Universidad Iberoamericana Puebla

Repositorio Institucional **http://repositorio.iberopuebla.mx**

ExpoIbero Otoño 2022

Evaluación de construcción de un tren interurbano en el estado de Puebla que conecte las ciudades de Puebla y Tehuacán

Rodríguez Merchant, Gerardo

2022-12-02

https://hdl.handle.net/20.500.11777/5571

http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf

Evaluación de construcción de un tren interurbano en el estado de Puebla que conecte las ciudades de Puebla y Tehuacán

Navarro Padilla Jorge Luis (noveno semestre en Ingeniería Industrial)[1], Rodríguez Merchant Gerardo (octavo semestre en Ingeniería Industrial)[1, *], Sánchez Gómez David (noveno semestre en Ingeniería Civil)[1], Vargas Lorenzo Carlos (noveno semestre en Ingeniería Civil)[1], Vargas Vela Rubén Emilio (noveno semestre en Ingeniería Civil)[1], Cantú Hernández Francisco Antonio (profesor responsable)[1].

[1]*Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México*

Resumen

La evaluación de la construcción de un tren interurbano que conecte a las ciudades de Puebla y Tehuacán es un proyecto que apoyaría a los ciudadanos, turistas y personas que frecuenten la ruta a poder transportarse de manera eficiente dentro del estado. El objetivo del proyecto es evaluar la factibilidad de la construcción de un tren interurbano que conecte a Puebla con Tehuacán, buscando una nueva alternativa de movilidad para las personas dentro del estado. El proyecto se realizó mediante varios procedimientos, entre los cuales destacan la elaboración y aplicación de una encuesta a personas que transitan la ruta con frecuencia, seguido por el análisis de las diferentes zonas del estado, la comparación de los materiales y procesos constructivos necesarios para la construcción de las vías férreas y por último, la determinación de la factibilidad que tendría la elaboración de un tren interurbano dentro del estado, en términos de logística, tiempo, dinero y distancia. En los resultados obtenidos se recopiló información acerca de la buena disposición de la población acerca del posible uso del tren, así mismo, mediante una investigación completa se calculó que la ruta mediría 110.1 km, dando un tiempo de recorrido de 58.94 minutos considerando las paradas en las estaciones de Amozoc y Tepeaca, de igual manera, el costo total del proyecto resultó de $479,918,206.00 MXN. Con estos resultados, se pudo concluir que el proyecto cumplió con sus objetivos, ya que este arrojó resultados positivos en cuanto a logística, tiempo, dinero y distancia.

Palabras clave: Tren, Movilidad, Puebla, Tehuacán, Infraestructura

[*]**Autor Corresponsal:** 188304@iberopuebla.mx

Introducción

En los últimos años ha habido un gran crecimiento económico y poblacional de los estados de la República, así como de la ciudades que los conforman, según datos del índice de movilidad urbana (Imco), el promedio nacional de traslado en automóvil particular es del 29%, contra un 38% en transporte público y un 31% en bicicleta o caminando según las 20 ciudades más importantes del país [1]. Estos datos indican que la mayoría de los habitantes no contaban con un automóvil para poder trasladarse ya sea urbana o interurbanamente.

De los 3,906 millones de pasajeros transportados en México en 2018, 96.9% fueron en autobús, 2.5% en avión y 0.6% en barco. De los 109 millones de toneladas de mercancías, 55,4% se transportaron por camión, 13,0% por tren, 0,1% por avión y 31,5% por barco [2].

En el caso de Puebla este ha sido uno de los estados que han presentado un mayor crecimiento en los últimos años. De acuerdo con el INEGI, Puebla cuenta con una población de 6,583,278 personas, así como también se encuentra entre los estados con mayor turismo, donde en el primer cuatrimestre de 2022 recibió 3,269,00 visitantes, lo cual represento un incremento del 189% con respecto al mismo periodo de 2021 [3].

El papel de los grandes proyectos de infraestructura urbana es cada vez más importante a escala global y en la región latinoamericana. Con la implementación de esquemas de gobernanza urbana, es fundamental conocer cómo la ciudadanía evalúa la actuación gubernamental en este tipo de inversiones.

De igual forma, este crecimiento poblacional ha traído como consecuencia un mayor tránsito en las carreteras del estado, ya que, por ejemplo en la ruta Puebla-Tehuacán que es una de las rutas más importantes, según datos obtenidos de la SCT entre los años de 2018-2020 el tránsito diario promedio anual se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Tránsito diario anual entre Puebla y Tehuacán. [4], [5], [6].

Año	Sentido Ida	Sentido Vuelta	TDPA total
2018	22,241	21,257	43,498
2019	23,438	22,411	45,849
2020	17,936	17,032	34,968

Estos datos representan el promedio diario anual de la cantidad de vehículos que transitaron sobre la carretera Puebla-Tehuacán.

Sin embargo, es aquí donde se presenta uno de los grandes problemas tanto para pobladores como para los turistas, ya que el moverse dentro del Estado representa un gran riesgo, esto debido a que la ciudad de Puebla es la cuarta ciudad con mayores índices de robo de vehículos y tan sólo la tercera en cuanto a asaltos en carretera, reportándose 181 denuncias de asaltos dentro del Estado en el primer trimestre de 2021 [7].

De igual manera, se denunciaron 2026 casos de robo de automóvil en la ciudad de Puebla en los meses de febrero marzo y abril de dicho año, así mismo, se sabe que la mayoría de los accidentes automovilísticos se dan en carreteras federales, y en el caso del estado de Puebla en 2021 se registraron un total de dos 723 coaliciones [8].

