25,187	3,023	19	28,229
18	27,066	3,241	19	30,325
19	29,087	3,474	19	32,579
20	31,260	3,723	19	35,002

La siguiente tabla muestra los ahorros por costo de operación vehicular, costo de tiempo y mantenimiento gracias a la construcción del proyecto, restando los valores de la situación sin proyecto a los de la situación con proyecto, cabe mencionar que al pasar de un camino de terracería a uno asfáltico la conservación aumento:

Tabla 33. Ahorros en miles de pesos al año.

AÑO	Con Proyecto			
	COV	Tiempo	Conservación	TOTAL
0	\$2,563.73	\$443.39	\$13.37	\$3,020.49
1	\$4,151.93	\$570.83	-\$5.35	\$4,717.42
2	\$4,420.53	\$610.32	-\$5.35	\$5,025.51
3	\$4,705.89	\$652.52	-\$5.35	\$5,353.06
4	\$5,008.99	\$697.61	-\$5.35	\$5,701.25
5	\$5,330.87	\$745.79	-\$66.05	\$6,010.61
6	\$5,672.61	\$797.28	-\$5.35	\$6,464.54
7	\$6,035.36	\$852.30	-\$5.35	\$6,882.31
8	\$6,420.33	\$911.08	-\$5.35	\$7,326.06
9	\$6,828.77	\$973.88	\$54.80	\$7,857.45
10	\$7,262.02	\$1,040.98	-\$126.20	\$8,176.80
11	\$7,721.46	\$1,112.65	-\$5.35	\$8,828.76
12	\$8,208.54	\$1,189.22	-\$5.35	\$9,392.41
13	\$8,724.79	\$1,271.01	\$54.80	\$10,050.60
14	\$9,271.79	\$1,358.37	-\$5.35	\$10,624.82
15	\$9,851.21	\$1,451.68	-\$5.35	\$11,297.54
16	\$10,464.78	\$1,551.33	-\$126.20	\$11,889.91
17	\$11,114.30	\$1,657.76	\$54.80	\$12,826.85
18	\$11,801.64	\$1,771.41	-\$5.35	\$13,567.70
19	\$12,528.76	\$1,892.76	-\$5.35	\$14,416.18
20	\$13,297.67	\$2,022.34	-\$5.35	\$15,314.67

Con estos beneficios y agregando el costo de la inversión se prosiguió a calcular los indicadores de rentabilidad a cada año y al final del proyecto, las fórmulas para obtenerlos se han mostrado ya en el marco teórico, las funciones de Excel que se utilizaron son:

Para VPN:  $VNA$  (tasa de descuento, beneficios netos totales (Sin el año de inversión))-  
Inversión.

Para TIR: TIR (Beneficios netos totales (con el año de inversión))

Se utilizó una tasa de descuento o tasa mínima de rentabilidad TREMA de 10% ya que considerando el tipo de obra y las ganancias que se quieren obtener de ella se considera una tasa adecuada que es mayor a la que ofrece el banco y que puede lograr obtener buenos beneficios. Es considerada adecuada para este tipo de proyectos.

En la siguiente tabla se muestran los índices de rentabilidad de cada año, los precios están en miles de pesos:

