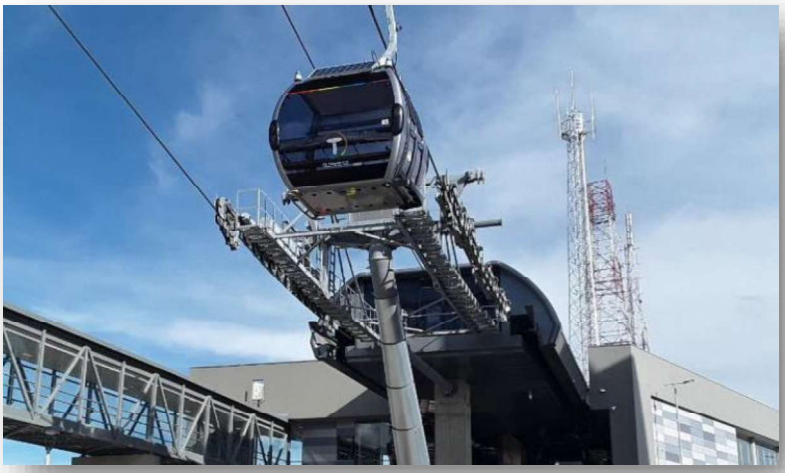


Análisis Costo Beneficio

Construcción e implementación del sistema de transporte por cable en la ciudad de Puebla de Zaragoza

HOJA EN BLANCO

CONTENIDO

1 RESUMEN EJECUTIVO 11

2 SITUACIÓN ACTUAL DEL PPI 17

2.1 Contexto urbano, social y económico 17
2.1.1 Grado de marginación urbana 18

2.2 Diagnóstico de la situación actual 26
2.2.1 Identificación cuenca de análisis 26
2.2.2 Diagnóstico de la interacción y problemática 28
2.2.3 Análisis de preferencias declaradas y estimación del valor del tiempo y disposicion a pago 51

2.3 Interacción de la oferta y la demanda 55
2.3.1 Costos de operación vehicular 57
2.3.2 Costos generalizados de viaje 57

2.4 Marco lógico de la problemática de movilidad en Puebla ..... ¡Error! Marcador no definido.

3 SITUACIÓN SIN EL PPI 58

3.1 Optimizaciones 58

3.2 Análisis de la oferta 59
3.2.1 Frecuencia de despacho 59
3.2.2 Operación del servicio 59

3.3 Análisis de la demanda 60

3.4 Interacción de la oferta y la demanda 61
3.4.1 Tiempos de viaje 61
3.4.2 Costos de operación vehicular 62
3.4.3 Costos generalizados de viaje 62
3.4.4 Conclusiones sobre análisis de optimizaciones 63

3.5 Alternativas 63
3.5.1 Descripción de las alternativas tecnológicas 63
3.5.2 Capacidad 63
3.5.3 Requerimientos de infraestructura de inserción 65
3.5.4 Características físicas de sitio y de servicio 66
3.5.5 Análisis de alternativas 68
3.5.6 Alternativas de trazo para una linea de teleférico 69
3.5.7 CAPEX 72
3.5.8 Cuadro comparativo de las alternativas de trazo evaluadas. 73

4 SITUACIÓN CON EL PPI 75

4.1 Descripción del proyecto 75
4.1.1 Características del sistema: 78
4.1.2 Estaciones 78
4.1.3 Estructuras metálicas (torres) 79
4.1.4 Cable 80
4.1.5 Cableado eléctrico 80

4.2 Frecuencia de los servicios o intervalos entre los mismos 80

4.3 Factor de comodidad de los vehículos 80

4.4 Alineación estratégica 81
4.4.1 Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos 81
4.4.2 Ley general de asentamientos humanos, ordenamiento territorial y desarrollo urbano 81
4.4.3 Plan Nacional de Desarrollo (2025 2030) 81
4.4.4 Estrategia Nacional de Movilidad y Seguridad Vial (2023-2043) 82
4.4.5 Plan Estatal de Desarrollo de Puebla (2024 – 2030) 82
4.4.6 Plan Municipal de Desarrollo (2024-2027) 82

4.5 Localización geográfica 83

4.6 Monto total de inversión 84

4.7 Calendario de actividades 85

4.8 Fuentes de financiamiento 86

4.9 Capacidad instalada 87

4.10 Metas anuales 87

4.11 Vida útil 87

4.12 Descripción de los aspectos más relevantes 87
4.12.1 Factibilidad de mercado 87
4.12.2 Factibilidad técnica 88

4.13 Estudio ambiental ..... ¡Error! Marcador no definido.

4.14 Factibilidad de derecho de vía y afectaciones 101

4.15 Análisis de oferta 103
4.15.1 Operación del servicio ..... **¡Error! Marcador no definido.**

4.16 Análisis de demanda 104

4.17 Interacción de la oferta y la demanda 106
4.17.1 Tiempos de viaje 106
4.17.2 Costos de operación vehicular 108
4.17.3 Costos generalizados de viaje 109

5 EVALUACIÓN DEL PPI 111

5.1 Identificación, cuantificación y valoración de los costos. 111
5.1.1 Costos de inversión inicial 112
5.1.2 Costos de operación y mantenimiento 112
5.1.3 Costos por molestias....116

5.2 Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios. 117
5.2.1 Ahorros en Tiempo de Viaje (TV) 118
5.2.2 Ahorros en Costos de Operación Vehicular (COV). 119
5.2.3 Beneficios por ahorro en costo generalizado de viaje. 128
5.2.4 Beneficios por disminución de gases de efecto invernadero 129
5.2.5 Beneficios por valor de rescate....132
5.2.6 Beneficios intangibles 132

5.3 Cálculo de los indicadores de rentabilidad....135
5.3.1 Valor Presente Neto (VPN). 135
5.3.2 Tasa Interna de Retorno (TIR). 135
5.3.3 Tasa de Rendimiento Inmediato (TRI). 136
5.3.4 Resultados. 137

5.4 Análisis de sensibilidad. 139
5.4.1 Análisis de sensibilidad a costos 140
5.4.2 Análisis de sensibilidad a los beneficios 142

5.5 Riesgos 146

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.... 149

7 ANEXOS.... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

8 BIBLIOGRAFÍA 150

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Trazo del Proyecto 13
Figura 2-1. Población en la zona de estudio 18
Figura 2-2. Grado de marginación urbana por colonia en la zona de estudio 19
Figura 2-3 PIB del Estado de Puebla 20
Figura 2-4 PEA por municipio 21
Figura 2-5 Población ocupada por municipio 22
Figura 2-6 Inversión Extranjera Directa en México 23
Tabla 2-7 Vehículos motorizados registrados en 2022 24
Figura 2-8 Vehículos privados registrados 2022 24
Figura 2-9 Vehículos transporte público por municipio 25
Figura 2-10 Distribución de vehículos de motros registrados 2022 25
Figura 2-11. Red de estudio 29
Figura 2-12. Clasificación vial 30
Figura 2-13. Tipos de pavimento 31
Figura 2-14. Número de sentidos de circulación 32
Figura 2-15. Número de carriles por sentido de circulación 33
Figura 2-16. Sección 1 Prol. De la Reforma 34
Figura 2-17. Sección 2 Mártires del 2 de octubre 35
Figura 2-18. Sección 3 Distribuidor Vial Puebla 36
Figura 2-19. Sección 4 Diag. Defensores de la República 36
Figura 2-20. Sección 5 Cto Juan Pablo II 37
Figura 2-21. Sección 6 Carr. Federal Puebla-Tehuacán 38
Figura 2-22. Sección 7 Calle 11 Nte. 38
Figura 2-23 Sección 8 Blvrd Atlixco 39
Figura 2-24 Sección 9 Blvrd. Héroes del 5 de mayo 39
Figura 2-25 Sección 10 Autopista México – Puebla 40
Figura 2-26. Cobertura actual de rutas con influencia directa en la zona de estudio 41
Figura 2-27. Perfil de distribución de los despachos en las rutas de influencia 42
Figura 2-28. Perfil de distribución de los despachos en las rutas de influencia 42
Figura 2-29. Tipología vehicular identificada en las rutas de influencia 43
Figura 2-30. Demanda puntual de pasajeros por estación de FOV **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 2-31 Perfil de demanda de pasajeros ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 2-32. Concentración de puntos de ascenso y descenso en el periodo pico am ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 2-33. Demanda ascensos- descensos ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 2-34. Principales líneas de deseo en periodo pico am 06:00-08:00 (Encuesta OD) 44
Figura 2-35. Principales líneas de deseo en periodo pico am 06:00-08:00 (Big Data) 45
Figura 2-36. Género del usuario de transporte público 46
Figura 2-37. Rango de ingreso del usuario de transporte público ($) 47
Figura 2-38. Ocupación o actividad del encuestado de transporte público 47
Figura 2-39. Motivo de viaje en transporte público 48
Figura 2-40. Frecuencia del viaje en transporte público 49
Figura 2-41 Tiempo total de viaje en transporte público 49
Figura 2-42. Gasto en pasaje al día en transporte público 50
Figura 2-43. Tipo de acoso experimentado en el transporte público 51
Figura 2-44 Metodología de estimación de modelos de elección discreta. 52
Figura 2-45 árbol de problemas ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 3-1 Capacidad de tecnologías. 64
Figura 3-2 Ejemplos de Tecnologías de transporte 65
Figura 3-3 Metrocable de Medellín, Colombia. 68
Figura 3-4 Trazo alternativa 1 70
Figura 3-5 Trazo alternativa 2 71
Figura 3-6. Presentación del trazo seleccionado. 74
Figura 4-1 Trazo teleférico 75
Figura 4-2. Trazo del Proyecto de Teleférico en Puebla 84
Figura 4-3. Sistema Teleférico completo 88
Figura 4-4 Cubierta de estaciones electromecánicas, imágenes referenciales línea 3 (izquierda) y línea 2 de Cablebús de la Ciudad de México (derecha). 89
Figura 4-5 Torres de un sistema teleférico urbano, Cablebús línea 3 (izquierda), Cablebús Línea 2 (derecha) 91
Figura 4-6 Diagrama interno de cable portador-tractor 92
Figura 4-7 Tipos de cabinas para sistemas de transporte por cable urbanos, con ventanas panorámicas, imágenes referenciales Cabina del Cablebús Línea 3 (izquierda), cabina del Cablebús Línea 2 (derecha). 95
Figura 4-8 Pinza desembragable 96
Figura 5-1. Evolución de los costos de operación y mantenimiento. 116

Figura 5-2. Características de las vías. 123
Figura 5-3. Parámetros de costos unitarios vagonetas 124
Figura 5-4. Parámetros para estimación de costos de autobuses 124
Figura 5-5. Parámetros de costos unitarios de vagoneta 125
Figura 5-6. Parámetros de utilización de los autobuses 126
Figura 5-7 Sensibilidad a la inversión 141
Figura 5-8 Análisis de sensibilidad a los costos de operación y mantenimiento 142
Figura 5-9 Análisis de sensibilidad a los ahorros en tiempo de viaje 143
Figura 5-10 Análisis de sensibilidad a COV 144
Figura 5-11 Análisis de sensibilidad a los Costos Generalizados de Viaje 145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Ubicación 13
Tabla 1-2 Monto de inversión del proyecto 14
Tabla 2-1. Población de los municipios de la zona de influencia directa 17
Tabla 2-2. Porcentaje de grado de marginación por municipio de influencia 19
Tabla 2-3. PIB sectorial por municipio 20
Tabla 2-4. Inversión Extranjera Directa en México 23
Tabla 2-5. Demanda puntual de pasajeros por estación de FOV . **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 2-6. Valores del tiempo sin segmentación 54
Tabla 2-7. Valores del tiempo para el segmento de viajes cortos por motivo 54
Tabla 2-8. Valores del tiempo para el segmento de viajes largos por motivo de viaje 54
Tabla 2-9. Tiempos promedio de viajes situación actual 55
Tabla 2-10. Cálculo de factores 56
Tabla 2-11. Factores de expansión para la demanda 56
Tabla 2-12. Valoración del tiempo en la situación actual. 56
Tabla 2-13. Factores de expansión para la estimación de los costos de operación vehicular. 57
Tabla 2-14. Resumen de los costos de operación vehicular, situación actual. 57
Tabla 2-15. Estimación para el 2025 situación actual de (CVG). 57
Tabla 3-1. Indicadores de operación y desempeño al día de las rutas en situación optimizada 59
Tabla 3-2 Demanda por periodo 59
Tabla 3-3 Factores de expansión 59
Tabla 3-4 km anuales Situación optimizada 60
Tabla 3-5 Resumen de velocidad promedio del sistema, situación sin proyecto 60
Tabla 3-6 Datos operativos situación sin proyecto en días de entre semana 60
Tabla 3-7 Demanda Situación Optimizada 60
Tabla 3-8 Tiempo promedio de viaje en el sistema optimizado por día y horario 61
Tabla 3-9 Comparación Tiempos de Viaje Situación Optimizada vs Situación Actual 61
Tabla 3-10 Tiempo de viaje promedio situación sin proyecto 61
Tabla 3-11 Resumen tiempos de viaje situación actual año base 62
Tabla 3-12 Resumen tiempos de viaje situación optimizada año base 62
Tabla 3-13 Resumen de los costos de operación vehicular, situación optimizada 62
Tabla 3-14 Estimación de beneficios por ahorro en CGV de las optimizaciones, año base 62
Tabla 3-15 Rangos de capacidad 64

Tabla 3-16 Pendiente por modo de transporte 66
Tabla 3-17 Ventajas y desventajas del Autobús Convencional vs Articulado. 67
Tabla 3-18 Ventajas y desventajas de las alternativas seleccionadas 69
Tabla 3-19 Descripción de Líneas y Alternativas 72
Tabla 3-20. Desglose de CAPEX Alternativa 1 por componentes y subcomponentes 72
Tabla 3-21 Desglose de CAPEX Alternativa 2 por componentes y subcomponentes 73
Tabla 3-22. Comparación de indicadores de las alternativas evaluadas. 73
Tabla 4-1. Tipo de Proyecto. 75
Tabla 4-2 Datos operativos del Proyecto Teleférico 76
Tabla 4-3 Componentes del proyecto Teleférico 77
Tabla 4-4 Coordenadas Geográficas 83
Tabla 4-5 Monto total de inversión 84
Tabla 4-6 Calendario de actividades 85
Tabla 4-7 Fuentes de financiamiento por año y por concepto general de obra (montos con IVA) 86
Tabla 4-8 Estimación de costos en materia ambiental para el desarrollo del Proyecto. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 4-9 Tiempo de recorrido situación con proyecto 103
Tabla 4-10 Tiempos y kilometros recorridos en situación con proyecto en HMD AM, días de entre semana 103
Tabla 4-11 Resumen de kilómetros recorridos globales 103
Tabla 4-12 Resumen de mejora en velocidad 104
Tabla 4-13 Sesibilidad a la demanda ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 4-15. Demanda del proyecto teleférico, año base 2025. 105
Tabla 4-16 Demanda, situación con proyecto sistema remante, año base 2025. 105
Tabla 4-17 Distribución de demanda, situación con proyecto sistema completo, año base 2025. 106
Tabla 4-18. Tiempos de viaje, situación con proyecto, año base 2025. 106
Tabla 4-19. Tiempo de viaje anual esperado en la situación con proyecto. 107
Tabla 4-20. Costos de operación vehicular al día esperados entre la situación con proyecto. 108
Tabla 4-21. Comparación de los costos anuales de operación vehicular esperados entre la situación optimizada y la situación con proyecto. 108
Tabla 4-22. Costos generalizados de viaje, situación con proyecto, año base 2025. 109
Tabla 4-23. Costos generalizados de viaje esperados en la situación con proyecto 109

Tabla 5-1. Monto de inversión según conceptos generales de obra del Teleférico de Puebla (pesos de 2025). 112
Tabla 5-2. Monto de costo anual asociado a personal del Teleférico de Puebla (pesos de 2025). 113
Tabla 5-3. Personal para atención del Teleférico de Puebla (pesos de 2025). 113
Tabla 5-4. Monto de costo anual asociado a mantenimiento del Teleférico de Puebla (pesos de 2025)..... 113
Tabla 5-5. Costos anuales asociados con la prestación del servicio del sistema tipo teleférico (pesos de 2025). 114
Tabla 5-6. Costos anuales asociados a las refacciones del sistema tipo teleférico (pesos de 2025). 115
Tabla 5-7 Costos por molestía en TV del transporte público (pesos 2025 sin IVA) 117
Tabla 5-8 Valor del tiempo 118
Tabla 5-9 Beneficios por ahorro en tiempo de viaje..... 119
Tabla 5-10. Parámetros utilizados en el modelo HDM-VOC. 120
Tabla 5-11. Características de las vías. 122
Tabla 5-12. Estimación del precio social del diésel. 122
Tabla 5-13. Factores de expansión para la estimación de los COV. 127
Tabla 5-14. Kilómetros recorridos por situación. 127
Tabla 5-15. Estimación de beneficios por ahorros en COV (pesos 2025 sin IVA). 128
Tabla 5-16. Beneficios totales por ahorro en CGV (TV y COV) (pesos de 2025). 129
Tabla 5-17. Consumo de combustible por kilómetro..... 130
Tabla 5-18 Poder calorífico y factor de emisión por tipo de combustible 130
Tabla 5-19. Valoración de beneficios anuales por mitigación de GEI. 131
Tabla 5-20. Valor de rescate 132
Tabla 5-21. Flujos de efectivo (millones de pesos sin IVA)..... 137
Tabla 5-22. Valores actuales acumulados (pesos sin IVA). 139
Tabla 5-23. Indicadores de rentabilidad social. 139
Tabla 5-24 Tabla de sensibilidad..... 140
Tabla 5-25 Análisis de sensibilidad a la inversión 140
Tabla 5-26 Análisis de sensibilidad a los costos de operación y mantenimiento 141
Tabla 5-27 Análisis de sensibilidad al ahorro en tiempo de viaje..... 142
Tabla 5-28 Análisis de sensibilidad a los costos de operación vehicular 143
Tabla 5-29 Análisis de sensibilidad a los Costos Generalizados de Viaje 144
Tabla 5-30 Relación de riesgos..... 146

TABLA DE ABREVIACIONES

Abreviatura	Correspondencia
AA	Aforo automático
ASDES	Ascenso y descenso
AU	Automóviles
B	Autobuses
C	Camiones
C2	Camiones de carga de 2 ejes
C3-4	Camiones de carga de 3 o 4 ejes
CA1	Camiones de carga de 5 o 6 ejes
CA2	Camiones de carga con más de 6 ejes
CAE	Costo Anual Equivalente
CC	Cierre de circuito
CGV	Costo Generalizado de Viaje
COV	Costo de Operación Vehicular
CU	Camiones de carga de 2 a 4 ejes
ES	Periodo entre semana
FOV	Frecuencia da paso y ocupación visual
FS	Periodo en fin de semana
HMD	Hora de Máxima Demanda
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
M	Motos
OD	Encuesta de origen y destino
PD	Encuesta de preferencias declaradas
SA	Situación Actual
SCP	Situación Con Proyecto
SICT	Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes
SHCP	Secretaría de Hacienda y Crédito Público
SIG	Sistema de información geográfica
SSP	Situación Sin Proyecto
TIR	Tasa Interna de Retorno
TRI	Tasa de Rentabilidad Inmediata
TV	Tiempo de Viaje
UI	Unidad de Inversiones
VPN	Valor Presente Neto