Es por todo esto, que es de vital importancia el poder contar con un transporte público interurbano de alta eficiencia que pueda transportar a las personas de un municipio a otro, ya que actualmente no existe en el estado de Puebla, siendo la única manera de trasportarse por medio de automóvil particular, autobús, motocicleta o bicicleta.

A nivel nacional, para mejorar la movilidad de los pasajeros con respecto al transporte ferroviario, las autoridades mexicanas planearon construir tres líneas ferroviarias interurbanas en 2012 a expensas del estado. En 2015, la vía férrea México-Toluca de 58 km, la vía férrea Transpeninsular de 336 km y la vía férrea de alta velocidad México-Querétaro de 209 km fueron canceladas luego de que se adjudicaran las licitaciones y las ofertas ganadoras. Dichos proyectos han sido retrasados, debido a diversos aspectos, principalmente el económico [9].

Una de las opciones más viables que se han implementado en otros países, la mayoría europeos, es el transporte a través de tren. El tipo de tren que se utiliza para trasladarse de una ciudad a otra es el tren denominado "interurbano" el cual es un tren que opera en servicios de media distancia, estos permiten ser un transporte más directo hacia el destino del pasajero, ya que cuenta con menos paradas que otros tipos de trenes, y por lo general, suelen salir de estaciones centrales de trenes y comparten su vía con otros trenes, además, cuentan con mayor número de asientos que otros trenes, porque suelen llevar más pasajeros [10].

El objetivo del presente trabajo es evaluar la factibilidad de la construcción de un tren interurbano dentro del estado de Puebla que conecte las ciudades de Puebla y Tehuacán.

Metodología

Elaboración y aplicación de encuesta

Se realizó a través de Google Forms una encuesta con diferentes preguntas, como: edad, sexo, ocupación, residencia actual, frecuencia en la que se realiza la ruta Puebla-Tehuacán, medio de trasporte utilizado, opinión sobre la seguridad de la carreteras y costos de transporte, esto se hizo con el fin de poder conocer la opinión de las diferentes personas sobre la construcción de un tren interurbano en el estado de Puebla.

Una vez diseñada la encuesta, se obtuvo el número a aplicar con respecto al tamaño de muestra poblacional mediante su fórmula (1), el cálculo se muestra en la Tabla 2.

$$n = \frac{Z^2\sigma^2 N}{e^2(N-1) + Z^2\sigma^2} \qquad (1)$$

Posteriormente, se aplicó dicha encuesta a personas en la estación de autobuses del estado "CAPU", así como en la estación "Paseo Destino", aquí se les fue preguntando a personas de forma aleatoria cada una de las preguntas antes descritas, de igual forma, era de suma importancia que dichas personas tomaran la ruta Puebla-Tehuacán, finalmente, se aplicó la encuesta en línea a estudiantes de la Universidad Iberoamericana Puebla.

Tabla 2: Tamaño de muestra. Elaboración propia.

n =	es el tamaño de la muestra poblacional a obtener.	375.69
Z =	es el valor obtenido mediante niveles de confianza. Su valor es una constante, por lo general se tienen dos valores dependiendo el grado de confianza que se desee siendo 99% el valor más alto (este valor equivale a 2.58) y 95% (1.96) el valor mínimo aceptado para considerar la investigación como confiable.	1.96
Sigma =	representa la desviación estándar de la población. En caso de desconocer este dato es común utilizar un valor constate que equivale a 0.5	0.5
N =	es el tamaño de la población total.	17,000
e =	representa el límite aceptable de error muestral, generalmente va del 1% (0.01) al 9% (0.09), siendo 5% (0.5) el valor estándar usado en las investigaciones.	0.05

Análisis de zonas y ruta del tren

Para poder hacer el análisis de relieve de las distintas zonas del estado de Puebla, se consultó la base de datos del INEGI para descargar la información requerida, asimismo, se descargaron las cartas topográficas de las estaciones posibles en la ruta, en la Figura 1 se puede ver el relieve obtenido. Se seleccionaron las capas relevantes para el proyecto como "Relieve" y "Carreteras", para después abrirlas en el programa de Google Earth y poder así trazar la ruta a seguir.

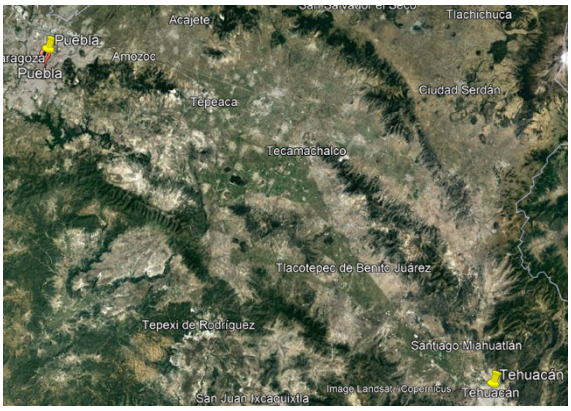

Fig. 1 Relieve Puebla-Tehuacán. Google Earth.

Una vez con los datos de relieve con la ayuda de Google Earth y el programa Global Mapper, se trazó la ruta evitando las diferencias altas de relieve y priorizando que la ruta llegara a pequeñas ciudades del estado, las cuales también presenten tráfico hacia la ciudad capital, una vez trazada la ruta se estableció que el tren en cuestión pararía en 4 ciudades: Puebla, Amozoc, Tepeaca y Tehuacán, dicha ruta evita construcciones y carreteras, además se calculó la distancia entre estaciones para así obtener la distancia total de la vía y poder calcular los costos.