Tabla 34. . Indicadores en miles de pesos

AÑO					INDICADORES				
	AHORROS	INVERSIÓN Y COSTOS	BENEFICIOS ADICIONALES	BENEFICIOS TOTALES	VPN (MDP)	TIR (%)	TRI	Beneficios actualizado	B/C
0	3,020	60,421		(57,401)	(57,401)	#NUM!		3020.488	0.05
1	4,717			4,717	(53,112)	-91.78%	8%	4288.564	0.12
2	5,026	-		5,026	(48,959)	-66.02%	8%	4153.312	0.19
3	5,353	-		5,353	(44,937)	-45.01%	9%	4021.836	0.26
4	5,701	-		5,701	(41,043)	-30.43%	9%	3894.034	0.32
5	6,011	-		6,011	(37,311)	-20.37%	10%	3732.117	0.38
6	6,465	-		6,465	(33,662)	-13.11%	11%	3649.067	0.44
7	6,882	-		6,882	(30,130)	-7.78%		3531.714	0.50
8	7,326	-		7,326	(26,712)	-3.78%		3417.661	0.56
9	7,857	-		7,857	(23,380)	-0.67%		3332.327	0.61
10	8,177	-		8,177	(20,227)	1.72%		3152.509	0.67
11	8,829	-		8,829	(17,133)	3.66%		3094.427	0.72
12	9,392	-		9,392	(14,140)	5.23%		2992.712	0.77
13	10,051	-		10,051	(11,229)	6.52%		2911.3	0.81
14	10,625	-		10,625	(8,431)	7.58%		2797.846	0.86
15	11,298	-		11,298	(5,727)	8.47%		2704.542	0.91
16	11,890	-		11,890	(3,139)	9.22%		2587.592	0.95
17	12,827	-		12,827	(601)	9.86%		2537.725	0.99
18	13,568	-		13,568	1,839	10.41%		2440.27	1.03
19	14,416	-		14,416	4,196	10.88%		2357.16	1.07
20	15,315	-		15,315	6,473	11.28%		2276.428	1.11

Resumiendo la tabla anterior el valor presente neto, tasa interna de retorno y año óptimo de inversión según la tasa de rentabilidad inmediata serían los siguientes:

Tabla 35. Resumen de resultados.

Indicadores del proyecto	
VPN	6,472.63
TIR	11%
TRI	En el año 6
B/C	1.11

Se determina por lo tanto que el proyecto es rentable ya que el valor futuro en el presente (VPN) es de \$ 6, 472.63 que es mayor a 1, mientras que la rentabilidad es del 11% mayor a la mínima esperada que es del 10%, el índice costo - beneficio (B/C) también nos indica que es rentable ya que es mayor a 1, por otra parte, podemos observar que el año óptimo para empezar en la operación es el año 6 ya que con esa cantidad de transito se generarían mayores ganancias, según la tasa de rentabilidad inmediata.



### Análisis de sensibilidad.

Lo más importante en este análisis es evaluar cómo se comportaría el proyecto considerando cambios en la inversión inicial, por lo que a continuación se muestran 2 escenarios extras, uno donde la inversión es considerablemente mayor, ósea de \$80, 000,000 y otra donde es menor que será de \$40,000,000. Veamos cómo se comporta el proyecto:

Escenario 1: Costo de inversión \$80, 000,000, los resultados de los índices de evaluación serían los siguientes:

Tabla 36. Indicadores en miles de pesos.

AÑO					INDICADORES				
	AHORROS	INVERSIÓN Y COSTOS	BENEFICIOS ADICIONALES	BENEFICIOS TOTALES	VPN (MDF)	TIR (%)	TRI	Beneficios actualizado	B/C
0	3,020	80,000		(76,980)	(76,980)	#NUM!		3020.488	0.04
1	4,717			4,717	(72,691)	-93.87%	6%	4288.564	0.09
2	5,026	-		5,026	(68,538)	-71.20%	6%	4153.312	0.14
3	5,353	-		5,353	(64,516)	-51.24%	7%	4021.836	0.19
4	5,701	-		5,701	(60,622)	-36.80%	7%	3894.034	0.24
5	6,011	-		6,011	(56,890)	-26.56%	8%	3732.117	0.29
6	6,465	-		6,465	(53,241)	-19.01%	8%	3649.067	0.33
7	6,882	-		6,882	(49,709)	-13.39%	9%	3531.714	0.38
8	7,326	-		7,326	(46,291)	-9.09%	9%	3417.661	0.42
9	7,857	-		7,857	(42,959)	-5.71%	10%	3332.327	0.46
10	8,177	-		8,177	(39,806)	-3.08%	10%	3152.509	0.50
11	8,829	-		8,829	(36,712)	-0.93%	11%	3094.427	0.54
12	9,392	-		9,392	(33,719)	0.84%		2992.712	0.58
13	10,051	-3.1%		10,051	(30,808)	2.31%		2911.3	0.61
14	10,625	-		10,625	(28,010)	3.53%		2797.846	0.65
15	11,298	-		11,298	(25,306)	4.56%		2704.542	0.68
16	11,890	-		11,890	(22,718)	5.43%		2587.592	0.72
17	12,827	-		12,827	(20,180)	6.19%		2537.725	0.75
18	13,568	-		13,568	(17,740)	6.85%		2440.27	0.78
19	14,416	-		14,416	(15,383)	7.41%		2357.16	0.81
20	15,315			15,315	(13,106)	7.91%		2276.428	0.84