1 RESUMEN EJECUTIVO

Problemática, objetivo y descripción del Programa o Proyecto de Inversión (PPI)	
Objetivo del PPI	Coadyuvar a mejorar las condiciones de movilidad urbana en la capital del estado de Puebla, mediante la implementación de un sistema de transporte público integral basado en la modalidad por cable (teleférico) que se articula con una red de rutas por tierra, brindando a los usuarios un servicio de transporte público ágil, eficiente, seguro y amigable con el ambiente, reduciendo los tiempos de viaje (TV) y los costos de operación vehicular (COV).
Problemática identificada	Los municipios de Puebla y San Andrés Cholula concentran más de 1.8 millones de habitantes y presentan contrastes socioeconómicos relevantes, lo que refuerza la necesidad de soluciones de transporte masivo que garanticen conectividad equitativa. La operación actual del transporte público en la zona del proyecto incluye cuando menos la operación de 45 rutas con 1,070 unidades de diversa tipología (autobuses, vans, microbuses y vehículos padrón), generando sobreoferta en ciertos tramos, baja integración modal y competencia desordenada entre concesionarios. El análisis de la demanda evidencia picos de movilidad en las franjas 06:00–08:00 h y 17:00–19:00 h, con más de 12,000 pasajeros por hora en corredores centrales. La velocidad promedio de operación (17 km/h) y los intervalos estimados (13 min) reflejan condiciones de congestión y eficiencia limitada, con tiempos de espera reportados cercanos a 7 minutos. Estos factores reducen la competitividad del transporte público frente a los modos privados. Los aforos vehiculares registran hasta 82,633 vehículos diarios en intersecciones estratégicas, con predominio de autos ligeros (78.5–91.4 %) y motocicletas (4.1–10 %), confirmando patrones asociados a la movilidad laboral. Ante este contexto, se plantea la evaluación de un sistema de transporte por cable como una alternativa viable para atender necesidades insatisfechas de movilidad. Esta modalidad podría ofrecer ventajas al mejorar la conectividad al integrarse estratégicamente con la red de transporte existente y contribuir a una movilidad más equitativa, eficiente y sustentable en la metrópoli, ofreciendo una alternativa de transporte para interconectar polos de demanda con una ruta principal desde el Estadio Cuauhtémoc hacia los centros comerciales de San Andrés Cholula (Angelópolis, Explanada, Solesta). Esta conexión aérea complementaría la red vial y las rutas convencionales, ofreciendo un vínculo directo, rápido y resiliente entre lugares de alta

concentración de viajes —que actualmente dependen del transporte urbano terrestre— y mejorando la accesibilidad. Algunos beneficios esperados son:

- Disminución de congestión vial en corredores principales durante eventos.
- Mayor integración intermodal, articulando los bordos de demanda (estadios y malls) con menor tiempo de traslado.
- Incremento en frecuencia de servicio y atractivo para usuarios ocasionales, al conectar puntos de ocio y consumo clave.

Otro de los elementos que caracterizan la actual operación del sistema de transporte público en la ciudad, es la alta dispersión en cuanto al número de unidades por ruta de transporte, misma que no se corresponde con los niveles de demanda por atender y, que el tiempo de cierre de circuito de las rutas no toma en cuenta la variación en el nivel de demanda que se registra a lo largo del día.

Entre los principales efectos producidos por las anteriores situaciones se encuentran altos costos generalizados de viaje, derivados de los incrementos en los tiempos de traslado y costo de operación vehicular, una sobreoferta de unidades en transporte en determinados horarios, elevados costos de viaje y altos niveles de congestión, lo que incrementa la contaminación.

Breve descripción del PPI

El proyecto consiste en la implementación de una línea de teleférico, con cabinas dotadas de pinzas. El sistema teleférico estará operando a una velocidad de 6 m/s, es decir, 21.6 km/h. Cuando el sistema se encuentra operando a una capacidad de 1,000 personas por hora por dirección, el intervalo de tiempo que tendrá entre cabinas es de 36 segundos y cuando el sistema de teleférico esté operando con la capacidad máxima de 2,500 personas por hora por dirección, el intervalo de tiempo que tendrá entre cabinas es de 14.4 segundos. Las cabinas que tendrán este sistema serán para 10 personas sentadas con asientos abatibles.

La línea troncal incluye el conjunto de cables, telecabinas, sistema de apoyos, anclajes, sistema motriz y eléctrico, que requiere el Transporte Teleférico, entendido este como un sistema elevado de elementos estructurales, mecánicos y eléctricos que integran el Sistema del Teleférico.

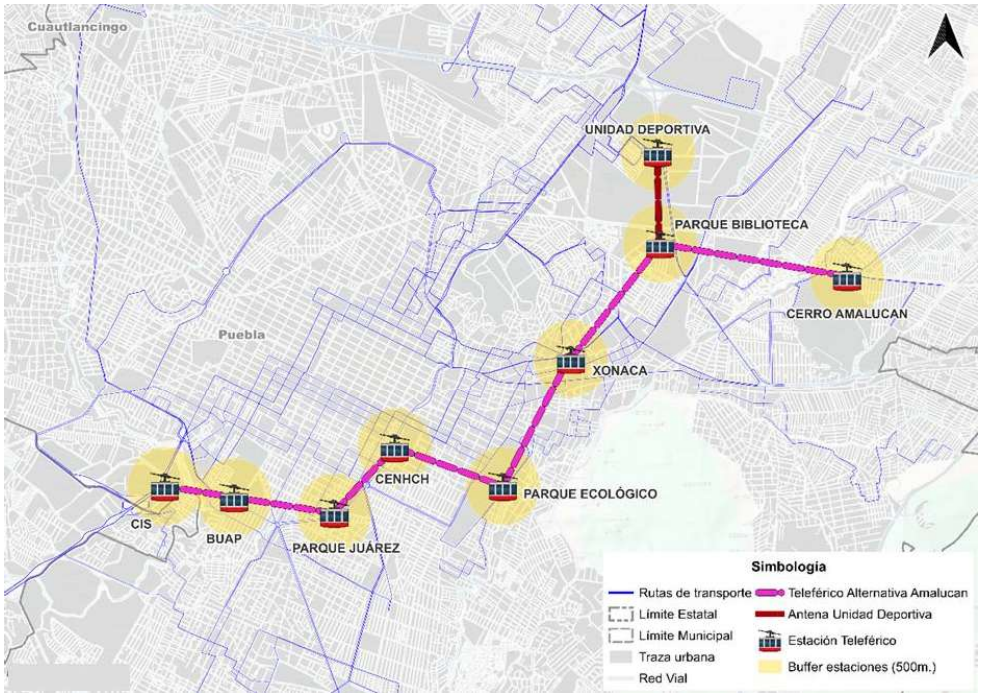
El trazo del proyecto contempla una longitud de 13.6 kilómetros, 9 estaciones, 96 torres y 152 cabinas como capacidad inicial, llegando a alcanzar hasta 228 cabinas como capacidad final. A continuación, se presenta el recorrido. El proyecto se localiza en el estado de Puebla en los municipios de Puebla y San Andrés Cholula. A continuación, se presentan las coordenadas de las estaciones de inicio y fin del proyecto y la representación gráfica del proyecto.

Tabla 1-1 Ubicación

Estación	Latitud	Longitud
CIS	19.031083°	-98.228511°
CERRO AMALUCAN	19.055430°	-98.136841°
UNIDAD DEPORTIVA	19.071774°	-98.161629°

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-1 Trazo del Proyecto



Fuente: Elaboración propia.

Horizonte de evaluación, costos y beneficios del PPI	
Horizonte de evaluación	32 años (teniendo un año cero), de 2025 a 2057, considerando el inicio de construcción en septiembre del 2025 a diciembre del 2029, iniciando operación en enero del 2030 y concluyendo en diciembre de 2057.
Descripción de los principales costos del PPI	El costo de inversión inicial estimado es de $ 5,822,075,292 pesos sin IVA, mientras que el monto con IVA asciende a $6,753,607,338 pesos, más un monto estimado de $212,031,503 pesos con IVA asociados a los costos por medidas de mitigación ambiental y liberación del derecho de vía (los predios no están sujetos

al pago de este impuesto de conformidad con el artículo 9 de la Ley del Impuesto al Valor Agregado).

Los principales rubros de inversión se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1-2 Monto de inversión del proyecto

Concepto de Obra	Monto sin IVA ($)	Monto con IVA ($)
Proyecto ejecutivo	$ 121,618,189	$ 141,077,099
Obra inducida	$ 201,858,396	$ 234,155,740
Obra civil de cimentación	$ 405,467,690	$ 470,342,520
Obra civil estaciones e instalaciones especiales	$ 852,632,647	$ 989,053,871
Sistema electromecánico de los teleféricos	$ 3,634,781,426	$ 4,216,346,455
Sistema eléctrico	$ 392,379,836	$ 455,160,609
Transferencia tecnológica	$ 183,981,862	$ 213,418,960
Certificación	$ 29,355,245	$ 34,052,085
Subtotal 1	**$ 5,822,075,292**	**$ 6,753,607,338**
Liberación del derecho de vía.	$ 183,086,000	$ 183,086,000
Ambiental	$ 24,953,020	$ 28,945,492
Subtotal 2	**$ 208,039,020**	**$ 212,031,503**
Total	**$ 6,030,114,312**	**$ 6,965,638,841**

Fuente: Elaboración propia

A lo largo del horizonte de evaluación se consideraron costos de reinversiones por reemplazos al sistema eléctrico y del cable, por un valor de $303,750,00 y de $238,500,000 pesos sin IVA, respectivamente. Así como costos de operación y mantenimiento anuales que se mantienen constantes durante el periodo. El monto promedio anual de estos últimos asciende a $243,913,214 pesos sin IVA.

Descripción de los principales beneficios del PPI

La ejecución del proyecto traerá múltiples beneficios a la zona, entre estos beneficios se encuentran los cuantificables y los no cuantificables. Entre los cuantificables se contemplan:

- Beneficios por ahorro en Tiempo de Viaje (TV).
- Beneficios por ahorro en Costo de Operación Vehicular (COV)
- Reducción de emisiones contaminantes
- Valor de rescate de la infraestructura.

Entre los beneficios no cuantificables se encuentran mejoras en la calidad de vida de los habitantes de la zona, aumento de seguridad vial, reducción de ruido, mayor equidad social.

Monto total de inversión

(sin IVA)

La inversión estimada sin IVA es de $ 6,030,114,312 (seis mil treinta millones ciento catorce mil trescientos doce pesos M.N.) e incluye grosso modo los rubros de obra civil e inducida, sistema electromecánico y eléctrico, liberación de derecho de vía, costos ambientales, entre otros componentes.

	El monto de inversión inicial considerando IVA asciende a $ 6,965,638,841 (seis mil novecientos sesenta y cinco millones seiscientos treinta y ocho mil ochocientos cuarenta y un pesos M.N.).
Riesgos asociados al PPI	Como parte de análisis se identificaron los principales riesgos exógenos al proyecto, estos son: • Falta de los recursos presupuestales necesarios para concluir la obra en el tiempo previsto. • Retrasos en el arranque de la construcción y/u operación del proyecto, debido a problemas técnicos, mismos que se traducirían en un incremento en los tiempos estimados. • Retrasos en el arranque de la construcción y/u operación del proyecto, debido a fenómenos inflacionarios, los cuales podrían incrementar su costo y el tiempo de ejecución. • Cambio en las condiciones macroeconómicas del país, que se traduzca en una depreciación del peso frente a otras divisas, sean dólar y euro. • Cambios en el costo de materias primas esenciales para la construcción que se traduzcan en aumento del costo de inversión inicial. • Rechazo por parte del usuario. Para mitigar estos riesgos es necesaria una adecuada planeación tanto de la obra, como de aspectos constructivos y operacionales. Asimismo, es necesario emprender una fuerte campaña de sensibilización y familiarización del usuario y habitantes de la zona.

Indicadores de rentabilidad del PPI	
Valor Presente Neto (VPN)	$ 1,541,499,643 pesos
Tasa Interna de Retorno (TIR)	12.27 %
Tasa de Rentabilidad	12.67%

Inmediata (TRI)	

Conclusión

Conclusión del análisis del PPI	Como resultado del presente análisis se concluye que el proyecto de inversión es rentable y la mejor alternativa ante el problema de movilidad presentado en la zona. Los indicadores de rentabilidad indican que el proyecto es socialmente rentable al registrase un VPN de $ 1,541,499,643 (un mil quinientos cuarenta y uno millones cuatrocientos noventa y nueve mil seiscientos cuarenta y tres pesos M.N.) sin IVA y una TIR de 12.27%, es decir se cumple con los previsto en los *Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión*, publicados por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), en sentido de que el VPN es positivo y la tasa de interna de retorno (TIR) superior a la tasa social de descuento.

2 SITUACIÓN ACTUAL DEL PPI

2.1 Contexto urbano, social y económico

Los municipios que conforman la zona de influencia directa de la Zona Metropolitana de Puebla (ZMP) concentran una población total de 2,505,019 habitantes. De este total, la zona de estudio conformada por los municipios de Puebla y San Andrés Cholula representa el 73.7% de la población con un total de 1,846,629. El municipio de Puebla destaca de manera significativa al concentrar 1,692,181 habitantes, lo que representa el 91.6 % de la población total del área de estudio. Este dato refleja su papel como núcleo urbano principal, centro económico y administrativo de la región.

En menor medida, pero con una población relevante, está el municipio de San Andrés Cholula con 154,448 habitantes, que representan el 8.4 %. Este municipio, junto con Puebla, conforma un corredor urbano denso y consolidado con alta demanda de movilidad intermunicipal.

Tabla 2-1. Población de los municipios de la zona de influencia directa

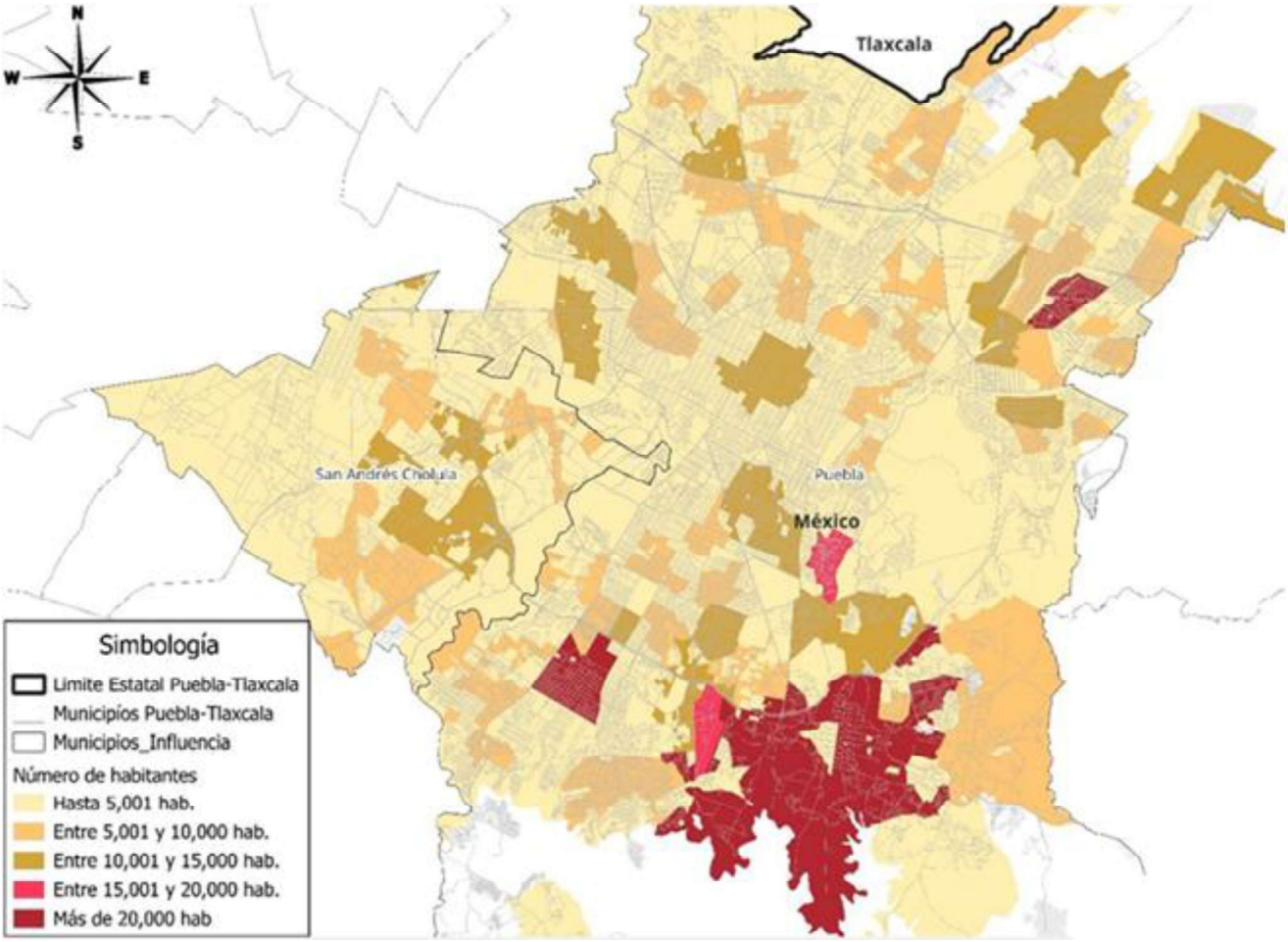
CVEGEO	Estado	Municipio	Población	Porcentaje
21114	Puebla	Puebla	1,692,181	91.6%
21119	Puebla	San Andrés Cholula	154,448	8.4%
Total			**1,846,629**	**100.0%**

Fuente: Elaboración propia

La Figura 2.1 muestra la distribución espacial de la población en los municipios que conforman la zona de estudio, utilizando una simbología categorizada por rangos de número de habitantes por zona. El mapa permite identificar de manera visual las áreas con mayor concentración de población en el área metropolitana de Puebla y su entorno inmediato.

Esta representación espacial permite identificar no solo los focos de mayor concentración poblacional, sino también las áreas estratégicas para la planificación de infraestructura de transporte, ya que la demanda de movilidad está directamente relacionada con la densidad y el patrón de ocupación del suelo.