Determinar materiales y procesos constructivos

Para poder determinar los materiales a utilizar para la construcción de la vía, primero se estableció el tren a utilizar, para esto se hizo una investigación de diferentes modelos de trenes que actualmente existen en el mercado, y se obtuvo la información mostrada en la tabla 3.

Una vez obtenida esta información se realizó una matriz de decisión, con el fin de definir el tren a utilizar, tomando en cuenta criterios de velocidad, capacidad y precio, los datos de dichos criterios se muestran en la tabla 4, y la matriz de decisión final se muestra en la tabla 5.

Tabla 3: Comparativa de trenes. Elaboración propia.

Tipo	Marca	Modelo	Velocidad (km/hr)	Capacidad (Pasajeros)	Vagones	Precio (millones €)
Alta Velocidad	Talgo	Talgo Avril	330	500 – 600	2 cabezas – 12 coches	26.21
Alta Velocidad	Talgo	Talgo 350	330	400	2 cabezas – 12 a 13 coches	21.65
Intercity	Talgo	Talgo 230	250	378	2 cabezas - 7 coches	5.5
Intercity	Talgo	Talgo XXI	220	400	2 cabezas – 8 a 12 coches	3.91
Alta Velocidad	Alstom	HS2	360	500	2 cabezas – 8 coches	36.48
Regional	Alstom	Xtrapolis Serie 113	220	780	2 cabezas - 4 coches	
Regional	Alstom	X'trapolis Tsíimin K'áak	176	300	2 cabezas – 4 a 7 coches	
Alta Velocidad	Siemens	Velaro Novo	320	600	2 cabezas – 4 a 8 coches	44.53
Alta Velocidad	Siemens	ICE 4	265	456	2 cabezas – 7 a 13 coches	
Regional	Siemens	Mireo	160	220	2 cabezas – 2 a 7 coches	5 – 10
Regional	Siemens	Desiro	180	290	2 cabezas – 4 a 8 coches	5.5
Alta Velocidad	CAF	Oaris	350	300	2 cabezas – 4 a 8 coches	
Alta Velocidad	CAF	AVR S/121 RENFE	250	281	2 cabezas – 4 a 8 coches	
Regional	CAF	Civity	200	300	2 cabezas – 2 a 8 coches	5
Regional	CAF	Toluca	160	711	2 cabezas - 5 coches	20
Alta Velocidad	Hitachi	AT400	360	400	2 cabezas – 5 a 12 coches	
Alta Velocidad	Hitachi	ETR1000 – Frecciarossa	360	460	2 cabezas - 8 coches	30.8
Regional	Hitachi	Class 800 Series (800-810)	225	350	2 cabezas – 5 a 12 coches	3 – 5
Regional	Hitachi	Class 395	225	350	2 cabezas - 6 coches	8.92

Tabla 4: Criterios de evaluación. Elaboración propia.

Alternativas	KM/HR	NO. PAS	MILL. EUR
Talgo Avril	330	550	26.21
Talgo 350	330	400	21.65
Talgo 230	250	378	5.5
Talgo XXI	220	400	3.91
HS2	360	500	36.48
Velaro Novo	320	600	44.53
Mireo	160	220	7.5
Desiro	180	290	5.5
Civity	200	300	5
Toluca	160	711	20
ETR1000 – Frecciarossa	360	460	30.8
Class 800 Series (800-810)	225	350	4
Class 395	225	350	8.92

Criterios
Velocidad (Km/hr)
Capacidad (No. De pasajeros)
Precio (Millones de EUR)

Tabla 5: Matriz de decisiones. Elaboración propia.

Criterios	Peso	Talgo Avril	Talgo 350	Talgo 230	Talgo XXI	Alstom HS2	Siemens elaro Nov	Siemens Mireo	Siemens Desiro	CAF Civity	CAF Toluca	Hitachi 00 – Frecci	Hitachi 0 Series (8	Hitachi Class 395
Velocidad (Km/hr)	10	9.16	9.16	6.94	6.11	10	8.88	4.44	5	5.55	4.44	10	6.25	6.25
Capacidad (No. De pasajeros)	8	7.73	5.62	5.31	5.62	7.03	8.43	3.09	4.07	4.21	10	6.46	4.92	4.92
Precio (Millones de EUR)	10	1.49	1.8	7.1	10	1.07	0.87	5.21	7.1	7.82	1.95	1.26	9.77	4.38

SUMA PONDERADA

Criterios	Peso	Talgo Avril	Talgo 350	Talgo 230	Talgo XXI	Alstom HS2	Siemens elaro Nov	Siemens Mireo	Siemens Desiro	CAF Civity	CAF Toluca	Hitachi 00 – Frecci	Hitachi 0 Series (8	Hitachi Class 395
Velocidad (Km/hr)	10	91.6	91.6	69.4	61.1	100	88.8	44.4	50	55.5	44.4	100	62.5	62.5
Capacidad (No. De pasajeros)	8	61.84	44.96	42.48	44.96	56.24	67.44	24.72	32.56	33.68	80	51.68	39.36	39.36
Precio (Millones de EUR)	10	14.9	18	71	100	10.7	8.7	52.1	71	78.2	19.5	12.6	97.7	43.8
	TOTAL	168.34	154.56	182.88	206.06	166.94	164.94	121.22	153.56	167.38	143.9	164.28	199.56	145.66