Tabla 37. Resumen de resultados.

Indicadores del proyecto	
VPN	- 13,106.37
TIR	8%
TRI	En el año 11
B/C	0.84

El proyecto no sería rentable, al ser el valor presente neto (VPN) menor que 1 y la rentabilidad menor a la esperada, por otra parte, el índice de costo - beneficio es menor a 1 lo que nos comprueba la no rentabilidad del proyecto.

-Escenario 2: Costo de inversión \$40, 000,000, los resultados de los índices de evaluación serían los siguientes:

Tabla 38. Indicadores en miles de pesos.

INDICADORES (miles de pesos)										
AÑO	INVERSIÓN Y			BENEFICIOS ADICIONALES	BENEFICIOS TOTALES	VPN (MDP)	TIR (%)	TRI	Beneficios actualizado	B/C
	AHORROS	COSTOS								
0	3,020	40,000			(36,980)	(36,980)	#NUM!	12%	3020.488	0.08
1	4,717				4,717	(32,691)	-87.24%		4288.564	0.18
2	5,026				5,026	(28,538)	-56.21%		4153.312	0.29
3	5,353				5,353	(24,516)	-33.75%		4021.836	0.39
4	5,701				5,701	(20,622)	-19.14%		3894.034	0.48
5	6,011				6,011	(16,890)	-9.51%		3732.117	0.58
6	6,465				6,465	(13,241)	-2.80%		3649.067	0.67
7	6,882				6,882	(9,709)	1.98%		3531.714	0.76
8	7,326				7,326	(6,291)	5.48%		3417.661	0.84
9	7,857				7,857	(2,959)	8.12%		3332.327	0.93
10	8,177				8,177	194	10.11%		3152.509	1.00
11	8,829				8,829	3,288	11.69%		3094.427	1.08
12	9,392				9,392	6,281	12.94%		2992.712	1.16
13	10,051				10,051	9,192	13.94%		2911.3	1.23
14	10,625				10,625	11,990	14.76%		2797.846	1.30
15	11,298				11,298	14,694	15.42%		2704.542	1.37
16	11,890				11,890	17,282	15.97%		2587.592	1.43
17	12,827				12,827	19,820	16.43%		2537.725	1.50
18	13,568				13,568	22,260	16.81%		2440.27	1.56
19	14,416				14,416	24,617	17.13%		2357.16	1.62
20	15,315				15,315	26,894	17.40%		2276.428	1.67

Tabla 39. Resumen de resultados.

Indicadores del proyecto	
VPN	26,893.63
TIR	17%
TRI	En el año 1
B/C	1.67

Si se lograra realizar un proyecto con una inversión de 40, 000, 000 de pesos y lograr cumplir los requerimientos del camino se obtendría rentabilidad mucho mayor, además de que el valor de ganancia del futuro en la presente sería mayor, según el valor presente neto (VPN).

Por último se usó la función objetivo para determinar cuál sería la inversión máxima para que nos diera un VPN de 1, TIR de 10 y B/C de 1, esto determinaría el valor para qué el proyecto fuera indiferente y un precio entre este valor y 40, 000, 000 haría rentable el proyecto. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 40. Indicadores en miles de pesos.