Figura 2-1. Población en la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia

2.1.1 Grado de marginación urbana

La Tabla 2 presenta el porcentaje de población según el grado de marginación urbana en los municipios que conforman la zona de estudio, con base en datos del CONAPO 2020. En términos generales, se observa una distribución heterogénea de la marginación, lo que refleja las desigualdades sociales y territoriales existentes en el área metropolitana.

Los municipios de Puebla y San Andrés Cholula, dentro de la Zona Metropolitana de Puebla presentan una alta concentración de actividades económicas, académicas y sociales, lo que genera una demanda significativa de movilidad urbana. En este contexto, se analiza la posible implementación de un sistema de transporte masivo tipo Teleférico, orientado a mejorar la conectividad entre ambos territorios.

Desde el punto de vista social, los dos municipios presentan contrastes en sus niveles de marginación urbana. Según datos de CONAPO 2020, San Andrés Cholula se destaca por tener un 23.9 % de su población en condición de muy baja marginación, reflejando un alto nivel de desarrollo relativo. Por su parte, el municipio de Puebla presenta una mayor dispersión en los niveles de marginación, con

13.2 % de su población en condición de muy alta marginación, lo que evidencia la existencia de zonas con rezago social. Esta diversidad de condiciones sociales refuerza la importancia de diseñar soluciones de transporte inclusivas y equitativas.

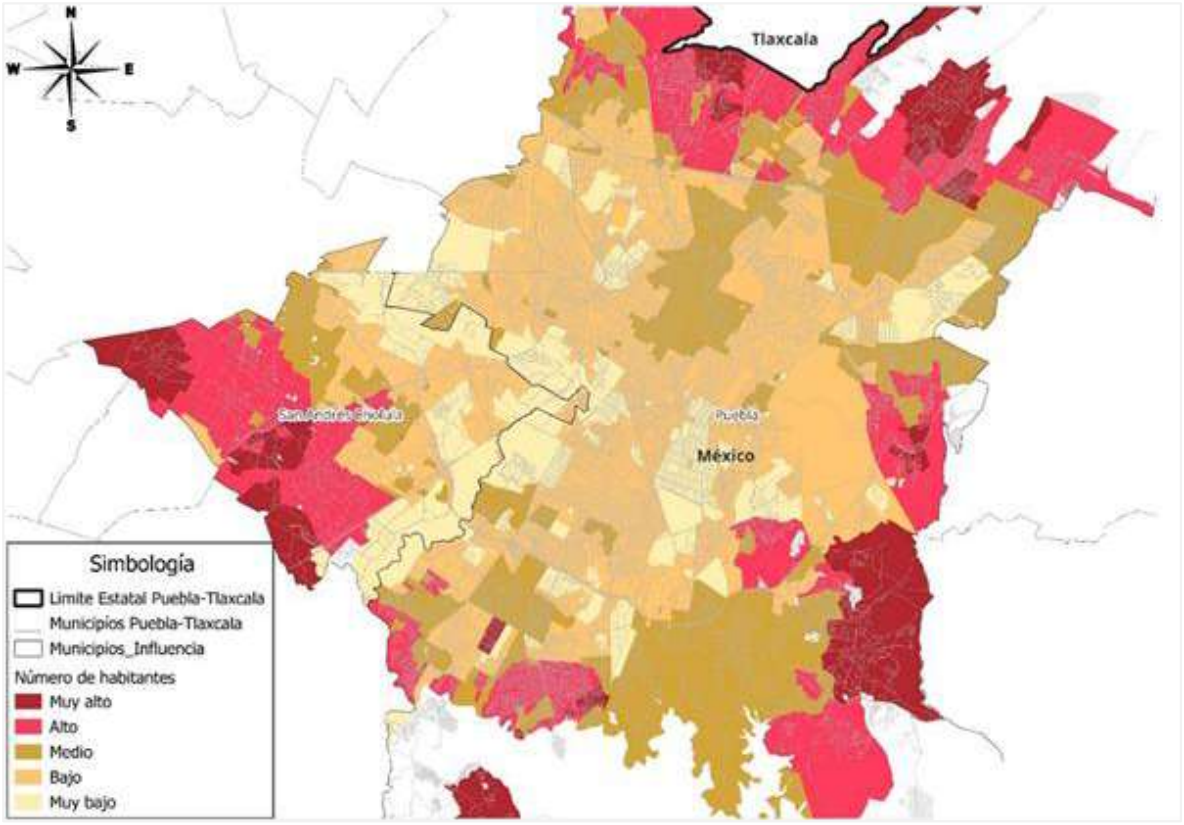
Tabla 2-2. Porcentaje de grado de marginación por municipio de influencia

Municipio	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Puebla	11.6%	33.0%	25.1%	17.1%	13.2%
San Andrés Cholula	23.9%	24.0%	12.2%	29.3%	10.6%
Zona Metropolitana de Puebla	8.3%	22.5%	22.8%	24.4%	22.0%

Fuente: Elaboración propia con base en CONAPO 2020

En la siguiente figura se muestra el grado de marginación urbana por colonia en la zona de estudio.

Figura 2-2. Grado de marginación urbana por colonia en la zona de estudio



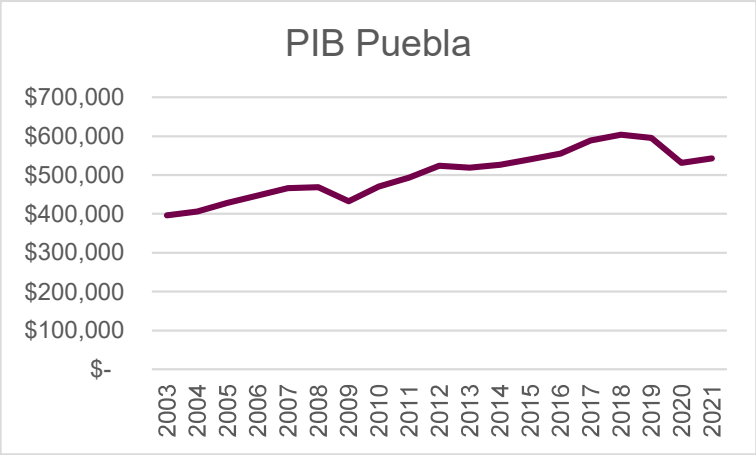
Fuente: Elaboración propia con base en CONAPO 2020

Según datos del INEGI en el 2021 el Producto Interno Bruto de Puebla ascendía a $542,719 millones de pesos[1] representando el 3.18% del PIB nacional siendo el onceavo estado con mayor aportación al PIB. El PIB de Puebla en el 2021 fue de $542,719 millones de pesos, representando un aumento

[1] Precios base 2013

de $11,761 millones de pesos respecto al 2020. A continuación, se muestra la tendencia del PIB del estado.

Figura 2-3 PIB del Estado de Puebla



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI 2021

Como se muestra, la tendencia del producto interno bruto es casi siempre positiva exceptuando los años del 2009, 2013, 2019 y 2020 donde se presentan ligeras contracciones del PIB. El Valor Agregado Censal Bruto (VACB) es un indicador que permite medir el valor que general las actividades productivas formales y censadas dentro de un municipio. Se calcula como la diferencia entre el valor total de la producción y el consumo inmediato. Aunque es menos robusto que el PIB permite saber el aporte económico de los municipios por sectores.

Como se mencionó, la zona metropolitana de Puebla está compuesta por 11 municipios, de estos los que generan un mayor valor considerando los tres sectores son Puebla, Cuautlancingo y San Andrés Cholula. El municipio de Puebla y Coronango se destacan al ser los únicos que aportan al sector primario. En seguida, se presenta el aporte por sector de cada uno de estos municipios.

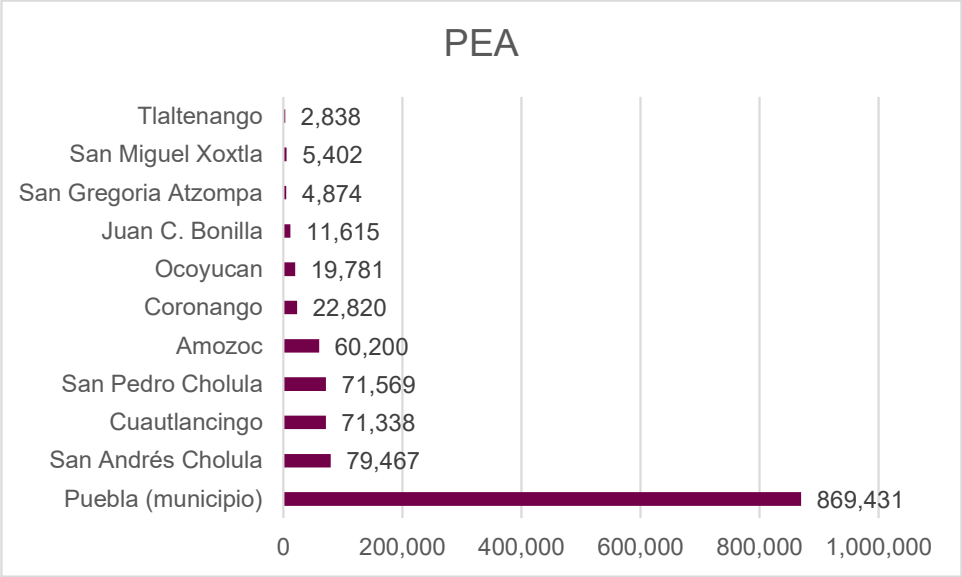
Tabla 2-3. PIB sectorial por municipio

Municipio	Primario	Secundario	Terciario	Total
Amozoc	$0.00	$4,378.21	$1,818.81	$6,197.02
Puebla (municipio)	$3.62	$27,399.21	$70,244.79	$97,647.62
Tlaltenango	$0.00	$2.39	$14.74	$17.13
San Miguel Xoxtla	$0.00	$2,404.11	$90.74	$2,494.85
Coronango	$0.04	$307.25	$1,758.32	$2,065.61
Juan C. Bonilla	$0.00	$164.15	$79.32	$243.47
San Pedro Cholula	$0.00	$2,435.82	$3,531.42	$5,967.24
Cuautlancingo	$0.00	$42,372.37	$6,230.88	$48,603.25
San Andrés Cholula	$0.00	$2,240.29	$8,178.88	$10,419.17
San Gregoria Atzompa	$0.00	$555.12	$229.83	$784.95
Ocoyucan	$0.00	$91.13	$108.57	$199.70

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI 2020

Por otro lado, la Población Económicamente Activa de Puebla representa a todas las personas en edad de trabajar y que están empleadas o buscan trabajo activamente. En México el INEGI establece como edad de trabajar a personas de 15 años o más y no incluye a estudiantes o personas que se dedican al cuidado del hogar. Según datos del Comité Estatal de Información Estadística y Geografía del Estado de Puebla (CEIGEP) el municipio de Puebla cuenta con 869 mil personas en edad de trabajar que buscan activamente trabajo o que trabajan. A continuación, se presenta la PEA reportada por el CEIGEP según datos del censo del 2020.

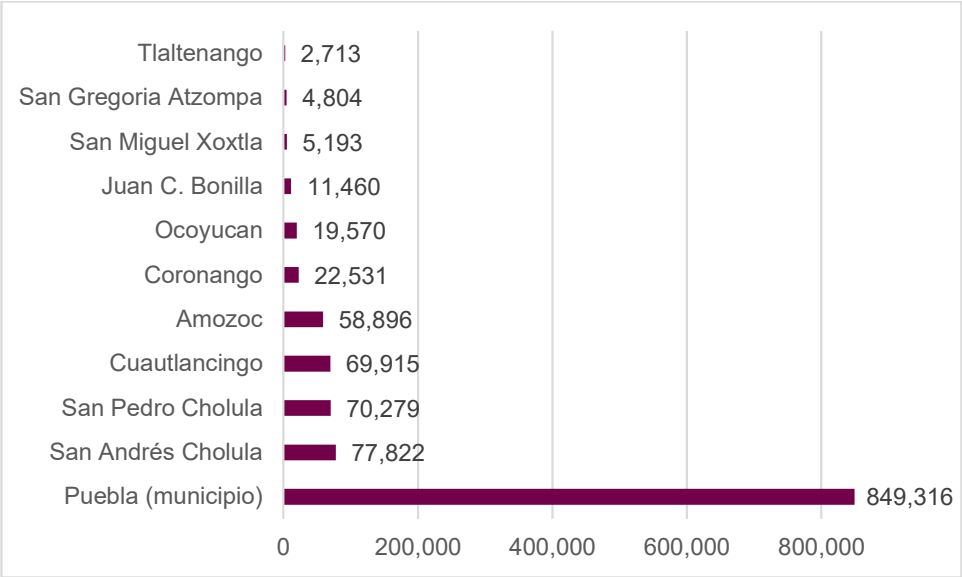
Figura 2-4 PEA por municipio



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI 2020

De forma complementaria, se presentan datos sobre la ocupación ocupada por municipio. Este indicador representa las personas que forman parte de la Población Económicamente Activa y que efectivamente cuentan con un empleo. La diferencia entre estos conceptos da como resultado el número de personas desocupadas, es decir, personas que buscan activamente un empleo, pero no lo tienen.

Figura 2-5 Población ocupada por municipio



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI 2020

La Inversión Extranjera Directa (IED) es un indicador que representa la cantidad de dinero que invierten entidades o personas extranjeras en el país, es un indicador económico clave que refleja la confianza en el entorno económico y político del país además de generar empleos y tecnología en la región. Según datos de la Secretaría de Economía, México recibió un total de 36 mil millones de dólares de inversión extranjera directa en el 2024, destacando en sectores como equipo de transporte, bebidas y tabaco, equipo de cómputo, química y materiales básicos.

En Puebla destacan la presencia del fabricante de automóviles alemán Volkswagen, de la empresa dedicada al diseño y desarrollo de componentes metálicos de automóviles Gestamp y de farmacéutica multinacional Johnson & Johnson, siendo la primera planta manufacturera de la farmacéutica construida fuera de Europa.

Figura 2-6 Inversión Extranjera Directa en México



Fuente: Elaboración propia con base en la Secretaría de Economía 2025

El Estado de Puebla es el octavo estado con mayor inversión extranjera directa en 2024 con 1,168 millones de dólares, representando el 3% de la inversión extranjera directa de todo el país.

Tabla 2-4. Inversión Extranjera Directa en México

No	Estado	IED 2024 (mdd)
1	Ciudad de México	14,427
2	Estado de México	2,642
3	Baja California	2,479
4	Nuevo León	2,098
5	Chihuahua	1,497
6	Guanajuato	1,442
7	Baja California Sur	1,353
8	Puebla	1,168
9	Jalisco	1,100
10	Querétaro	1,055

Fuente: Elaboración propia con base en la Secretaría de Economía 2025

Vehículos motorizados registrados en el 2022 en los municipios que conforman el área metropolitana de Puebla suman 729,129 considerando automóviles privados, camiones de pasajeros, camiones y camionetas para carga y motocicletas. De los vehículos registrados en la zona metropolitana de

Puebla el 74% se encuentran en el municipio de Puebla, seguido de lejos por San Andrés Cholula con el 8.5% y Cuautlancingo con el 6.1%.

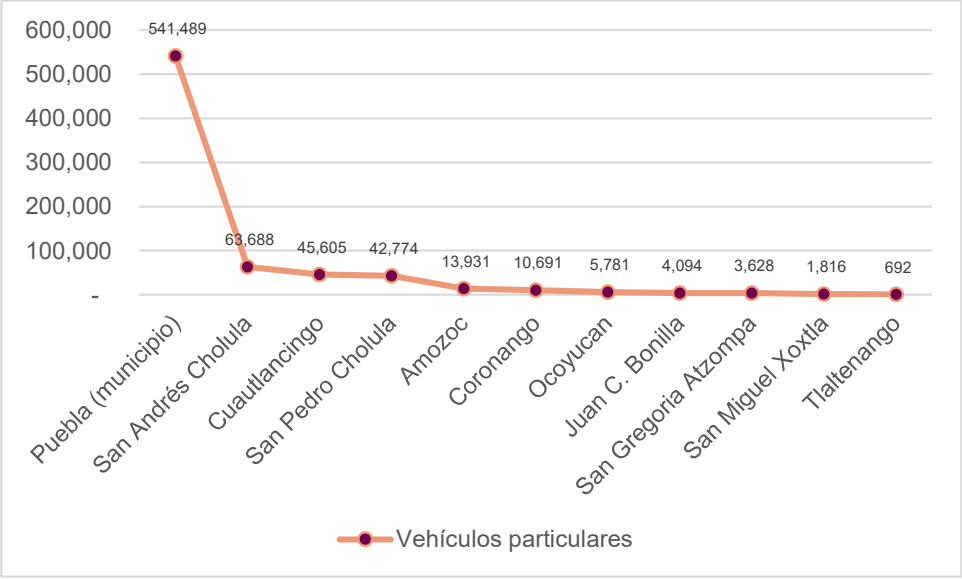
Tabla 2-7 Vehículos motorizados registrados en 2022

Municipio	Vehículos particulares	Transporte público	Vehículos oficiales	Total
Amozoc	13,931	501	70	14,502
Puebla (municipio)	541,489	20,553	8,108	570,150
Tlaltenango	692	9	7	708
San Miguel Xoxtla	1,816	73	57	1,946
Coronango	10,691	645	79	11,415
Juan C. Bonilla	4,094	287	22	4,403
San Pedro Cholula	42,774	1,013	350	44,137
Cuautlancingo	45,605	1,216	179	47,000
San Andrés Cholula	63,688	1,105	371	65,164
San Gregoria Atzompa	3,628	42	6	3,676
Ocoyucan	5,781	197	50	6,028

Fuente: Elaboración propia con base en CEIGEP 2022

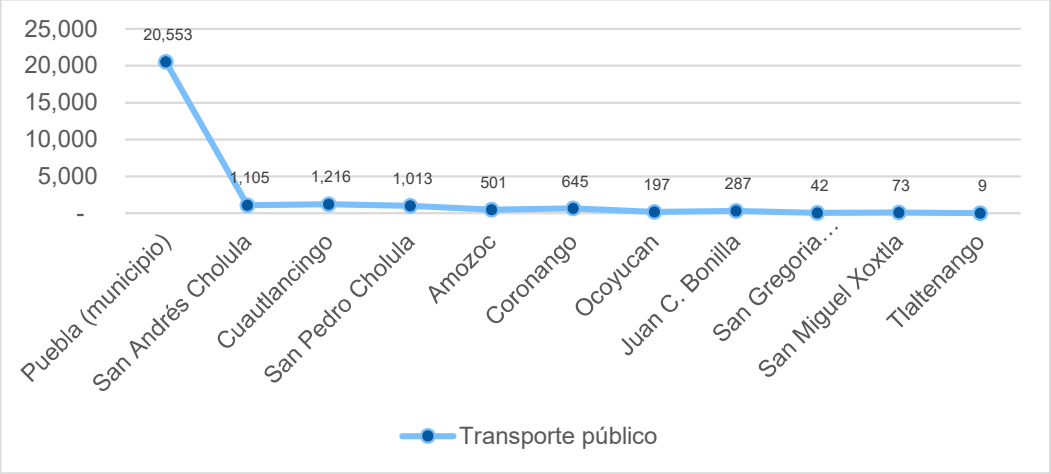
El municipio de Puebla es el que cuenta con mayor número de vehículos privados y públicos registrados; sin embargo, aunque el municipio de San Andrés Cholula cuenta con más de 15 mil vehículos registrados que el municipio de Cuautlancingo, Cuautlancingo cuenta con más vehículos públicos registrados en comparación con San Andrés Cholula.