Finalmente, el tren seleccionado debería ser el Talgo XXI, esto gracias a sus resultados favorables obtenidos en la matriz de decisión. Una vez establecido el tren a utilizar, se pudieron determinar los materiales para la construcción de la vía, para esto se investigaron diversas propuestas de trenes suburbanos de manera internacional para poder determinar de manera adecuada los materiales o componentes. Tras la investigación se encontró una evaluación de la construcción de una vía férrea en Perú [11], la cual tenía similitudes con el proyecto que se busca establecer, y el cual estableció los siguientes elementos:

- Rieles de 115lbs/yarda (57 kilos por metro, perfil AREMA 115RE)
- Fijación elástica tipo Pandrol
- Uniones mediante eclisas (unidas con tirafondos)
- Durmientes de concreto tipo monoblock
- Balasto mínimo de 0.30 metros debajo del durmiente
- Cargas tren tipo estructura E-C 80 (E-Cooper 80)

Por último, en cuanto a los procesos constructivos, se realizó una investigación sobre cómo debe de llevarse a cabo la construcción adecuada de una vía férrea, dentro de la cual se encontró que el proceso debe ser el siguiente:

- Inspeccionar el terreno
- Extensión de una capa de sub-balasto
- Colocación de los elementos de la vía (colocar durmientes sobre balasto)
- Tendido de los rieles de rodamiento
- Fijar los rieles a los durmientes
- Colocación de capa de balasto superior

Determinar tiempos y costos

Para poder hacer el cálculo del tiempo que tendrá el tren a lo largo de toda la ruta, se investigó la aceleración y desaceleración que tendría este tren, y se encontró en un artículo de investigación que la desaceleración es de 0.3 m/s^2 y la aceleración de 0.4 m/s^2 [12]. Una vez con estas magnitudes y los datos de distancias entre las estaciones (los datos de distancias se explican en el apartado de resultados), se obtuvieron los tiempos totales de aceleración (desde el reposo hasta alcanzar una velocidad constante) y desaceleración (desde un movimiento constante hasta el reposo), a través de las fórmulas de "Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado" debido a que el tren se encontrará en su mayoría en trayectos rectos. Las fórmulas utilizadas fueron las siguientes:

$$t = \frac{V_f - V_o}{a} \qquad (2)$$

$$a = \frac{V_f - V_o}{t} \qquad (3)$$

$$x = V_o t + \frac{at^2}{2} \qquad (4)$$

$$t = \frac{d}{v} \qquad (5)$$

Una vez obtenidos los tiempos y distancias de aceleración y desaceleración, se calculó el tiempo y distancia en la que el tren se mantendría bajo una velocidad constante (el cual varía en cada una de las paradas, ya que, hay estaciones con más distancia entre sí que otras) además se tomaron valores estándar que el tren tendría en reposo o permanencia en cada estación. Con todos estos valores de tiempo se obtuvo el tiempo total del recorrido que haría el tren en cuestión.

En cuanto al cálculo de los costos del proyecto, estos se determinaron de acuerdo con los costos de materiales,

maquinaria, construcción de estaciones y costo del tren. Primero, referente a los materiales se investigaron los precios de los mismos (establecidos anteriormente), para poder obtener un precio por metro lineal, el cual permitió obtener un costo directo del material. Posteriormente, en cuanto a la maquinaria se analizaron los diferentes tipos de maquinaria pesada para la construcción de la vía, para esto se determinó el costo la utilización de cada una de estas, estos costos ya incluyen costo de mano de obra, diésel y mantenimiento.
Con las estaciones, primero se definieron las instalaciones necesarias para cada una de estas, y con esto se estableció que habría dos tipos de estaciones, las estaciones de Puebla y Tehuacán que estarán construidas sobre una extensión de 1,000 metros cuadrados, y el segundo tipo de estaciones, las cuales estarán en Amozoc y Tepeaca, construidas en una extensión de 200 metros cuadrados, de igual forma, para las estaciones se calcularon los costos de materiales, mano de obra, herramienta, equipo de seguridad y demás factores que intervienen en su construcción.
Por último, se investigó con la empresa proveedora del tren seleccionado (Talgo XXI), el costo total del mismo, y con todos estos datos de costos se pudo obtener el costo total del proyecto a desarrollar.

Resultados y Discusión

Los primeros resultados obtenidos en este proyecto fueron las gráficas arrojadas por Google Forms, después de la aplicación de la encuesta. Primero se obtuvieron gráficas acerca de la demografía de la población (referente a los que serían los "clientes" del tren en el futuro), después, cuestiones más particulares del trayecto exisistente y finalmente cuestiones referentes al proyecto a evaluar como: cantidad dispuesta a pagar por el uso del tren, y si utilizarían el tren o no.

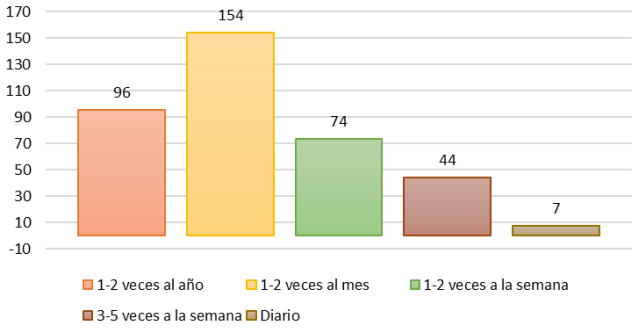

Fig. 2 Frecuencia con la que realiza la ruta. Elaboración propia.