INDICADORES (miles de pesos)									
AÑO					INDICADORES				
	AHORROS	INVERSIÓN Y COSTOS	BENEFICIOS ADICIONALES	BENEFICIOS TOTALES	VPN (MDP)	TIR (%)	TRI	Beneficios actualizado	B/C
0	3,020	66,893		(63,872)	(63,872)	#NUM!		3020.488	0.05
1	4,717			4,717	(59,584)	-92.61%	7%	4288.564	0.11
2	5,026	-		5,026	(55,430)	-68.02%	8%	4153.312	0.17
3	5,353	-		5,353	(51,408)	-47.39%	8%	4021.836	0.23
4	5,701	-		5,701	(47,514)	-32.84%	9%	3894.034	0.29
5	6,011	-		6,011	(43,782)	-22.71%	9%	3732.117	0.35
6	6,465	-		6,465	(40,133)	-15.34%	10%	3649.067	0.40
7	6,882	-		6,882	(36,601)	-9.90%	10%	3531.714	0.45
8	7,326	-		7,326	(33,184)	-5.78%		3417.661	0.50
9	7,857	-		7,857	(29,852)	-2.57%		3332.327	0.55
10	8,177	-		8,177	(26,699)	-0.09%		3152.509	0.60
11	8,829	-		8,829	(23,605)	1.93%		3094.427	0.65
12	9,392	-		9,392	(20,612)	3.57%		2992.712	0.69
13	10,051	-		10,051	(17,701)	4.93%		2911.3	0.74
14	10,625	-		10,625	(14,903)	6.05%		2797.846	0.78
15	11,298	-		11,298	(12,198)	6.99%		2704.542	0.82
16	11,890	-		11,890	(9,611)	7.78%		2587.592	0.86
17	12,827	-		12,827	(7,073)	8.47%		2537.725	0.89
18	13,568	-		13,568	(4,633)	9.06%		2440.27	0.93
19	14,416	-		14,416	(2,275)	9.56%		2357.16	0.97
20	15,315	-		15,315	1	10.00%		2276.428	1.00

Tabla 41. Resumen de resultados.

Indicadores del proyecto	
VPN	1.00
TIR	10%
TRI	En el año 8
B/C	1.00

El valor máximo de inversión debe ser \$66, 893, 000.

**Conclusiones y recomendaciones.**

A través de la realización de una evaluación socioeconómica, se logró ejecutar el análisis del camino en sus distintas situaciones, esto con el fin de determinar la rentabilidad de la pavimentación del camino “Ecoviverista – Ex Hacienda el Hospital”. Dicha evaluación demostró que se obtendrían beneficios económicos para la localidad al ejecutar el proyecto ya que el valor presente neto (VPN) resultó mayor a cero y la tasa de rentabilidad inmediata (TIR) mayor a la tasa de rentabilidad mínima aceptable (TREMA).

De igual forma se evaluó mediante un análisis de sensibilidad los distintos escenarios a considerar, estimando la variación del capital inicial, consiguiendo de esta manera un monto máximo de inversión para que el proyecto siga siendo rentable y determinado los ahorros dependiendo del tipo de monto que se invierta. Por otra parte se logró justificar la ejecución de la obra y las razones del por qué se quiere llevar a cabo.

Por lo dicho en el párrafo anterior, recomiendo de manera concreta la ejecución de este proyecto para así beneficiar a la población que ocupa el camino, además de la proposición de que la obra sea realizada mediante recursos estatales.

También sugiero reducir la inversión en el camino pero cumpliendo los requerimientos básicos del proyecto, para lograr la obtención de mayor rentabilidad al realizar la obra, reiterando una vez más en tener una buena planeación, ejecución y control de la obra, con el fin de no acrecentar el monto de inversión, ya que de lo contrario éste podría dejar de ser rentable.