Figura 2-8 Vehículos privados registrados 2022



Fuente: Elaboración propia con base en CEIGEP 2022

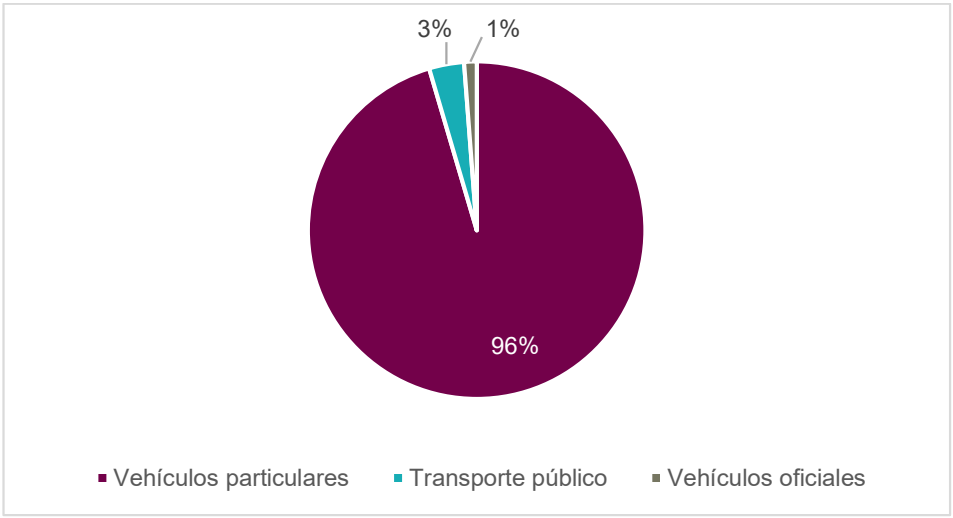
Figura 2-9 Vehículos transporte público por municipio



Fuente: Elaboración propia con base en CEIGEP 2022

En cuanto a la distribución de vehículos según los datos reportados por el CEIGEP en 2022 en Puebla el 96% de los vehículos de motor registrados son de uso particular, mientras que sólo el 3% son transportes públicos y el 1% vehículos oficiales.

Figura 2-10 Distribución de vehículos de motros registrados 2022



Fuente: Elaboración propia con base en CEIGEP 2022

2.2 Diagnóstico de la situación actual[2]

Como parte del análisis, a continuación, se presentan las condiciones de movilidad imperantes en la ciudad de Puebla, identificando las necesidades y problemática en materia de transporte, a partir de la cual se soporta la necesidad de implementar el proyecto.

De manera general, la oferta actual de transporte público en la zona de estudio se encuentra conformada por una flota diversa que incluye autobuses, microbuses, vans y vehículos tipo padrón, operando principalmente en corredores troncales y secundarios. Esta oferta presenta fragmentación operativa, superposición de rutas en diversos tramos del sistema y una baja integración intermodal.

Las rutas convencionales operan con un intervalo promedio estimado de 13 minutos para las rutas analizadas y la velocidad promedio de operación es de 17 km/h. Asimismo, se registra una utilización promedio diaria del 58 % de la capacidad instalada, lo que sugiere una oferta moderadamente utilizada, pero con deficiencias en cobertura, accesibilidad y eficiencia.

La demanda actual de transporte se encuentra fuertemente concentrada en los horarios pico matutino (6:00–8:00 h) y vespertino (17:00–19:00 h), registrando más de 12.000 pasajeros por hora en corredores estratégicos de la ciudad, particularmente en el eje vial central de Puebla y los sectores norte y suroeste. Además, se identifican polos de atracción de alta afluencia como el Estadio Hermanos Serdán, Parque Puebla y centros comerciales como Angelópolis, Explanada Puebla, Galerías Serdán y Solesta, además de importantes centros generadores de viajes como lo son la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) e incluyendo además zonas densamente pobladas como Cerro Amalucan y Bosques de San Sebastián.

Esta concentración de viajes, sumada al crecimiento urbano y la dispersión de zonas habitacionales hacia municipios como San Andrés Cholula, refleja un alto potencial de demanda insatisfecha y una necesidad creciente de soluciones de transporte accesible y eficiente.

Así, del análisis se desprende un desequilibrio entre la oferta y la demanda actuales, donde los niveles de frecuencia y ocupación promedio indican que el sistema actual no logra cubrir con eficacia los flujos de alta demanda en los periodos pico ni atender con suficiencia a los principales generadores de viaje y que la falta de integración modal, los tiempos de traslado elevados y la saturación puntual en corredores específicos generan una experiencia de movilidad deficiente para los usuarios.

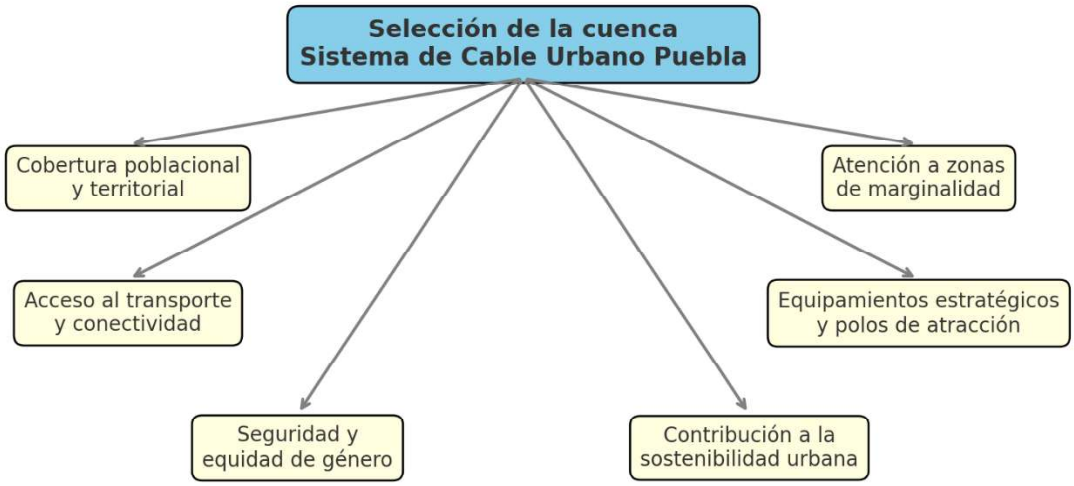
2.2.1 Identificación cuenca de análisis

La ciudad de Puebla constituye el núcleo urbano más importante del estado y con cerca de 1.7 millones de habitantes que la ubica como la cuarta más poblada del país, su crecimiento urbano se ha caracterizado por una expansión periférica acelerada y una conurbación con municipios colindantes, generando desequilibrios entre las zonas centrales y las periferias. Este proceso ha derivado en una alta dependencia del transporte público colectivo, que concentra más del 70% de los viajes diarios.

Dentro de este contexto, la cuenca seleccionada para el proyecto se identifica como un eje fundamental de movilidad, pues articula zonas de alta densidad poblacional y barrios como Cerro Amalucan y San Baltazar, con áreas de servicios y equipamientos estratégicos, centros educativos (BUAP), parques recreativos (Parque Biblioteca, Parque Ecológico), nodos comerciales (Plaza Dorada) y centralidades históricas (Zona Histórica de las Fuentes y el Centro).

Esta cuenca presenta una clara demanda potencial de transporte público formal y seguro, por lo que la selección de la cuenca busca no solo mejorar la accesibilidad y reducir tiempos de viaje, sino también contribuir a la recuperación del espacio urbano, fortalecer la seguridad ciudadana y ofrecer un sistema de transporte equitativo y sostenible.

En este sentido, la elección de la cuenca para la implementación del Sistema de Cable Urbano en la ciudad de Puebla responde a un conjunto de factores técnicos, sociales y urbanos que permiten garantizar el mayor beneficio social y la pertinencia del proyecto.



Se presenta a continuación la descripción de cada criterio.

- **Cobertura poblacional y territorial:** La cuenca articula zonas de alta densidad poblacional en el oriente y suroriente de la ciudad y conecta centralidades urbanas de gran afluencia.
- **Atención a zonas de marginalidad:** El trazo integra colonias con rezago social y condiciones de vulnerabilidad, como Cerro Amalucan y San Baltazar, mejorando sus oportunidades de acceso a empleo, educación y servicios.
- **Acceso al transporte y conectividad:** La cuenca seleccionada ofrece la posibilidad de generar intermodalidad con corredores existentes de transporte público y rutas troncales, ampliando la cobertura del sistema de movilidad urbana.
- **Equipamientos estratégicos y polos de atracción:** El recorrido conecta directamente con centros educativos (BUAP), áreas recreativas y culturales (Parque Biblioteca, Parque Ecológico), espacios comerciales (Plaza Dorada) y zonas patrimoniales (Zona Histórica de las Fuentes y Centro Histórico).
- **Seguridad y equidad de género:** Al ofrecer un sistema controlado, seguro e inclusivo, se atiende la demanda de transporte confiable frente a problemáticas de inseguridad identificadas en los sistemas actuales, beneficiando de manera particular a mujeres y grupos vulnerables.
- **Contribución a la sostenibilidad urbana:** El sistema se plantea como una alternativa de movilidad limpia que reduce emisiones y fomenta la recuperación del espacio urbano, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y resiliencia de la ciudad.

En conjunto, estos elementos hacen de la cuenca seleccionada la opción más adecuada para implementar un sistema de transporte por Cable, capaz de reducir desigualdades sociales, mejorar la accesibilidad y transformar positivamente el entorno urbano de Puebla.

2.2.2 Diagnóstico de la interacción y problemática

2.2.2.1 Análisis de oferta existente

2.2.2.2 Oferta vial

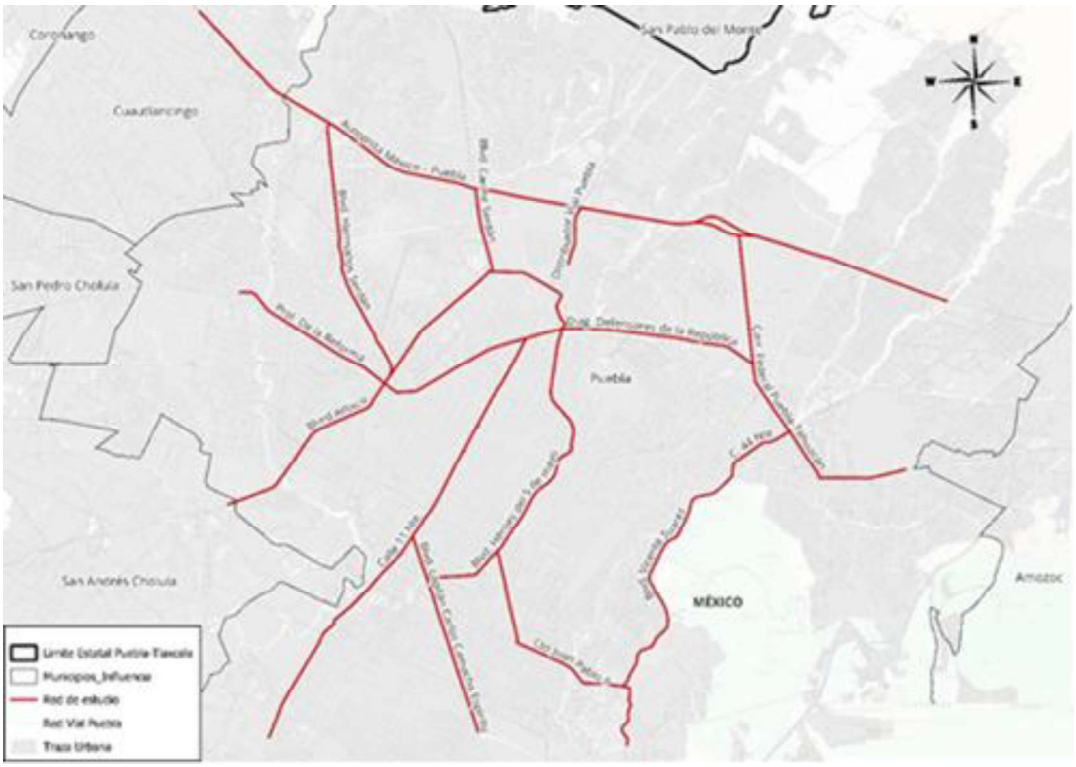
La caracterización de las vialidades es un aspecto fundamental en cualquier estudio de transporte público, ya que permite comprender las condiciones físicas y estructurales de la red vial en la que opera. Este análisis detallado es clave para identificar elementos como el tipo de pavimento, la cantidad de carriles, entre otros aspectos.

Al conocer estos aspectos, se pueden formular propuestas más precisas y efectivas para optimizar la movilidad del transporte público, así como mejorar la conectividad y reducir los tiempos de viaje. Por lo anterior, en los siguientes apartados se muestra cada uno de los análisis realizados y se identifican los hallazgos principales de cada uno de ellos.

2.2.2.2.1 Definición de la Red de estudio

Para la caracterización de la infraestructura vial se definió una red de estudio la cual considera las vialidades principales por donde circula actualmente el transporte público en la zona, lo cual es crucial para enfocar los esfuerzos en una zona específica, permitiendo obtener datos precisos y representativos. En la siguiente figura se muestran las vialidades que forman parte de la red seleccionada para su caracterización.

Figura 2-11. Red de estudio



Fuente: Elaboración propia

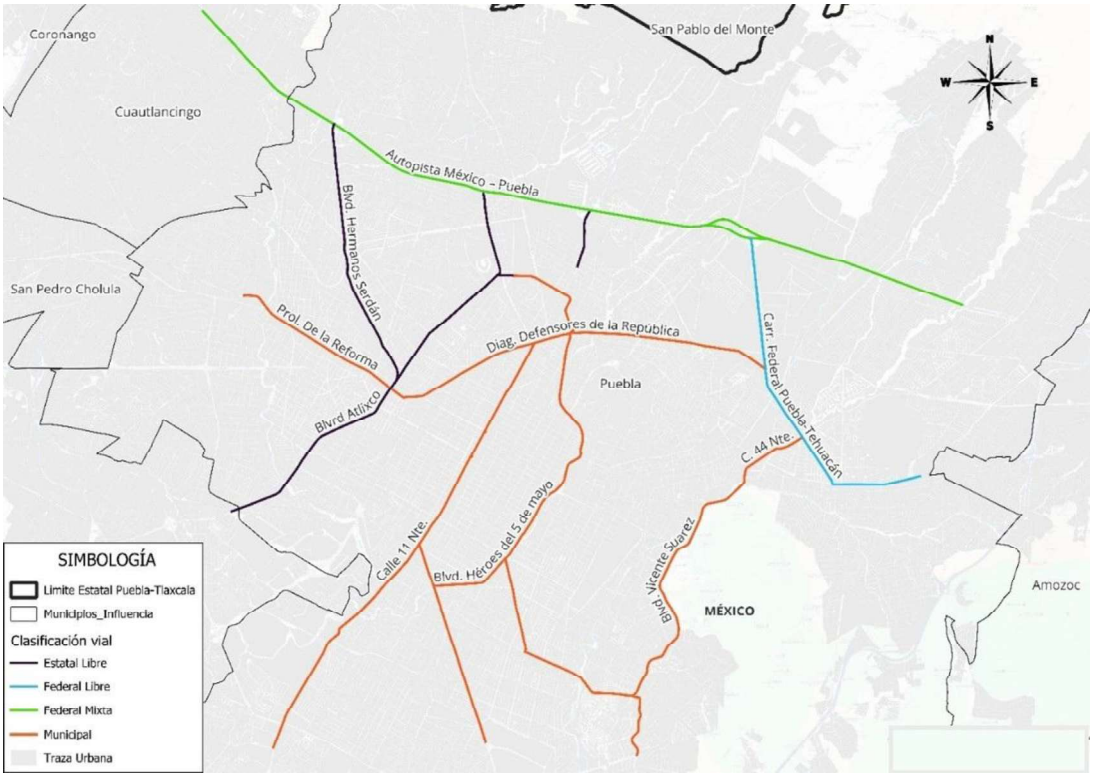
2.2.2.2.2 Clasificación vial

La clasificación vial es fundamental para entender la jerarquía y función de cada vía dentro de la red de transporte. Para esta clasificación se tomó en consideración la información de Datos viales de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SICT.

Esta información permite identificar la función que cada vía desempeña dentro del sistema, desde la movilidad de largo recorrido hasta el acceso local. Dentro de esta clasificación se encuentran los siguientes tipos de vía:

- **Vías estatales libres:** Gestionadas por gobiernos estatales, sin peaje. Conectan zonas urbanas y rurales dentro de un estado, facilitando la movilidad local y regional.
- **Vías federales con cuota:** Administradas a nivel federal, requieren peaje y son de alta calidad. Facilitan desplazamientos rápidos entre estados y son clave para el transporte de mercancías.
- **Vías federales libres:** No requieren peaje y conectan grandes distancias entre regiones y estados. Tienen menor calidad y mayor congestión que las de cuota.
- **Vías municipales:** gestionadas por gobiernos locales. Enfocadas en la movilidad interna de centros urbanos y entre localidades cercanas, son esenciales para el tráfico local y el acceso a servicios comunitarios.