Con la gráfica de la Figura 2 se puede decir que la mayoría de las personas entrevistadas (154), recorren la ruta Puebla-Tehuacán 1 o 2 veces al mes, después le corresponde 1 o 2 veces al año, seguido de 3 a 5 veces a la semana y finalmente con un menor porcentaje las personas que la recorren diario.

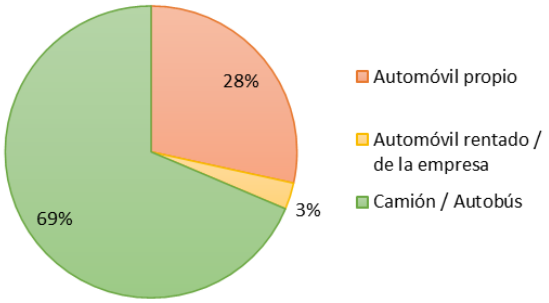

Fig. 3 Medio de transporte. Elaboración propia.

En cuanto al medio de transporte utilizado para recorrer dicha ruta, representado en la Figura 3, se puede ver que la mayoría de las personas entrevistadas con un 69%, recorren la ruta Puebla-Tehuacán en camión o autobús, seguido con 28% que utilizan automóvil propio y finalmente personas que realizan la ruta con automóvil rentado o de la empresa en la que laboran, este último porcentaje es menor que los demás debido a que la mayoría de las personas encuestadas eran estudiantes.

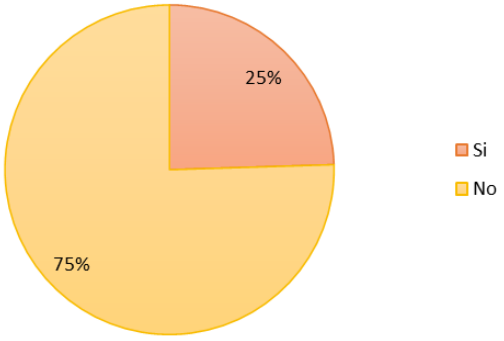

Fig. 4 Opinión sobre seguridad de carreteras. Elaboración propia.

Con la gráfica de la Figura 4 se puede decir que la mayoría de las personas entrevistadas (154), recorren la ruta Puebla-Tehuacán 1 o 2 veces al mes, después le corresponde 1 o 2 veces al año, seguido de 3 a 5 veces a la semana y finalmente con un menor porcentaje las personas que la recorren diario.

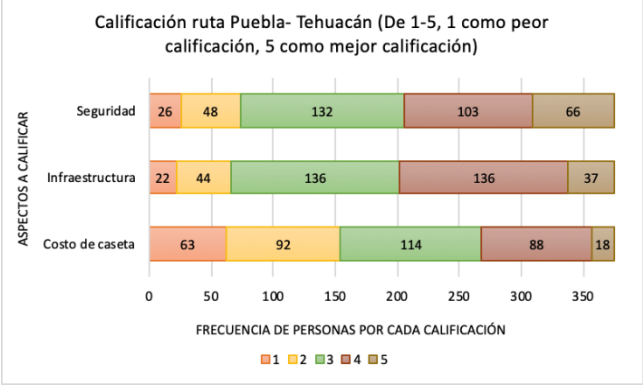

Fig. 5 Calificación ruta Puebla-Tehuacán (en seguridad, infraestructura y costo de caseta/ticket). Elaboración propia.

En la gráfica de la Figura 5, se pueden ver las calificaciones que le dio la gente a los diferentes aspectos a valorar sobre la carretera Puebla-Tehuacán, del 1-5 (considerando el 5 como máximo valor). Los resultados muestran que existe cierta relación de comportamiento y opinión entre los tres rubros seleccionados, donde se puede ver que la calificación más repetida es el 3.

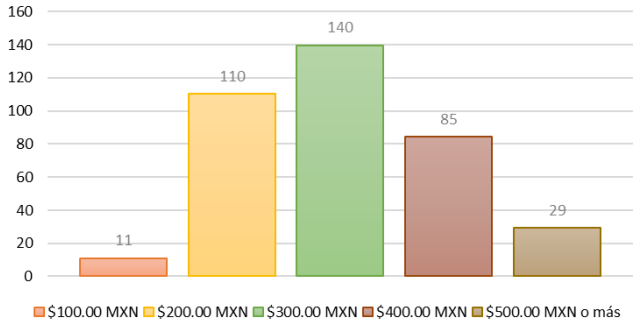

Fig. 6 Costo promedio de la ruta. Elaboración propia.

En el ámbito económico, los resultados de la encuesta mostrada en la Figura 6, nos muestran las respuestas de la gente al ser preguntadas cual era el costo promedio de la ruta antes mencionada, donde la mayoría de las personas contestaron que se gastan alrededor de $300 MXN para realizar la ruta.

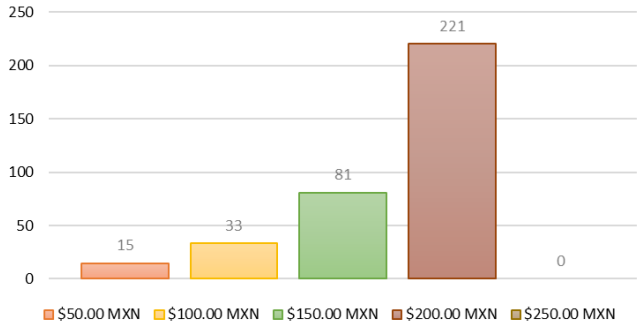

Fig. 7 Cantidad dispuesta a pagar por el tren. Elaboración propia.