**Bibliografía:**

- Arroyo, J., Aguerrebere, R., & Torres, G. (2014). Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2014. Enero 2017, de Instituto Mexicano del Transporte Sitio web:  
<http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt407.pdf>
- Blank, L., & Tarquin, A. (2006). Ingeniería económica. México. McGraw Hill.
- Baca, G. (2006). Evaluación de Proyectos. México: McGraw Hill.
- Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. (2016). Cuautla. Enero 2017, de Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México de Sitio web:  
<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM17morelos/municipios/17006a.html>
- Hacienda de Casasano. (2016). Historia de la Hacienda de Casasano. Enero 2017, de Hacienda de Casasano. Sitio web:  
<http://www.haciendacasasano.com/historia.php>
- Granada, L. (noviembre, 2013). Particularidades del Mercado y las expectativas para el uso y producción de material de propagación certificado. Enero 2017, de Conaplor Sitio web:  
<http://snics.sagarpa.gob.mx/Documents/Morelos/SNICS%20Propagacion%20CONAPLOR.pdf>
- Instituto Mexicano del Transporte. Evaluación económica de la pendiente gobernadora en carreteras. 1995. enero 2017, De Instituto Mexicano del

Transporte Sitio web:

<http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt54.pdf>

- Maldonado, O. (2011). Definición de términos. Enero 2017, de Universidad José Cecilio Delgado Sitio web: <https://es.scribd.com/doc/50836287/Definicion-de-terminos-carreteras>.
- Martínez, F., & Martínez, A. (2015). Estado de Morelos. Enero 2017, de Para Todo México Sitio web: <http://www.paratodomexico.com/estados-de-mexico/estado-morelos/index.html>
- Mazón, F. (2013). Corredor Ecoturístico. Enero 2017, de Colegio de Ingenieros Civiles de Cuautla.
- Municipios. (2017). Cuautla. Enero 2017, de Municipios. Sitio web: <http://www.municipios.mx/morelos/cuautla/>.
- Olivares, J. (enero, 2010). Presentan proyecto del camino Casasano- El Hospital. Enero 2017, de La Jornada Sitio web: <https://www.launion.com.mx/morelos/cuautla/noticias/2589-presentan-proyectoidel-camino-casasano-el-hospital.html>.
- Patiño, M., Anguas, P., Rodríguez, A. Índice internacional de rugosidad en la red carretera de México. 1998. enero 2017, de Instituto Mexicano del Transporte Sitio web: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt108.pdf>
- Roy. CONAPLOR. Enero 2017, de Mapio Sitio web: <http://mapio.net/pic/p-41930035/>

- Secretaría de Comunicaciones y transporte. (2015). Infraestructura Para La Producción y comercialización en el Desarrollo Regional. Enero 2017, de Secretaría de Comunicaciones y Transporte.
- Secretaría de Comunicaciones y Transporte. NOM 012. 2014. Enero 2017, de Gobierno de la República Sitio web:  
[http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5368355&fecha=14/11/2014](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5368355&fecha=14/11/2014)
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2015). Metodología para la Evaluación de Carreteras. Enero 2017, de Gobierno Federal Sitio web:  
[http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/21452/Met\\_Carreteras\\_Parte1.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/21452/Met_Carreteras_Parte1.pdf)
- Torres, G., Hernández, S., González, A. Estimación del valor del tiempo de los ocupantes de los vehículos que circulan por la red carretera de México, 2016. Febrero 2017, de Instituto Mexicano del Transporte Sitio web:  
<http://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=422&IdBoletin=158>
- Torres, G., Hernández, S., Pérez J., & Zaragoza M. (2002). Modernización de Caminos Rurales: La Evaluación Económica Como Herramienta en la Toma de Decisiones. Enero 2017, de Instituto Mexicano del Transporte Sitio web:  
<http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt216.pdf>
- Vera, I., Thenoux, G., Solminihac, H., Echaveguren, T. (2010). Modelo de evaluación técnica del desempeño del mantenimiento de pavimentos flexibles. Febrero 2017, de Revista de la Construcción Sitio web:  
[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-915X2010000200008](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2010000200008)

- Zárate, M. (2011). Diseño de pavimentos flexibles. Ciudad de México: Asociación Mexicana del Asfalto, A. C.