Figura 2-12. Clasificación vial



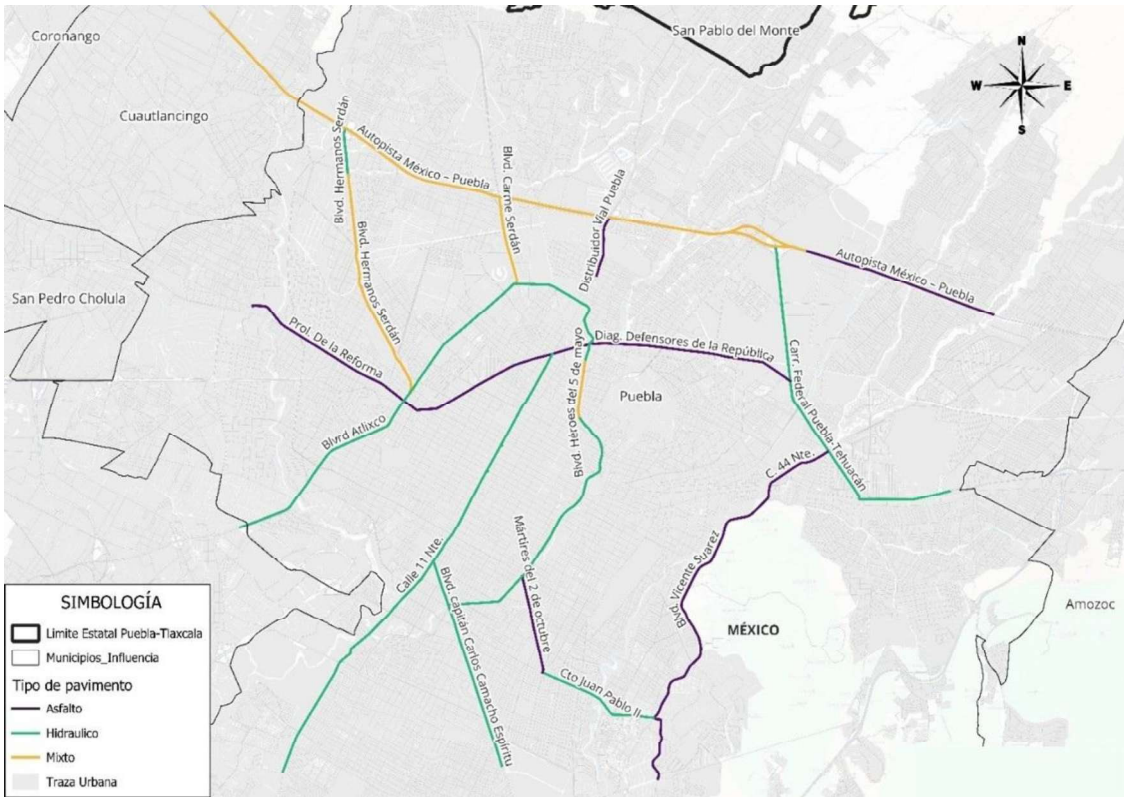
Fuente: Elaboración propia

Se observa que la red vial tiene vialidades de alta capacidad y de conectividad regional, lo que proporciona a la zona una conectividad muy alta y se complementa con las vialidades municipales que generan una conectividad mucho más local para permear en los principales centros urbanos. En términos generales se tiene una red muy variada y completa de acuerdo con las diferentes clasificaciones viales, aunque existen zonas intermedias que por su ubicación se encuentran aisladas de las principales vialidades de interconexión regional.

2.2.2.2.3 Tipo de pavimento

El tipo de pavimento utilizado en las vías tiene un impacto directo en la durabilidad, capacidad de carga y calidad de la infraestructura vial. En esta sección se describen los diferentes tipos de pavimento presentes en la red de estudio, ya sean rígidos o flexibles, y se analiza su idoneidad según las condiciones de tráfico y el clima de la región. En particular para el transporte público, esta característica tiene una importancia especial debido a que el tipo de pavimento y su estado pueden influir directamente en la velocidad y en el confort de servicio. A continuación, se muestra la clasificación del tipo de pavimento para la red de estudio.

Figura 2-13. Tipos de pavimento



Fuente: Elaboración propia

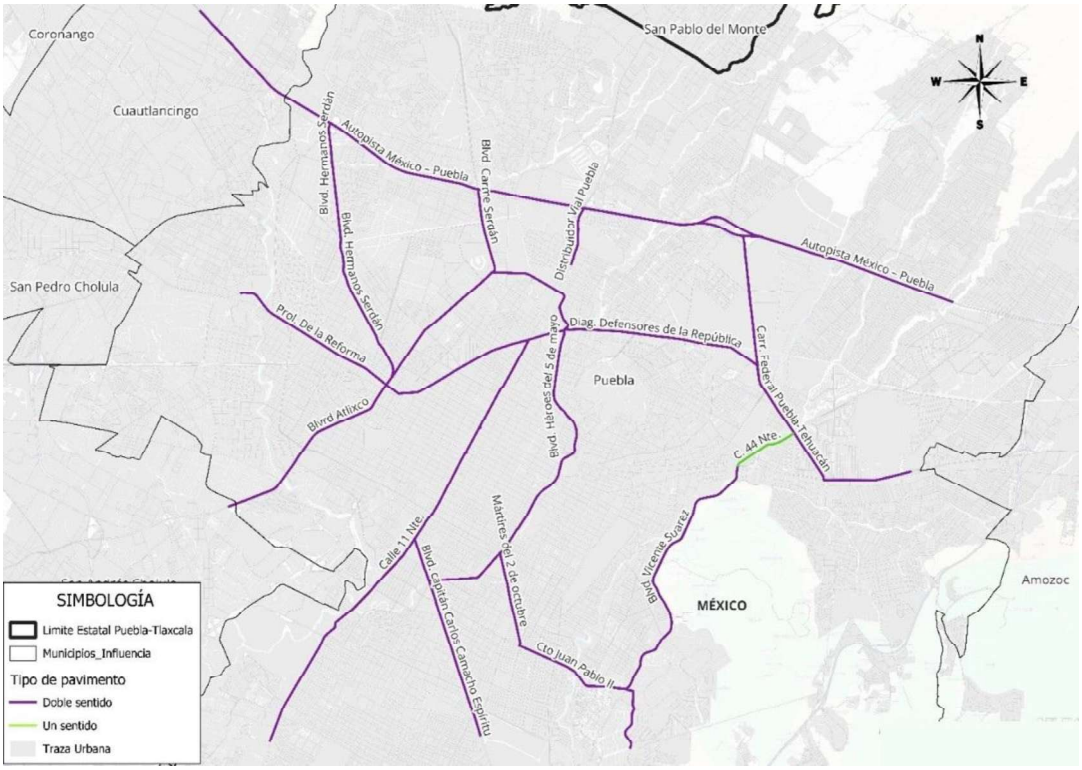
Se observa en la figura anterior que la red vial se encuentra compuesta de manera relativamente equilibrada entre pavimento asfáltico y concreto hidráulico, los cuales se emplean de forma complementaria según las necesidades técnicas, económicas o de mantenimiento. Esta combinación permite responder de manera más flexible a distintos contextos de uso y condiciones de la infraestructura.

Asimismo, se identifican tramos con pavimentos mixtos, donde una base de concreto hidráulico ha sido intervenida con capas de concreto asfáltico para cubrir daños puntuales. Esta práctica, si bien funcional, puede generar superficies irregulares que afectan la homogeneidad del rodamiento, influyendo potencialmente en la velocidad de circulación del transporte público.

2.2.2.2.4 Sentidos de circulación

El número de sentidos de circulación en una vía es un factor determinante para su capacidad y flujo vehicular. En esta sección se describe cuántos sentidos de circulación existen en cada vía de la red de estudio, ya sea de un solo sentido o de doble sentido. Esta información es fundamental para evaluar la capacidad de las vías y la fluidez del tráfico en la zona, y con ello conocer cuáles son las condiciones de conectividad que hay para el transporte público.

Figura 2-14. Número de sentidos de circulación



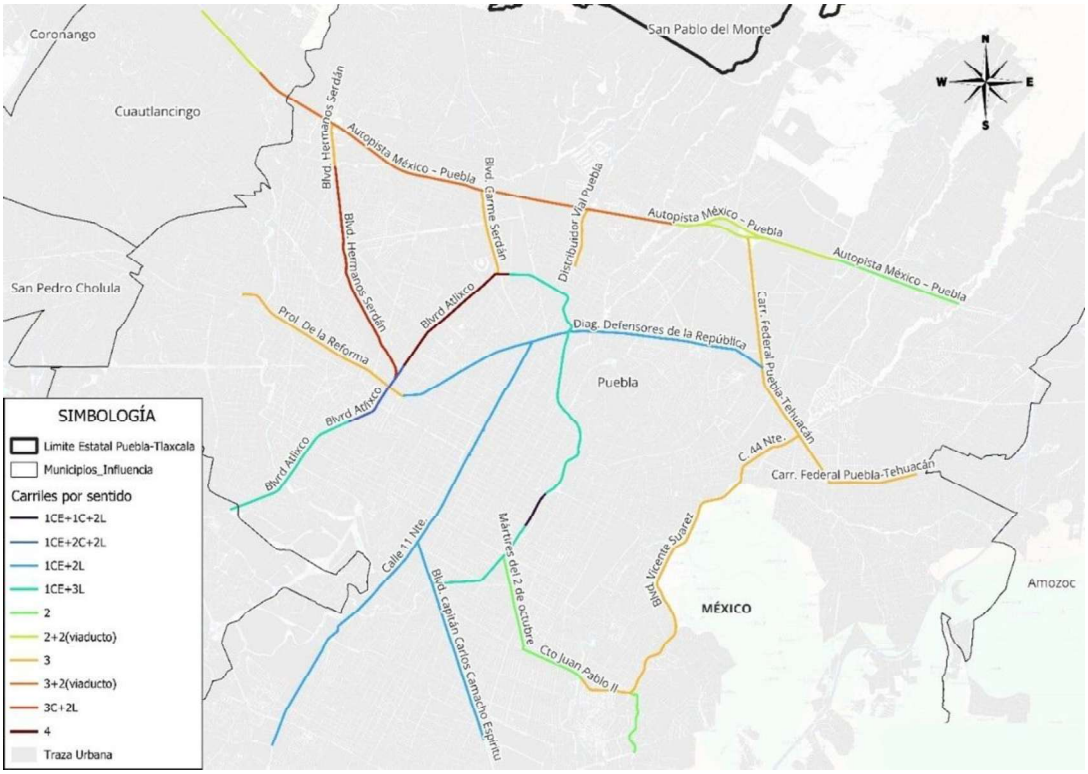
Fuente: Elaboración propia

La mayor parte de las vialidades analizadas cuentan con dos sentidos de circulación, lo cual significa que la permeabilidad y conectividad en la zona es alta, lo cual beneficia a las rutas de transporte que tienen que permear en zonas o localidades de difícil accesibilidad.

2.2.2.2.5 Número de carriles

El número de carriles por vía es una característica clave que afecta la capacidad de la infraestructura vial. Este apartado se dedica a identificar y clasificar las vías según el número de carriles que poseen, lo que influye directamente en la cantidad de vehículos que pueden transitar de manera simultánea y esto puede afectar directamente los tiempos de recorrido de las rutas de transporte público. A continuación, se muestra dicho análisis.

Figura 2-15. Número de carriles por sentido de circulación



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la figura anterior se puede observar que la mayor parte de las vialidades disponen de 2 carriles de circulación por sentido, aunque existe una amplia gama de configuraciones de carriles que va de acuerdo con las necesidades de tránsito de cada vialidad y cada tramo.

2.2.2.2.6 Secciones tipo

Las secciones tipo describen el perfil transversal de las vías, incluyendo el ancho de la calzada, aceras, carriles para vehículos, y otros elementos que componen la infraestructura vial. En esta sección se detallan las secciones típicas de las diferentes vías en la red de estudio, proporcionando las características principales de su diseño y funcionalidad. Este análisis es esencial para evaluar la configuración de las vialidades y su posible modificación para una optimización de las rutas de transporte público en la zona.

En la sección 1, se analiza la Pról. De la Reforma, que presenta un ancho total de aproximadamente 31,8 m. Esta vialidad está diseñada con una configuración de tres carriles por sentido, cada uno con un ancho de 3,4 metros, lo que permite la circulación de vehículos ligeros y medianos. A ambos lados de la calzada, se disponen senderos peatonales de 3,7 metros de ancho en promedio, lo que proporciona un acceso adecuado para los peatones y mejora la seguridad peatonal. En el centro, un separador ajardinado de 4 m que actúa como barrera física entre flujos opuestos

La capa de rodadura está compuesta por asfalto, lo que garantiza un adecuado coeficiente de fricción y un comportamiento aceptable en condiciones climáticas variables. Sin embargo, es importante

señalar que la falta de ciclovías y de señalización específica para carriles exclusivos de transporte público limita la capacidad de la vía para atender a un mayor número de usuarios en modos de transporte alternativos.

Figura 2-16. Sección 1 Prol. De la Reforma

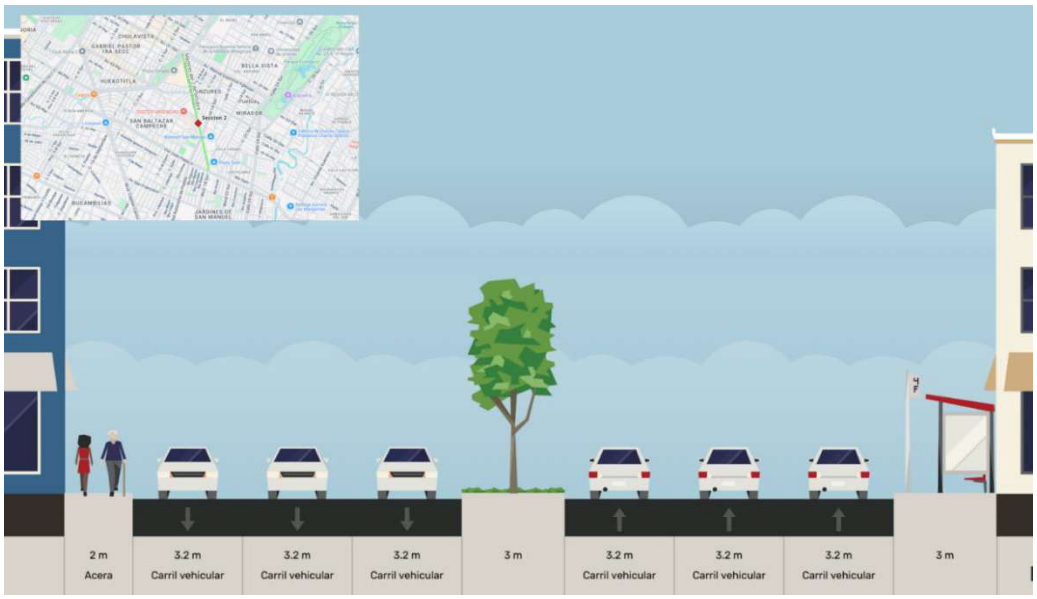


Fuente: Elaboración propia

En la Sección 2, correspondiente a la vialidad Mártires del 2 de octubre, la vía cuenta con un ancho total aproximado de 27,2 metros. Se compone de tres carriles por sentido, cada uno de 3,2 metros de ancho, separados por un camellón central de 3 metros con vegetación. El pavimento es asfáltico, lo que proporciona un buen coeficiente de fricción y un desempeño adecuado ante diferentes condiciones climáticas.

En los extremos se ubican franjas peatonales: una acera de 2 metros en el costado izquierdo y, en el derecho, una franja de 3 metros que funciona como parada de buses. Aunque la sección es eficiente para el tránsito vehicular, la ausencia de infraestructura para transporte alternativo, como ciclovías o carriles exclusivos, limita su funcionalidad en términos de movilidad integral.

Figura 2-17. Sección 2 Mártires del 2 de octubre

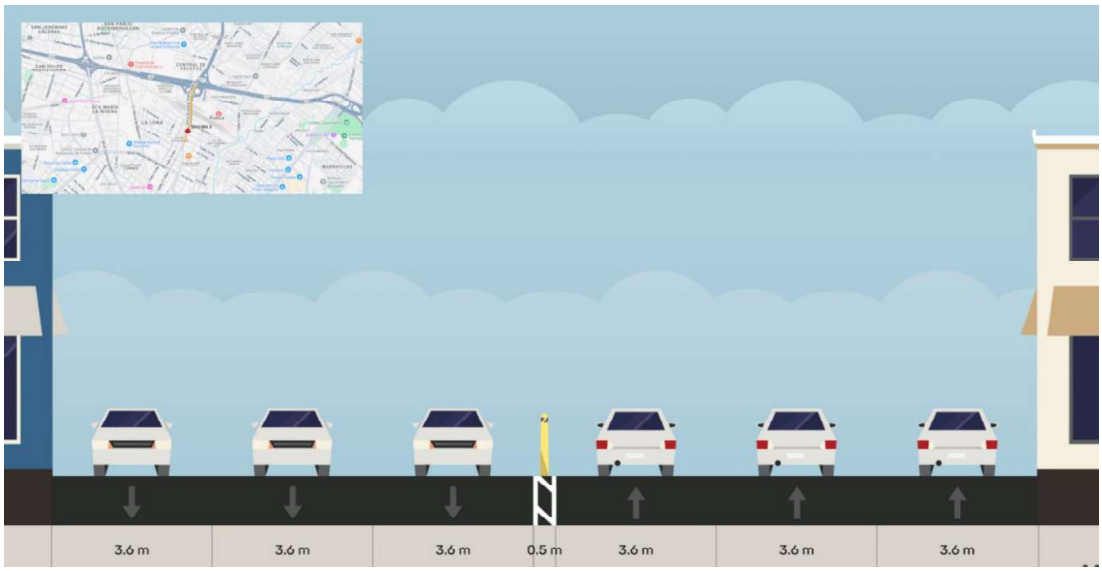


Fuente: Elaboración propia

En la Sección 3 Distribuidor Vial Puebla, correspondiente a una vialidad principal que funciona como viaducto elevado, se observa una configuración con un ancho total aproximado de 22,1 metros. Está compuesta por tres carriles por sentido, cada uno de 3,6 metros de ancho, separados por una franja central de 0,5 metros, lo que permite una circulación continua de vehículos ligeros y pesados a velocidad alta.

Dado que se trata de un viaducto, no se dispone de aceras ni pasos peatonales, ya que su diseño está orientado exclusivamente al tránsito vehicular. La superficie de rodadura es de pavimento asfáltico, lo que garantiza un buen desempeño frente a diferentes condiciones climáticas y asegura una fricción adecuada para la seguridad del tránsito. La configuración favorece la fluidez vehicular, aunque su exclusividad para automotores limita la integración con otros modos de transporte.

Figura 2-18. Sección 3 Distribuidor Vial Puebla



Fuente: Elaboración propia

En la Sección 4, correspondiente a la Diagonal Defensores de la República, la vía presenta un diseño mixto con un ancho total de aproximadamente 26 metros. Está compuesta por dos carriles vehiculares por sentido de 3,2 metros cada uno, y un carril exclusivo para transporte público por sentido con un ancho de 3,8 metros. Estos últimos se encuentran pavimentados con concreto hidráulico, mientras que los carriles restantes, destinados al tránsito vehicular general, utilizan pavimento asfáltico.

La sección incluye aceras laterales de 1,8 metros en ambos extremos y un camellón central de 2 metros con vegetación, que funciona como separador físico entre sentidos. Esta configuración favorece la operación del transporte público de alta capacidad, mejora la durabilidad estructural en los carriles más exigidos, y mantiene buenas condiciones de circulación para el resto de los vehículos.