De igual forma, se les preguntó cuanto estarían dispuestos a pagar por tomar un tren interurbano entre Puebla y Tehuacán, los resultados se muestran en la Figura 7, donde se puede ver que la mayoría estaría dispuesta a pagar en promedio $200 MXN por tomar el tren.

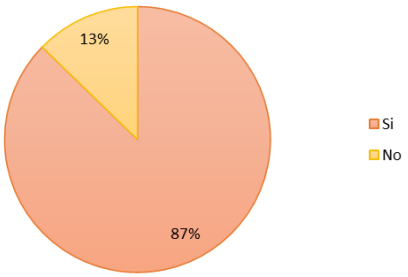

Fig. 8 Disposición a utilizar el tren. Elaboración propia.

Al final de la encuesta se le preguntó a la gente si estaría dispuesta a utilizar el tren en vez del medio de transporte que utilizan actualmente para recorrer la ruta, a partir de esto, como se muestra en la Figura 8, obtuvimos que el 87% de las personas encuestadas estarían dispuestas a cambiar su medio de transporte para usar el tren y solo el 13% prefiere quedarse con su transporte actual.

Otro resultado arrojado con el proyecto, fue la ruta trazada con la ayuda de Google Earth y el programa Global Mapper, la cual esta representada en la Figura 9. A partir de estos se obtuvo la ruta final que tomará el tren, asimismo, el análisis realizado de los relieves.

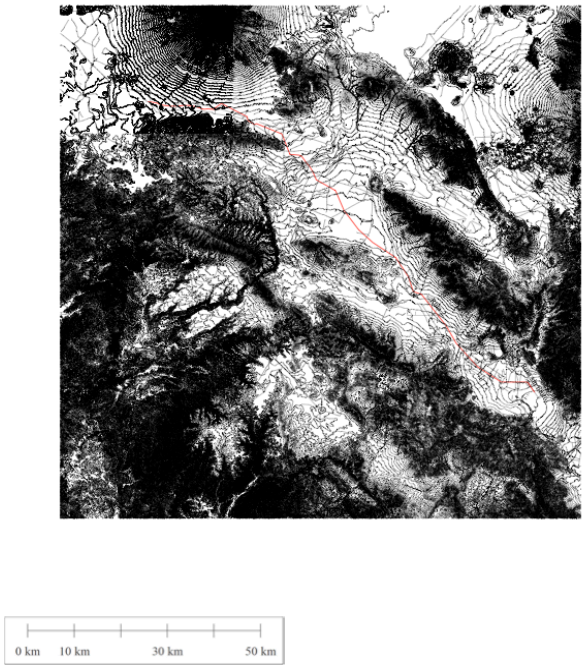

Fig. 9 Ruta trazada. Elaboración propia en Google Earth.

En el análisis del relieve, se presentan los resultados cada 10,000 metros, de igual forma, ningún tramo rebasa el 1.5% de pendiente, el cual es el máximo estipulado en las especificaciones técnicas de la construcción de vías férreas de Ferromex [13], los porcentajes de pendiente por tramo se muestran en la tabla 6, de igual forma, la altitud máxima que presenta la ruta es de 2,325 metros y la mínima de 1,675 metros. Estas pendientes no representan ningún problema en la construcción de la vía férrea con respecto al terreno en el que dispondrá, por lo que la construcción es factible.
A partir de esta ruta, con ayuda de Google de Earth, se obtuvieron los siguientes datos de distancias entre cada una de las estaciones en las que parará el tren.

- Puebla-Amozoc: 12,916.82 metros o 12.9 km
- Amozoc-Tepeaca: 20,377.15 metros o 20.4 km
- Tepeaca-Tehuacán: 76,814.43 metros o 76.8 km

Con estas distancias se calculó la distancia total de la ruta, siendo de 110,108.445 metros o 110.1 km.

Tabla 6: Porcentaje de pendiente de ruta. Elaboración propia.

Tramo	Punto 1	Punto 2	Altitud	% Pendiente
A	0	0	2175	-
A-B	0	10000	2325	1.5%
B-C	10000	20000	2300	-0.3%
C-D	20000	30000	2250	-0.5%
D-E	30000	40000	2100	-1.5%
E-F	40000	50000	1975	-1.3%
F-G	50000	60000	1975	0.0%
G-H	60000	70000	2000	0.3%
H-I	70000	80000	1950	-0.5%
I-J	80000	90000	1850	-1.0%
J-K	90000	100000	1725	-1.3%
K-L	100000	110000	1675	-0.5%

Una vez calculados los datos de distancia, se obtuvieron los datos de tiempos entre estaciones y tiempo total de la ruta, para esto se utilizaron las formulas (2), (3) y (4), mencionadas anteriormente, para el cálculo del tiempo y distancia de aceleración (desde reposo hasta alcanzar la velocidad máxima) y el tiempo y distancia de desaceleración, se tomó en cuenta la velocidad del tren (Talgo XXI), la cual es de 220 km/h, la cual transformada a m/s es de 61.11 m/s, y para la aceleración y desaceleración se tomaron los datos antes mencionados de desaceleración de 0.3 m/s^2 y la aceleración de 0.4 m/s^2. Los datos de aceleración se observan en la figura 10, y el cálculo del tiempo y la distancia de acelaración se observan en las fórmulas (6) y (7); para el caso de la desaceleración sus datos se muestran en la figura 11, y el cálculo de su tiempo y distancia se muestran en las fórmulas (8) y (9).

Tiempo aceleración		
Datos		
Tren	Talgo XXI	
Vinicial	0 km/hr	0 m/s
Vfinal	220 km/hr	61.11 m/s
Aceleración		.4 m/s²

Fig. 10 Tiempo y distancia aceleración. Elaboración propia.

$$t_1 = \frac{61.11\,\frac{m}{s} - 0\,\frac{m}{s}}{0.4\,\frac{m}{s^2}} = 152.77\,s. \qquad (6)$$

$$x_1 = 0\frac{m}{s^2}(152.77\,s) + \frac{0.4\,\frac{m}{s^2}(152.77\,s)^2}{2} = 4{,}668\,m. \qquad (7)$$

Tiempo desaceleración		
Datos		
Tren	Talgo XXI	
Vinicial	220 km/hr	61.11 m/s
Vfinal	0 km/hr	0 m/s
Aceleración		-.3 m/s²

Fig. 11 Tiempo y distancia desaceleración. Elaboración propia.

$$t_2 = \frac{0\,\frac{m}{s} - 61.11\,\frac{m}{s}}{-0.3\,\frac{m}{s^2}} = 203.7\,s. \qquad (8)$$

$$x_2 = 61.11\frac{m}{s^2}(203.7\,s) + \frac{-0.3\,\frac{m}{s^2}(203.7\,s)^2}{2} = 6{,}224\,m. \qquad (9)$$

Los resultados arrojan que el tren toma alrededor de 152.77 segundos para la aceleración, y en dicho tiempo necesita 4,668 metros, en cuanto a la desaceleración o frenado, el tren necesita 203.7 segundos y 6,224 metros para poder realizar esta acción. Con estos valores se obtuvieron los datos de distancia, la cual se calculó sacando la resta de la distancia total menos la distancia de aceleración y desaceleración, y tiempo en el que iría el tren a velocidad constante, para la cual se utilizó la fórmula (5), con esto se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7: Tiempos y distancias totales. Elaboración propia.

Trayecto		Recorrido								
		Distancia (Metros)				Tiempos (Seg)				Tiempo (Min)
Inicio	Final	Aceleración	Vel. constante	Desaceleración	Total	Aceleración	Vel. constante	Desaceleración	Total	
Puebla	Amozoc	4,668.00	2,024.82	6,224.00	12,916.82	152.77	33.13	203.70	389.60	6.49
Amozoc	Tepeaca	4,668.00	9,485.15	6,224.00	20,377.15	152.77	155.21	203.70	511.68	8.53
Tepeaca	Tehuacán	4,668.00	65,922.43	6,224.00	76,814.43	152.77	1,078.75	203.70	1,435.22	23.92
										38.94

Además, se tomaron datos de tiempos estándar para el tiempo que estará el tren en cada estación, y con esto se calculó el tiempo total de la ruta desde Puebla hasta Tehuacán, los cuales se muestran en las Talas 8 y 9.

Tabla 8: Tiempos de permanencia. Elaboración propia.

Permanencia entre estaciones	
Estación	Tiempo (Min)
Amozoc	5
Tepeaca	5
Tehuacán	10
	20

Tabla 9: Tiempo total de recorrido. Elaboración propia.

Tiempo Total	
Recorrido	38.94
Permanencia	20
	58.94

Por último se obtuvieron los resultados de costos de materiales, maquinaria y estaciones, con los materiales tras la investigación realizada con cada uno de los elementos para la construcción de la vía se realizó la Tabla 10, en la cual se muestra de manera desglosada cada uno de los costos.

Tabla 10: Costo de materiales por metro lineal. Elaboración propia.

Cálculo de materiales por metro lineal de vía férrea:			
	Precio por unidad de medida:	**Material necesario por ml:**	**Precio final por material para metro lineal:**
Perfil de carril 115 RE. (57 kg/ml)	$346.00	2	$692.00
Clip Elástico SKL (pza)	$19.72	4	$78.88
Tuerca y Tornillo para Eclisas (pza)	$51.5	4	$206.00
Eclisas para Rieles Estándar Arema 115 RE (pza)	$78.00	4	$312.00
Durmientes de Concreto Pretensado tipo Monoblock (pza)	$1,750.00	2	$1,750.00
Balasto (m3)	$565.00	0.45	$254.25
Precio Total por Metro Lineal:			$3,293.13

Tabla 11: Costo de maquinaria. Elaboración propia.

Cálculo de costo de maquinaria para colocación de vía férrea:					
	Precio de renta por jornada laboral:	**Rendimiento por jornada por unidad de medida:**	**Cantidad necesaria por unidad de medida:**	**Jornadas necesarias:**	**Precio final por maquinaria:**
Extendedora de balasto (ton):	$17,000.00	4800	66,065.00	14	$238,000.00
Motoniveladora (ml):	$2,400.00	1225	110,108.45	89	$213,600.00
Tren Carrilero (ml):	$36,000.00	10,500	110,108.45	11	$396,000.00
Posicionador de carriles (ml):	$3,500.00	6,240	110,108.45	18	$63,000.00
Tolvas de balasto (Considerando 12 tolvas por día) (ton):	$198,000.00	654	66,065.00	101	$19,998,000.00
Bateadora / Niveladora / Alineadora (Considerando 8) (m2):	$4,400.00	720	220,216.9	285	$1,254,000.00
Perfiladoras de balasto (ml):	$25,600.00	950	110,108.45	116	$2,969,600.00
Costo Total de Maquinaria:					$25,132,200.00

De igual forma, en la Tabla 11 se muestran todos los costos investigados sobre la maquinaria necesaria para la construcción de la vía en cuestión. En cuanto al costo de construcción de las estaciones, se tomaron en cuenta los materiales, mano de obra, herramientas, terreno, equipo de seguridad, y equipo a instalar, dando como resultado:

- Costo estación Puebla: $8,286,194.38
- Costo estación Amozoc: $658,900.32
- Costo estación Tepeaca: $641,900.32
- Costo estación Tehuacán: $3,102,861.05

Por último, se realizó una tabla resumen en la que se muestran los distintos costos del proyecto y el costo total, en el cual se puede ver que se necesitaría una inversión inicial de $479,918,206 MXN para poder realizar de la manera planeada el proyecto de construcción.