Figura 2-19. Sección 4 Diag. Defensores de la República

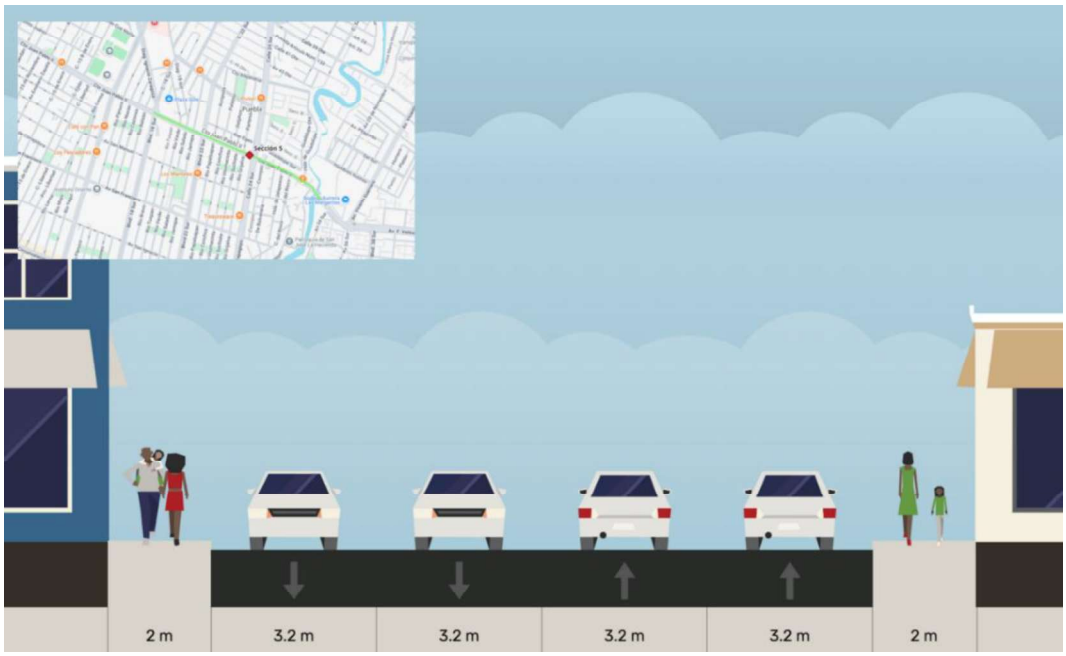


Fuente: Elaboración propia

En la Sección 5, correspondiente al Cto. Juan Pablo II, la vía cuenta con un ancho total aproximado de 16,8 metros. Está conformada por cuatro carriles vehiculares (dos por sentido), cada uno de 3,2 metros de ancho, lo que permite una circulación fluida para vehículos ligeros y medianos.

A ambos lados de la calzada se encuentran aceras de 2 metros de ancho, que proporcionan un espacio adecuado para el tránsito peatonal. La capa de rodadura está compuesta por pavimento asfáltico, lo que garantiza una buena adherencia y comportamiento adecuado ante condiciones climáticas variables. Aunque funcional para el tránsito motorizado, la vía carece de infraestructura dedicada a modos de transporte alternativo como ciclovías o transporte público prioritario.

Figura 2-20. Sección 5 Cto Juan Pablo II



Fuente: Elaboración propia

En la Sección 6, correspondiente a la Carretera Federal Puebla–Tehuacán, la vía presenta una configuración amplia con un ancho total de aproximadamente 29,6 metros. Está compuesta por tres carriles por sentido, cada uno de 3,2 metros, separados por un camellón central de 7 metros, el cual incluye vegetación y espacio suficiente para maniobras de giro.

En los costados se ubican aceras de 1,7 metros de ancho, que ofrecen un paso básico para peatones. La superficie de rodadura es de pavimento asfáltico, adecuado para soportar tráfico vehicular constante, incluyendo vehículos pesados. Esta sección es funcional para el tránsito motorizado, aunque carece de infraestructura específica para otros modos de transporte como ciclovías o transporte público preferencial.

Figura 2-21. Sección 6 Carr. Federal Puebla-Tehuacán



Fuente: Elaboración propia

En la Sección 7, correspondiente a la Calle 11 Norte, la vía presenta una configuración con un ancho total de aproximadamente 24,4 metros. Está compuesta por dos carriles por sentido para vehículos particulares de 3,2 metros cada uno, y un carril exclusivo para transporte público por sentido con 3,8 metros de ancho. Todos los carriles están construidos con losas de concreto hidráulico, lo que proporciona una mayor durabilidad ante cargas pesadas y uso intensivo.

A ambos lados de la vía se encuentran aceras de 1,5 metros de ancho, que permiten el tránsito peatonal. La sección está diseñada para dar prioridad al transporte público y soportar un alto flujo vehicular, aunque el espacio limitado para peatones y la ausencia de infraestructura ciclista reducen la accesibilidad para otros modos de transporte.

Figura 2-22. Sección 7 Calle 11 Nte.



Fuente: Elaboración propia

En la Sección 8, correspondiente al Blvrd Atlixco, la vía cuenta con un ancho total aproximado de 32,3 metros. Está conformada por ocho carriles vehiculares, cuatro por sentido, cada uno con un ancho de 3,2 metros, todos construidos con losas de concreto hidráulico, lo que garantiza alta resistencia y durabilidad ante el tránsito continuo y pesado.

En los extremos se encuentran franjas peatonales de 2,7 metros y 1,5 metros, siendo la primera utilizada también como parada de buses. El diseño está claramente orientado a facilitar el flujo vehicular, incluyendo el transporte público, aunque presenta limitaciones en cuanto al espacio peatonal y modos de transporte alternativos.

Figura 2-23 Sección 8 Blvrd Atlixco



Fuente: Elaboración propia

En la Sección 9, correspondiente al Blvrd. Héroes del 5 de mayo, la vía presenta una configuración de 31,4 metros de ancho total, distribuida en seis carriles vehiculares: dos exclusivos para transporte público (uno por sentido) de 3,8 metros, y seis carriles generales de 3,2 metros cada uno. Todos los carriles están construidos con losas de concreto hidráulico, lo que les otorga una alta resistencia estructural, ideal para el tránsito mixto de vehículos particulares y buses.

En los extremos se disponen aceras de 1,8 metros de ancho, que permiten el paso peatonal, aunque con espacio limitado. El diseño está claramente enfocado en priorizar la circulación vehicular y el transporte público masivo, sin incluir elementos destinados a otros modos como la bicicleta.

Figura 2-24 Sección 9 Blvrd. Héroes del 5 de mayo



Fuente: Elaboración propia

En la Sección 10, correspondiente a la Autopista México – Puebla, se observa una vía de alta capacidad con un ancho total de aproximadamente 20,2 metros, distribuida en cuatro carriles vehiculares de 3,2 metros por sentido, separados por un camellón central de 2 metros. Todos los carriles están construidos en pavimento asfáltico, ideal para velocidades altas y tránsito constante.

Esta sección no cuenta con aceras continuas ni con infraestructura peatonal, ya que está diseñada como autopista principal, sin accesibilidad peatonal directa. La presencia de franjas laterales y elementos de confinamiento indica que se trata de una vía de acceso controlado, orientada exclusivamente al tránsito motorizado de mediana y larga distancia.

Figura 2-25 Sección 10 Autopista México – Puebla



Fuente: Elaboración propia

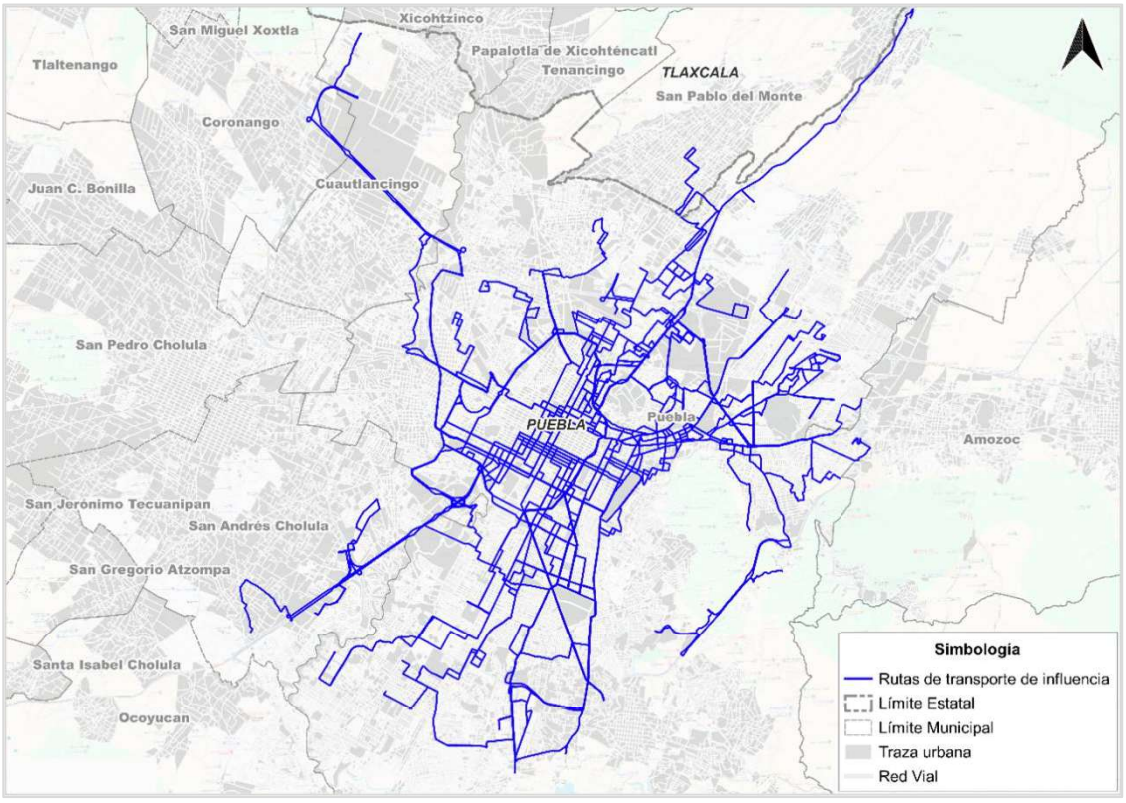
2.2.2.3 Oferta de transporte público

El inventario de rutas de transporte público en la zona de estudio se elaboró con base en información recabada en campo, así como en fuentes documentales oficiales proporcionadas por los gobiernos estatal y municipal de Puebla.

2.2.2.3.1 Cobertura y operación de las rutas de transporte

A partir del proceso de verificación se integró un inventario de rutas de transporte público. La siguiente figura muestra la cobertura espacial de dichas rutas.

Figura 2-26. Cobertura actual de rutas con influencia directa en la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia

El procesamiento de los trabajos de campo realizados en las diferentes rutas de transporte dio como resultado la estimación de indicadores de operación para la hora de máxima demanda, que posteriormente serían incorporados como insumo para la calibración del modelo de transporte y la asignación de las alternativas en la situación con proyecto.

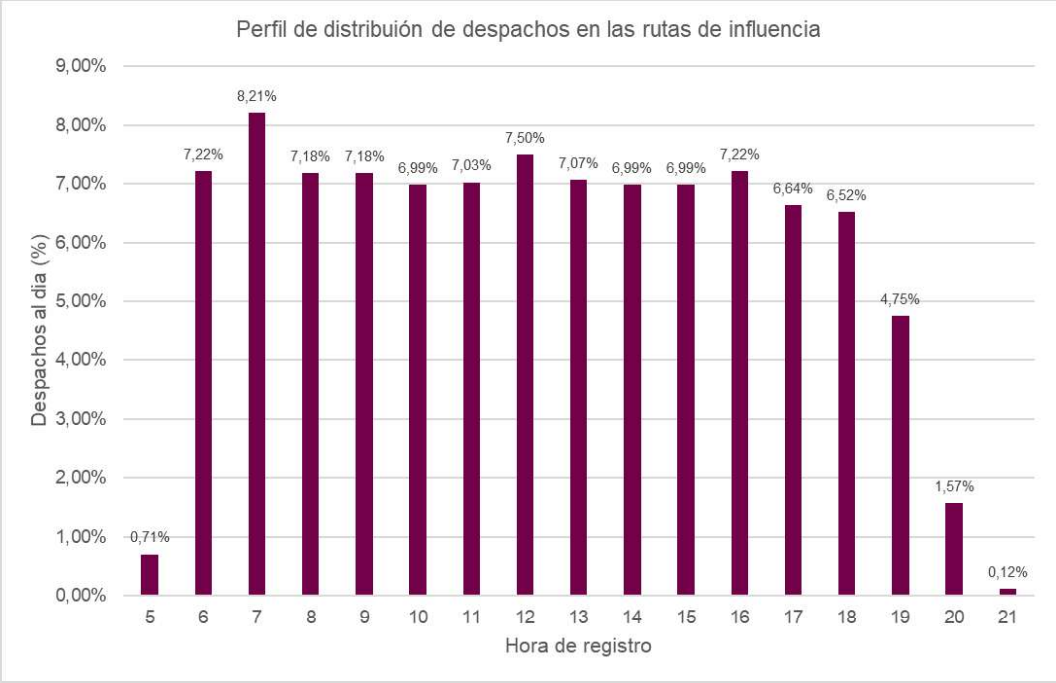
2.2.2.3.2 Perfil de distribución de los despachos

Se observa que el mayor número de despachos se concentra en las horas de la mañana, particularmente entre las 6:00 y las 12:00, con un comportamiento sostenido en la distribución. El pico máximo de despachos se presenta a las 7:00 horas, alcanzando el 8,21% del total de despachos diarios.

A lo largo del día, la distribución horaria se mantiene relativamente estable entre las 6:00 y las 16:00 horas, con porcentajes que oscilan entre 6,52% y 8,21%, lo que indica una oferta constante en ese intervalo. El promedio horario durante estas horas es cercano al 7% de los despachos diarios, sugiriendo una programación balanceada en las rutas.

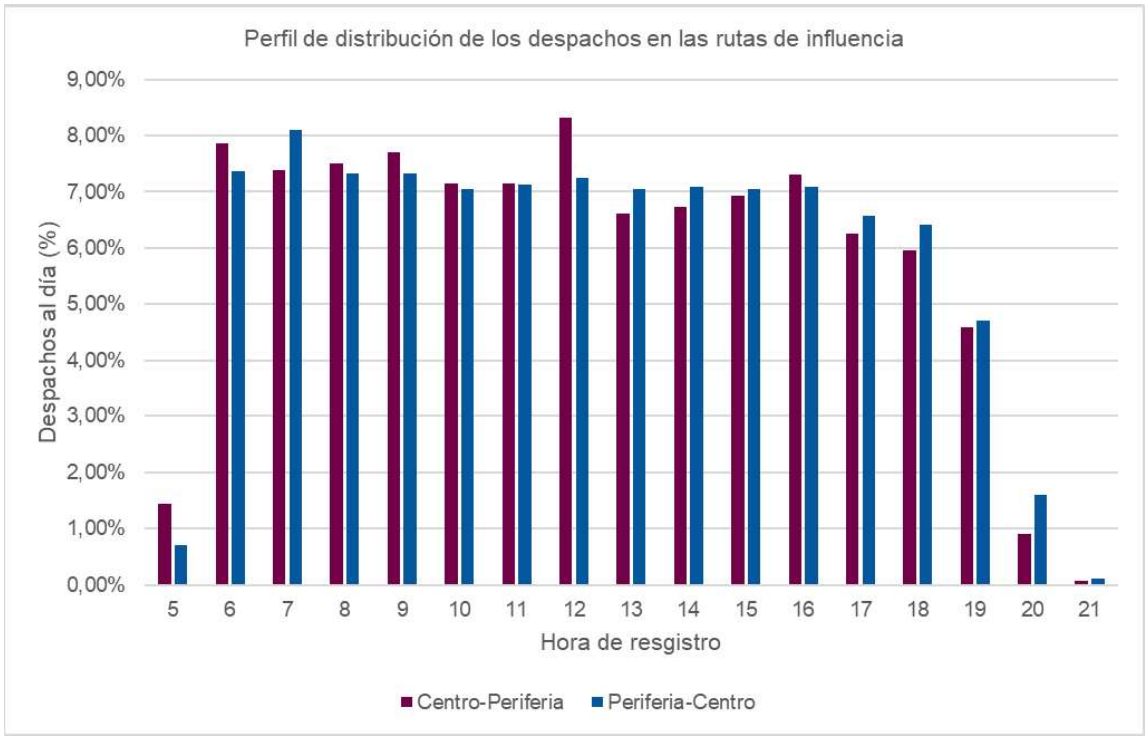
En horas de la tarde, la oferta comienza a disminuir progresivamente a partir de las 17:00 horas (6,64%), presentando un descenso más marcado después de las 18:00 (6,52%) y 19:00 (4,75%). La menor cantidad de despachos se registra en las horas extremas: a las 5:00 con apenas el 0,71%, y a las 21:00 con solo el 0,12% del total de despachos diarios.

Figura 2-27. Perfil de distribución de los despachos en las rutas de influencia



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-28. Perfil de distribución de los despachos en las rutas de influencia



Fuente: Elaboración propia

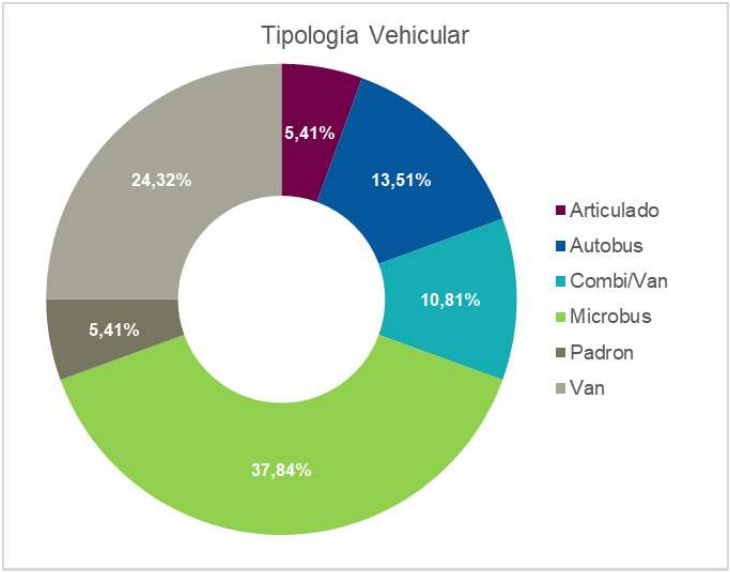
2.2.2.3.3 Tipología vehicular

Se identificó la operación de distintos tipos de vehículos en las rutas analizadas, predominando el uso de microbuses, los cuales representan el 37,84% del parque vehicular registrado. Esta cifra sugiere que gran parte de la oferta de transporte se presta mediante unidades de mediana capacidad, lo que puede relacionarse con características de la demanda y la infraestructura vial disponible.

En segundo lugar, se ubican las van, con una participación del 24,32%, utilizadas generalmente para trayectos más cortos o zonas con menor demanda, debido a su menor capacidad y mayor maniobrabilidad. Le siguen los autobuses con el 13,51% de representación, indicando un uso moderado de unidades de mayor capacidad, probablemente destinadas a rutas troncales o de mayor volumen de usuarios.

Las combis o van tipo combi representan el 10,81%, lo que refuerza el predominio de unidades ligeras en el sistema. Por su parte, tanto los vehículos padrones como los articulados (tipologías más robustas) tienen una participación marginal del 5,41% cada uno.

Figura 2-29. Tipología vehicular identificada en las rutas de influencia



Fuente: Elaboración propia

2.2.2.3.4 Líneas de deseo

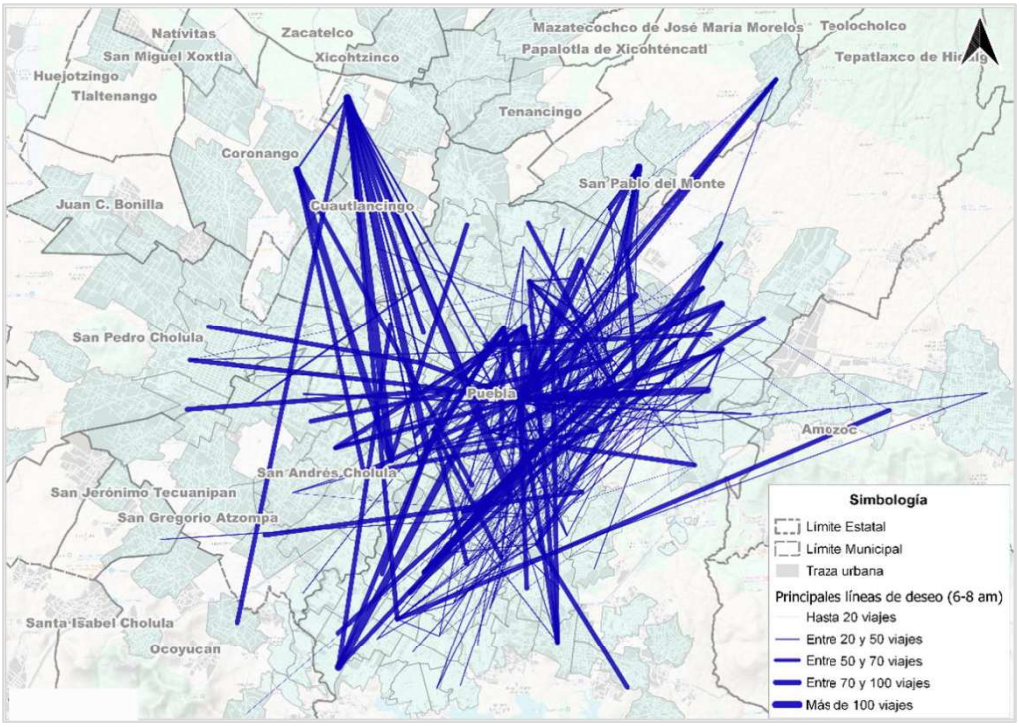
La construcción de las matrices de viaje se dio a partir de información de campo y del BIG DATA, que permitieron identificar los viajes actuales de pasajeros que se desplazan en el área de estudio en modo público. Se identifican polos de atracción de alta afluencia como el Estadio Hermanos Serdán, Parque Puebla y centros comerciales como Angelópolis, Explanada Puebla, Galerías Serdán y Solesta, además de importantes centros generadores de viajes como lo son la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) e incluyendo además zonas densamente pobladas como Cerro Amalucan y Bosques de San Sebastián.

En cuanto a la definición del período de modelación, se determina como consecuencia del comportamiento de la demanda sobre la red vial de influencia, tomando como periodo de modelación

de 06:00:00 – 07:59:59 hrs, horario en donde se desplaza la mayor cantidad de pasajeros en el área. Considerando este periodo de modelación, se procedió a generar las líneas de deseo, que representan gráficamente la movilidad de los usuarios dentro de las diferentes áreas de la zona metropolitana.

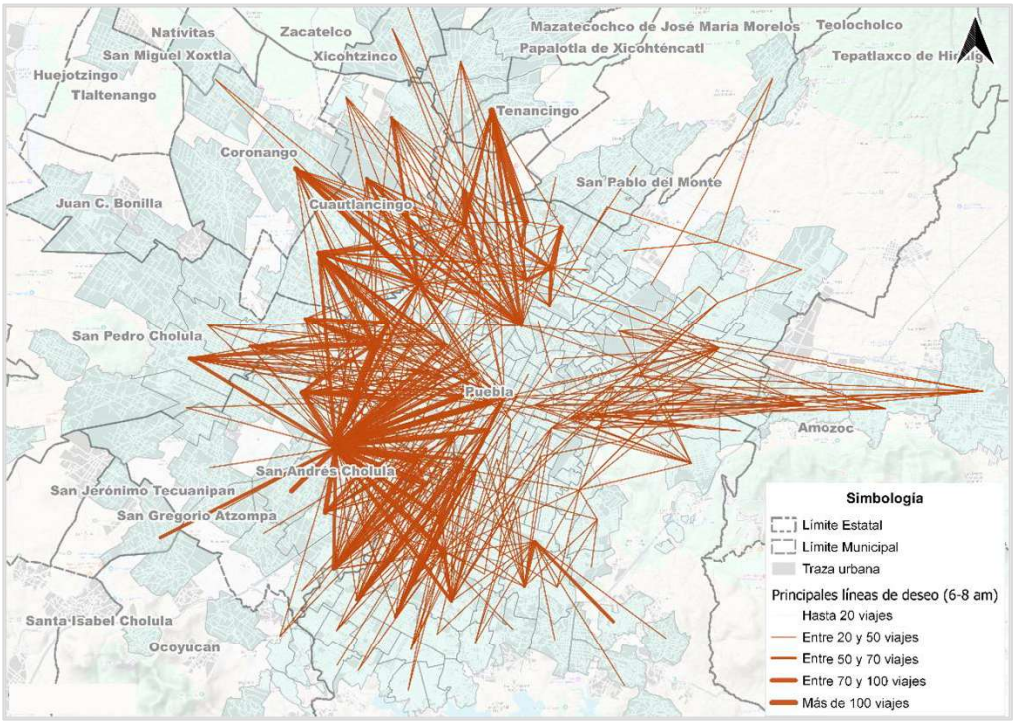
Las figuras siguientes muestran únicamente las principales líneas de deseo para el periodo de máxima demanda considerando la expansión de la muestra de las encuestas origen-destino aplicadas en las rutas de transporte de la zona de influencia y la información extraída a partir de Big Data para el mismo periodo de tiempo.

Figura 2-30. Principales líneas de deseo en periodo pico am 06:00-08:00 (Encuesta OD)



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-31. Principales líneas de deseo en periodo pico am 06:00-08:00 (Big Data)



Fuente: Elaboración propia

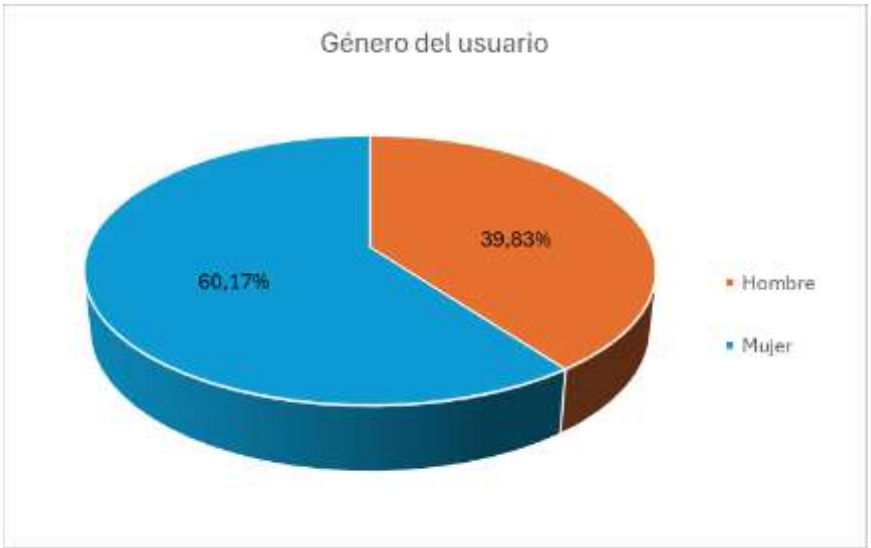
2.2.2.3.5 Análisis de la encuesta origen-destino en transporte público

La encuesta origen-destino a usuarios de transporte público se llevado a cabo entre el 20 y 23 de mayo de 2025, a bordo de las rutas que tienen influencia en la zona de estudio, así como en puntos de alta concentración de pasajeros. Durante este periodo, se aplicaron un total de 1,811 encuestas. En los apartados siguientes se desarrolla la estadística descriptiva de los resultados asociados a conocer la participación por género, nivel de ingreso, rango de gato destinado al transporte, ocupación del encuestado, motivo y frecuencia de viaje; así como otros elementos asociados a la percepción de la seguridad.

a. Género del usuario

El análisis inicial de las variables corresponde a aquellas que caracterizan al usuario, en este caso, el 60,17% de los encuestados corresponde a mujeres y el 39,83% corresponde al género masculino, como se muestra en la figura siguiente.

Figura 2-32. Género del usuario de transporte público

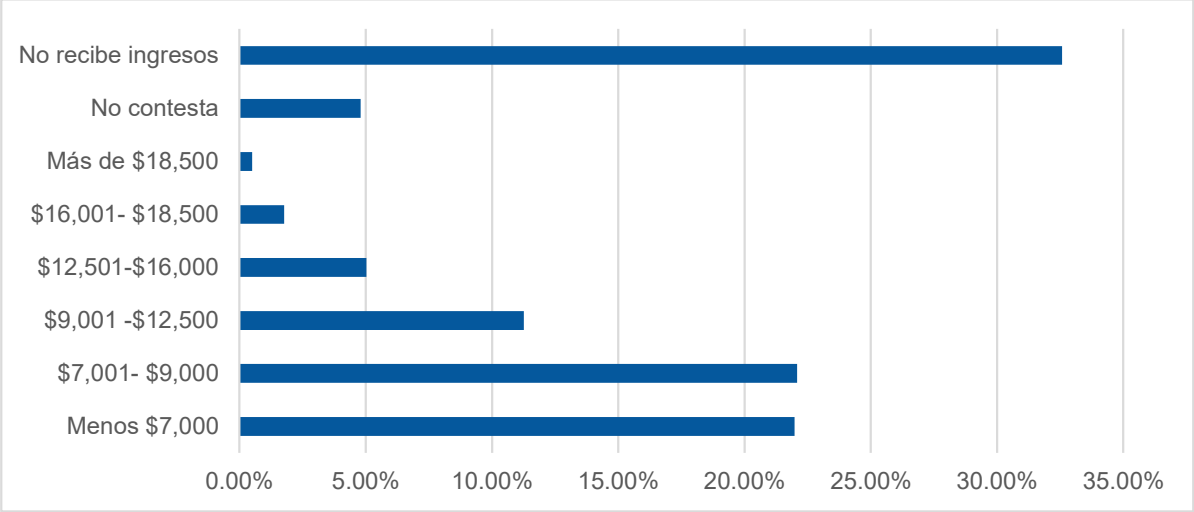


Fuente: Elaboración propia

b. Rango de ingreso

El 32,21% de los usuarios no recibe ingresos, lo que representa el grupo más amplio dentro de la distribución. Le sigue el grupo con ingresos entre $7,001 y $9,000, con un 22,41%, lo que indica que una parte importante de los usuarios se encuentra en un rango de ingresos bajo a medio-bajo. A este grupo le sigue el de quienes ganan menos de $7,000, con un 21,85%, lo que reafirma la fuerte presencia de sectores con ingresos bajos entre los usuarios del sistema. Solo el 11,32% percibe entre $9,001 y $12,500, y un 5,10% se ubica en el rango de $12,501 a $16,000. Los porcentajes disminuyen progresivamente en los rangos más altos: el 1,74% gana entre $16,001 y $18,500, mientras que solo el 0,50% supera los $18,500. Además, el 4,82% no respondió a la pregunta sobre ingresos.

Figura 2-33. Rango de ingreso del usuario de transporte público ($)



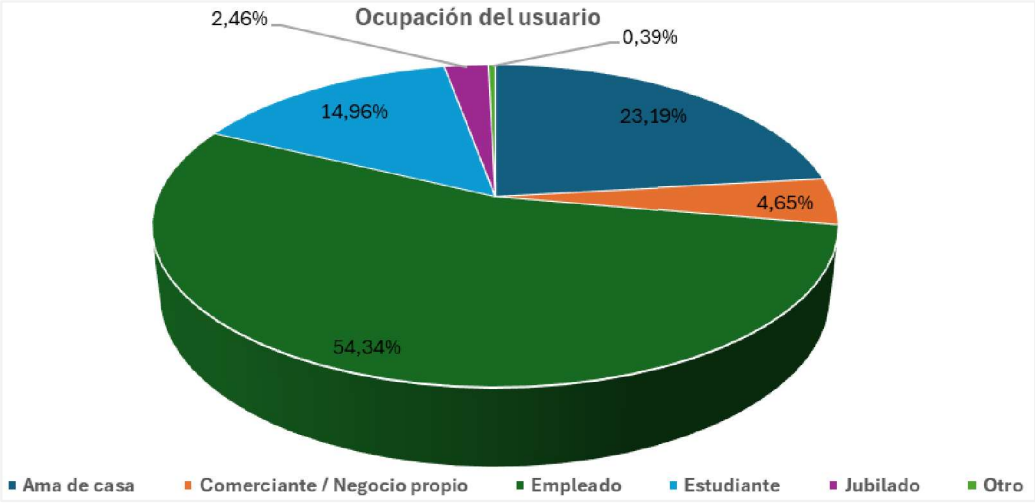
Fuente: Elaboración propia

c. Ocupación del encuestado

En cuanto a la ocupación o actividad de los encuestados, la mayoría se identificó como empleados (54.34%), lo que confirma la relevancia del mercado laboral, especialmente durante las horas pico. Por otro lado, las personas dedicadas al hogar representaron el 23,19 % de los usuarios, lo que indica una proporción significativa del uso del transporte público. Esto resalta la importancia de contar con rutas accesibles y seguras en distintos horarios del día.

El tercer segmento más representativo es el de los estudiantes, que representan el 14,96 % de la muestra. El resto de la distribución se concentra en actividades como el comercio, las personas jubiladas y otras. La siguiente figura integra la distribución.

Figura 2-34. Ocupación o actividad del encuestado de transporte público



Fuente: Elaboración propia

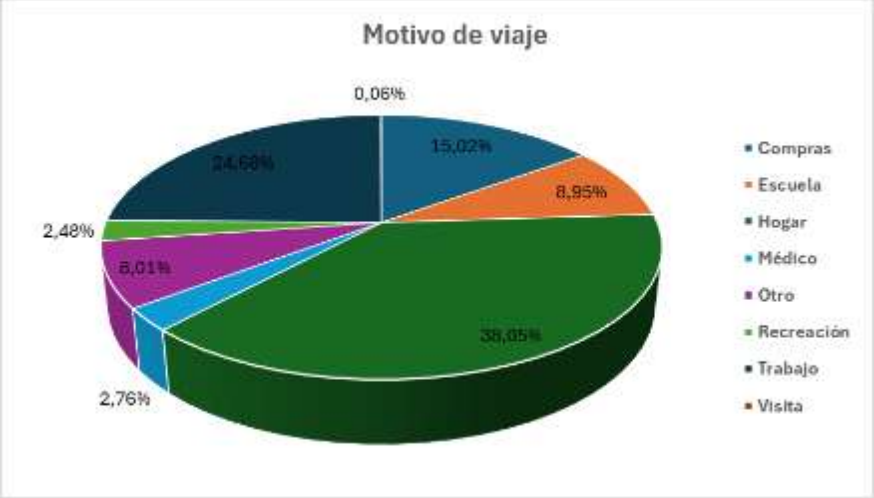
En cuanto a la ocupación o actividad que realizan los encuestados, la mayoría de los usuarios del transporte público son estudiantes, con un 54.34%, lo que indica que este medio de transporte es fundamental para garantizar el acceso a la educación. Este alto porcentaje evidencia la necesidad de mantener tarifas preferenciales y una cobertura adecuada en horarios escolares. Por su parte, los empleados representan el 23.19%, lo que confirma la relevancia del sistema como un eje clave en la movilidad laboral, especialmente en horas pico, donde la eficiencia y la capacidad del servicio son determinantes para este segmento.

d. Motivo de viaje

La gráfica sobre el motivo de viaje de los usuarios del transporte público revela que el principal propósito de desplazamiento es el retorno al hogar, con un 38.05% del total. Esto indica que una parte importante de los viajes registrados corresponde al regreso tras realizar otras actividades como trabajo, estudio o compras. En segundo lugar, se encuentra el motivo laboral, con un 24.68%, lo que reafirma el papel central del transporte público en la movilidad de trabajadores y la necesidad de contar con un servicio eficiente y puntual, especialmente en horas pico.

Los viajes con destino a compras representan un 15.02%, lo que evidencia que muchas personas utilizan el transporte público para acceder a centros comerciales, supermercados y otros puntos de abastecimiento. Le sigue el motivo escuela, con un 8.95%, reflejando que el sistema también es fundamental para estudiantes de distintos niveles educativos. El 8.01% de los encuestados declaró usar el transporte por otros motivos, lo que puede incluir actividades personales, trámites o acompañamientos. En menor proporción, se encuentran los viajes por razones médicas (2.76%), recreativas (2.48%) y de visita (0.06%)

Figura 2-35. Motivo de viaje en transporte público



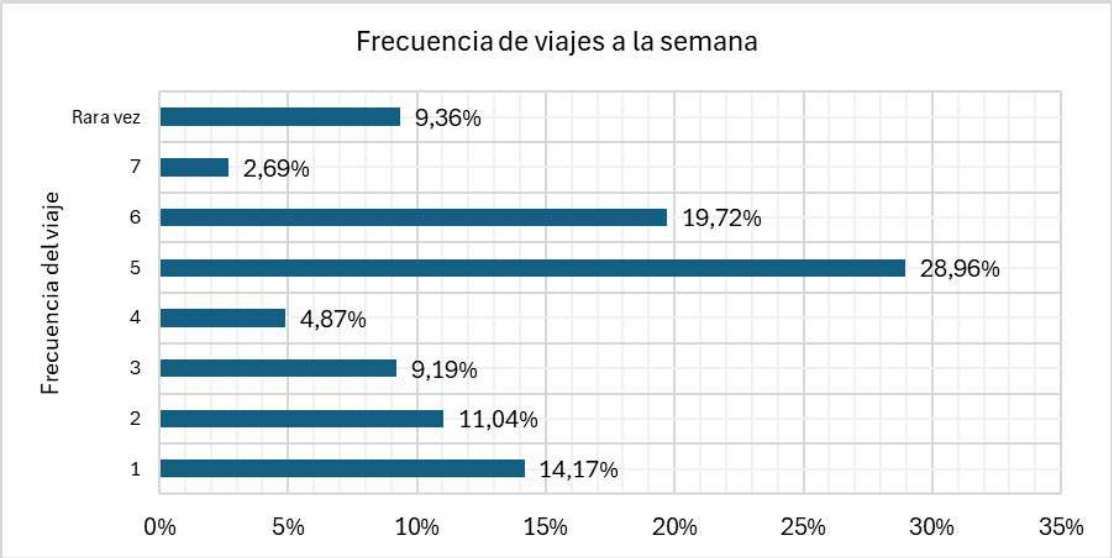
Fuente: Elaboración propia

e. Frecuencia del viaje

La gráfica muestra que la mayor parte de los usuarios del transporte público viaja con alta frecuencia, siendo el grupo que se desplaza 5 veces por semana el más representativo, con un 28.96%. Le siguen quienes lo hacen 6 veces por semana (19.72%) y una vez por semana (14.17%), lo que sugiere una combinación entre usuarios frecuentes y ocasionales. También destacan quienes viajan 2 veces

(11.04%) y 3 veces (9.19%) a la semana, mientras que el 9.36% lo hace rara vez, y solo un 2.69% lo utiliza diariamente (7 veces).