Tabla 12: Costo total del proyecto. Elaboración propia.

Suma de Costos (Moneda Nacional):	
	Precio Total:
Materiales para la construccion de Vía Férrea:	$362,601,439.
Maquinaria necesaria para la colocación:	$25,132,200.00
Precio total de las estaciones:	$12,689,856.00
Costo del Tren:	$78,794,711.00
Precio Total:	$479,918,206.00

Conclusiones, perspectivas y recomendaciones

En conclusión, se logró adquirir la información necesaria para poder determinar la factibilidad de la construcción de un tren interurbano que conecte a las ciudades de Puebla y Tehuacán. La factibilidad de la construcción de este mismo tren incluye varios factores, como lo son las condiciones naturales del terreno, sus relieves o tipos de suelo, el precio de la elaboración del proyecto con todo lo que esto conlleva, los tiempos de trayecto, distancias y la percepción de los usuarios respecto a la implementación de este tren. Después de recolectar toda la información pertinente, se puede establecer que la implementación de una ruta de tren interurbano para facilitar el transporte de pasajeros entre Puebla y Tehuacán sí es factible, considerando que no tiene un grado de dificultad de construcción en cuanto a los procesos constructivos, así como un presupuesto de proyecto relativamente costeable en comparación de obras públicas que se suelen llevar a cabo durante los sexenios, esto sin mencionar el buen recibimiento de la población encuestada sobre el tema.

De igual forma, se pudo observar que la distancia y el tiempo entre ambas ciudades sería menor a que si se decidiera tomar la ruta por carretera, ya que, por carretera es una distancia aproximada de 132.6 km con una duración media de 2 horas con 8 minutos, y con el tren sería una distancia de 110.1 km con un tiempo total de recorrido de 58.94 minutos, asimismo, se debe de considerar que el trayecto sería aún más seguro en tren que en carretera, debido a los altos índices de asalto y de coaliciones que hay en dicha ruta. Además, con el uso de este tipo de transporte, se evitaría un total de 782.18 de tonteladas de CO_2 emitidas por los coches durante todo el trayecto.

Referencias

1. IMCO (2020). Barrios mejor conectados para ciudades incluyentes. IMCO. Recuperado de: https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2019/01/Índice-de-Movilidad-Urbana_Documento.pdf
2. Secretaria de Comunicaciones y Transportes, (2019). Estadística mensual de diciembre de 2018, México.
3. INEGI (2020). Información por entidad: Puebla. INEGI. Recuperado el 25 de agosto de 2022, de https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/pue/
4. DATOS VIALES SCT PUEBLA (2018). POR LA SECRETERÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. Recuperado el 30 de agosto de 2022, de https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Datos-Viales-2019/21_PUE.pdf
5. DATOS VIALES SCT PUEBLA (2019). POR LA SECRETERÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. Recuperado el 30 de agosto de 2022, de https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Datos-Viales-2020/21_PUE_DV2020.pdf
6. DATOS VIALES SCT PUEBLA (2020). POR LA SECRETERÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. Recuperado el 30 de agosto de 2022, de https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Datos_Viales_2021/21_PUE_DV2021.pdf
7. Méndez. P. (2021). Es Puebla tercera en el país con más asaltos en carretera y cuarta con más robos de vehículos. La Jornada. Recuperado el 31 de agosto de 2022, de https://www.lajornadadeoriente.com.mx/puebla/es-puebla-tercera-en-el-pais-con-mas-asaltos-en-carretera-y-cuarta-con-mas-robos-de-vehiculos/
8. Secretaria de Comunicaciones y Transportes, (2019). Estadística mensual de diciembre de 2018, México.
9. Chiu, L. R., & Argüelles, V. J. Construcción del tren México-Toluca: evaluación técnica y financiera.
10. Figueroa, F. (2022). Los trenes suburbanos y regionales como principales actores en el transporte público. Mundo Ferroviario. Recuperado el 31 de agosto de 2022, de https://mundoferroviario.lat/2022/02/24/los-trenes-suburbanos-y-regionales-como-principales-actores-en-el-transporte-publico/
11. Rivera, F. A. (2019). Evaluación y análisis de la vía férrea de evitamiento en la ciudad de Arequipa.
12. Gómez C. J. (2013). Análisis cinemático del tiempo empleado por los trenes a su paso por limitaciones de velocidad. Vía Libre Técnica Investigación Ferroviaria: https://www.tecnica-vialibre.es/documentos/articulos/GCasta%C3%B1o.pdf
13. Ferromex. (2015). Especificaciones Técnicas para la Construcción y Ampliación de Vías Particulares. Ferromex. Recuperado de: https://www.ferromex.com.mx/pdf/vp_EspecificacionesTecnicas.pdf