Figura 2-36. Frecuencia del viaje en transporte público

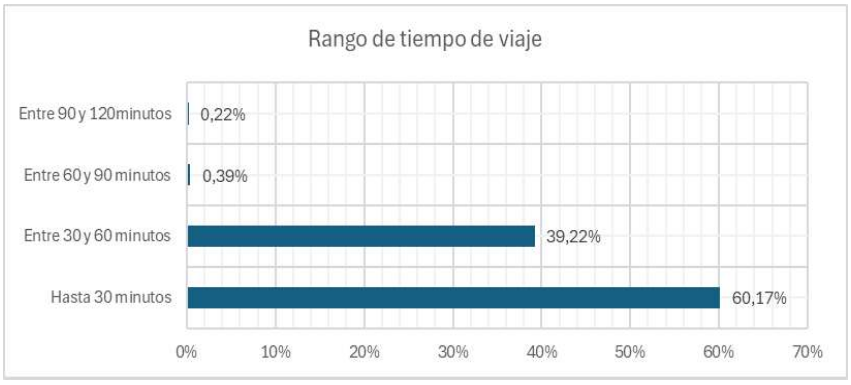


Fuente: Elaboración propia

f. Tiempo de viaje

Conforme a lo reportado por los usuarios entrevistados, se obtiene la gráfica, que indica que la mayoría de los usuarios del transporte público realizan trayectos cortos: el 60,17% viaja en menos de 30 minutos y el 39,22% entre 30 y 60 minutos, lo que sugiere una buena cobertura del sistema para recorridos locales. Solo un 0,61% realiza viajes de más de una hora, lo que indica que los trayectos largos son poco frecuentes y podrían estar asociados a zonas periféricas o a áreas con baja conectividad. En general, el transporte público se utiliza principalmente para desplazamientos de corta y media duración.

Figura 2-37 Tiempo total de viaje en transporte público

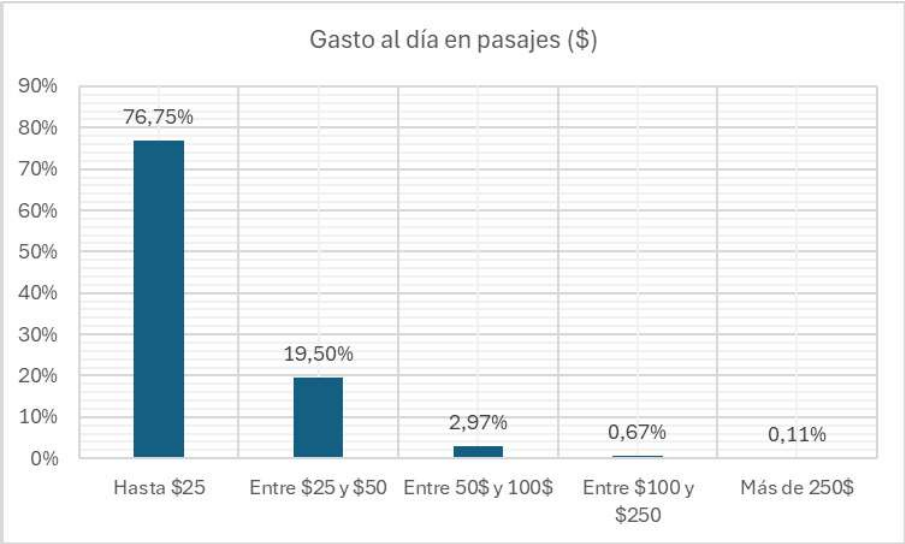


Fuente: Elaboración propia

g. Costo del viaje

La gráfica muestra que el 76,75% de los usuarios gastan hasta $25 diarios en pasajes, siendo este el rango más frecuente. Le sigue el grupo que gasta entre $25 y $50, con un 19,50%. En menor proporción, el 2,97% de los encuestados reporta un gasto diario de entre $50 y $100, mientras que el 0,67% se ubica en el rango de $100 a $250. Finalmente, solo el 0,11% de los usuarios gasta más de $250 al día. El costo promedio de gasto en pasaje al día es de $20.63

Figura 2-38. Gasto en pasaje al día en transporte público



Fuente: Elaboración propia

h. Percepción de seguridad

Como parte del diseño de la encuesta se incluyeron preguntas referentes a la seguridad en el transporte público, señalando si el usuario ha sido víctima de algún tipo de delito durante sus viajes en la zona de estudio.

Incidentes de seguridad en los últimos 6 meses

El 93,28% de los usuarios encuestados afirmó no haber sufrido ningún incidente en el transporte público, mientras que el 8,63% reportó haber experimentado o presenciado algún delito a bordo de las unidades. Dentro de estos incidentes, el más frecuente es el asalto a mano armada, en el cual los pasajeros fueron despojados de pertenencias como celulares, carteras y mochilas. Además, un segmento de mujeres encuestadas indicó haber sido víctima de acoso, ya sea verbal o físico.

Tipo de acoso experimentado en el transporte público

Entre los usuarios que reportaron haber sido víctimas de acoso en el transporte público, se indagó sobre la tipología del delito. Alrededor del 34,17% indicó haber sufrido miradas inapropiadas, mientras que el 45% fue víctima de contacto físico sin consentimiento. Otro segmento significativo recibió insultos 9,17% y el 9,17% experimentó comentarios de carácter sexual. Cabe destacar que esta problemática afecta principalmente a las mujeres; sin embargo, otros grupos, como personas con

discapacidad y miembros de la comunidad LGBT, también son vulnerables al acoso. La gráfica siguiente muestra la distribución completa.

Figura 2-39. Tipo de acoso experimentado en el transporte público



Fuente: Elaboración propia

2.2.3 Análisis de preferencias declaradas y estimación del valor del tiempo y disposicion a pago

Los modelos de elección modal o de captación son un insumo del modelo de transporte, con los cuales se estima el valor monetario que los usuarios otorgan a su tiempo de viaje en un sistema de transporte (VOT por sus siglas en inglés). Es así como se solicita la opinión de diversos habitantes mayores de edad a que den su percepción de este tema, lo cual se realiza mediante encuestas de preferencia declarada.

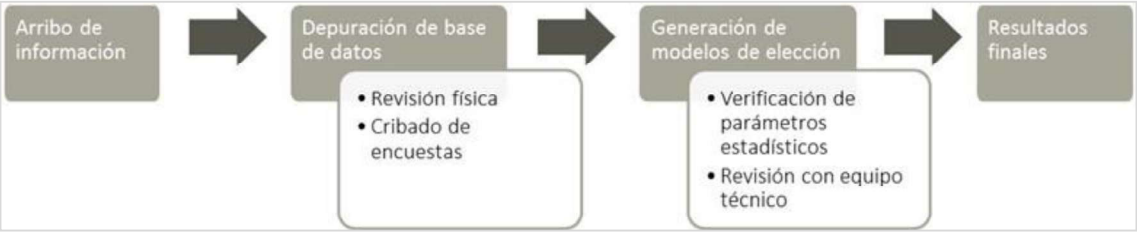
El objetivo de las encuestas de preferencia declarada es el recabar la información necesaria para conocer las preferencias de los usuarios ante la incorporación de un nuevo sistema. Estas preferencias coadyuvarán al desarrollo de los modelos de elección discreta que serán empleados en el modelo de transporte.

La obtención de los modelos de elección se realiza a través de la búsqueda de las relaciones entre las características de los usuarios, la elección que realizan y los atributos de la opción. Para ello, se obtiene un modelo de regresión logística (fórmula o función matemática tipo logit), que permite la estimación de las probabilidades de elección entre una y otra opción (camino o ruta).

La encuesta de preferencias declaradas a usuarios de transporte público se llevó a cabo del 22 al 26 de mayo a bordo de las rutas que tienen influencia en la zona de estudio, así como en puntos de alta concentración de pasajeros. Durante este periodo, se aplicó un total de 772 encuestas. Cabe anotar que, de acuerdo con la literatura, el tamaño muestral de una encuesta de preferencia declarada se compone de 75 a 100 encuestas, de modo que se cubre ampliamente el requerimiento muestral.

La metodología para estimar los modelos de elección discreta, de los cuales se obtienen los valores finales del tiempo, se compone de dos etapas: la depuración de la base de datos y la generación de los modelos de elección. El esquema de esta metodología se presenta en la siguiente figura.

Figura 2-40 Metodología de estimación de modelos de elección discreta.



Fuente: Elaboración propia

En la depuración de la base de datos, se lleva a cabo una revisión inicial de la información, verificando el número de encuestas, los usuarios entrevistados y el sector de demanda al que pertenecen. A continuación, se realiza un análisis más detallado para evaluar la calidad de la información, rechazando aquellas encuestas que no cumplieron con los filtros establecidos, aquellas que no cumplían con los estándares de calidad y las respuestas del experimento de preferencia que carecían de coherencia.

La generación de los modelos de elección implica organizar la información para poder ejecutar diversas propuestas. En cada uno de ellos, se verifican los parámetros estadísticos y se estiman los valores del tiempo de viaje a bordo, del tiempo de caminata y del tiempo de espera, así como la consistencia de los resultados. Estos valores son revisados por el equipo de modelación y, de ser necesario, se aprueban como resultados finales.

Para realizar esta estimación, se emplean técnicas estadísticas econométricas, cuyo objetivo es que los valores de los coeficientes de la función de utilidad reproduzcan de la manera más precisa posible las elecciones observadas en una muestra de individuos.

Para la definición del VOT se emplea el concepto de utilidad (“U”). En economía se considera la utilidad como un índice relativo al nivel de satisfacción por el consumo de un bien en particular. En este caso, la utilidad está relacionada con el grado de satisfacción (beneficio) que percibe el usuario al utilizar un camino o trayectoria en particular, para trasladarse de su origen a su destino. Esta elección tiene el supuesto de que el usuario conoce todos los caminos que existen entre su origen y su destino de viaje.

Los modelos desagregados de elección discreta constituyen la metodología utilizada en la estimación de las funciones de los modelos de demanda. El elemento más importante en esta metodología es la utilidad, usualmente representada mediante una combinación lineal del costo, la característica de cada alternativa y las variables socioeconómicas para cada grupo de individuos. Bajo este enfoque, el análisis supone conocer, para cada tipo de individuo, qué variables determinan el nivel de utilidad no aleatoria asociado a cada alternativa discreta. Esto presupone muchas cuestiones relativas a la especificación del modelo: la estructura de decisiones, la distribución de la porción desconocida de la utilidad, la forma de la función de la parte observable, el tipo y forma de variables que deberían ser utilizadas y, el criterio para decidir qué grupo de individuos podrían ser considerados comparables.

En la elección de viaje, la utilidad de una alternativa se escribe de forma lineal de la siguiente manera:

$$\overline{U} = \alpha_i + \beta c_i + \gamma t_i + \ldots \text{+cte.}$$

Donde:

c_i = Costo de viaje en pesos por utilizar la alternativa i

t_i = Tiempo de viaje en minutos por utilizar la alternativa i.

U = Utilidad de la alternativa i (adimensional)

α, β, cte, = Parámetros de calibración por cada estrato.

Utilizando datos apropiados relativos a elecciones de viajes y características individuales, la función anterior puede ser estimada para diferentes grupos de individuos, de los cuales podemos obtener la cantidad de dinero que el individuo está dispuesto a pagar para reducir el tiempo de viaje por una unidad.

Ese Valor Subjetivo del Tiempo de Viaje (VSTV) es calculado como:

$$VSTV = \frac{\partial \overline{U}_i / \partial t_i}{\partial \overline{U}_i / \partial c_i} = \frac{\gamma}{\beta}$$

El cual representa la tasa de sustitución entre el tiempo y el costo para la utilidad constante.

A partir de las funciones de utilidad, se utiliza un modelo logit que definirá la probabilidad de que un individuo elija la alternativa i:

$$Ln\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \alpha\left(T_i - T_j\right) + \beta\left(C_i - C_j\right) + cte$$

ó

$$P_i = \frac{1}{1 + e^{-\lambda\left(\alpha\left(T_i - T_j\right) + \beta\left(C_i - C_j\right) + cte\right)}}$$

Donde:

Pi	=	Probabilidad de elegir la alternativa i.
Ti	=	Tiempo de la alternativa i.
Tj	=	Tiempo de las otras alternativas
Ci, Cj	=	Costo de Cuota o tarifa en las opciones i, j.
Cte	=	Constante.
α, β	=	Parámetros a calibrar.
λ	=	Factor de certidumbre.

Así, a partir de la información obtenida de las encuestas PD, que incluyen alternativas de tiempos y costos, se estimaron los coeficientes de las variables independientes que componen las funciones de utilidad. Esto permite reproducir las respuestas de los usuarios en relación con sus preferencias y representarlas en forma de ecuaciones, con las variables que influyen en su elección.

Los modelos estimados incluyen una estratificación acorde con el modelo de transporte desarrollado, el cual considera una segmentación por tipo de viaje urbano, diferenciando entre viajes por motivos

de trabajo y otros motivos. Estos modelos de elección fueron estimados utilizando el software SPSS, con un nivel de significancia estadística del 95%.

Cada modelo fue estimado con sus propias muestras de pseudo-observaciones, siendo esta muestra depurada suficiente y cumpliendo las recomendaciones de la academia[3]. Las tablas siguientes muestran los resultados de los modelos, en los que se integran los valores del tiempo sin segmentación y los valores por motivo de viaje (trabajo y otros), así como por segmento de viajes cortos y largos.

Tabla 2-5. Valores del tiempo sin segmentación

Variables	Segmento	Motivo		Var	B	E.T.	Wald	Sig.	Exp(B)	VOT ($/min)
Tiempo Total, Costo Total	Largos	Trabajo	Paso 1a	Diferencial de tiempo total	-.117	0.009	176.747	1	.000	**0.48**
				Diferencial de Costo	-.246	0.025	99.608	1	.000	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-6. Valores del tiempo para el segmento de viajes cortos por motivo

Variables	Segmento	Motivo		Var	B	E.T.	Wald	Sig.	Exp(B)	VOT ($/min)
Tiempo Total, Costo Total	Cortos	Trabajo	Paso 1a	Diferencial de tiempo total	-.205	0.030	47.688	1	.000	**0.62**
				Diferencial de Costo	-.331	0.074	20.088	1	.000	
Tiempo Total, Costo Total	Cortos	Otros	Paso 1a	Diferencial de tiempo total	-.248	0.053	22.287	1	.000	**0.56**
				Diferencial de Costo	-.446	0.129	11.978	1	.001	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-7. Valores del tiempo para el segmento de viajes largos por motivo de viaje

Variables	Segmento	Motivo		Var	B	E.T.	Wald	Sig.	Exp(B)	VOT ($/min)
Tiempo Total, Costo Total	Largos	Trabajo	Paso 1a	Diferencial de tiempo total	-.109	0.011	100.928	1	.000	**0.44**
				Diferencial de Costo	-.247	0.031	62.368	1	.000	
Tiempo Total, Costo Total	Largos	Otros	Paso 1a	Diferencial de tiempo total	-.102	0.017	34.514	1	.000	**0.41**
				Diferencial de Costo	-.248	0.051	23.816	1	.000	

Fuente: Elaboración propia

[3] Ortúzar, J., Willumsen, L. G. (2001). Modelling Transport. Wiley.

2.3 Interacción de la oferta y la demanda

Es importante considerar que el viaje que realiza un usuario tiene varias etapas, inicia en su origen con una caminata hasta el punto donde puede abordar una unidad de transporte, posteriormente viaja en el vehículo, y finalmente baja del último vehículo y camina a su destino final. Con base en la encuesta origen – destino se determinaron los tiempos de caminata origen, caminata destino y tiempos de espera.

En la encuesta existe un apartado en la cual se le solicita al encuestado que describa su viaje completo por tramos o segmentos, modos de transporte y tiempos en cada uno de ellos, desde el inicio del viaje (origen) hasta el final del viaje (destino). En dicho apartado se identificó que, al inicio del viaje, se comienza realizando una pequeña caminata para llegar a tomar el primer modo de transporte, tiempo estimado que se identificó para calcular el tiempo promedio que se emplea en caminata en el origen y para el caso del destino pasa que al bajar del último modo de transporte se realiza un recorrido de caminata para así llegar al destino, tiempo estimado que se tomó para calcular el tiempo promedio que se realiza para la caminata destino.

Cabe mencionar que la distancia promedio de recorrido está en función del tiempo de recorrido que se calculó en la encuesta origen-destino y la velocidad promedio.

El tiempo de espera se calculó sumando los tiempos de espera antes de abordar algún modo de transporte en el viaje completo de cada encuesta para así calcular el tiempo promedio que se emplea para cada viaje, y finalmente el tiempo de trasbordo se identificó realizando la suma de tiempo de caminata, y espera desde que el encuestado se baja de un modo de transporte para seguir el viaje en otro modo de transporte.

Para calcular los tiempos de ascenso – descenso se utilizaron los tiempos que se generaron del estudio de ascensos – descensos, estos se tomaron de las paradas en el cual el transporte público realizaba paradas para subir o bajar usuarios.

Tabla 2-8. Tiempos promedio de viajes situación actual

Periodo	Longitud (km)	Demanda Pas/hr	Distancia promedio recorrida x pas (km)	Tiempo promedio recorrido x pas (min)	Tiempo promedio de caminata origen - parada (min)	Tiempo promedio de espera en origen (min)	Tiempo promedio de caminata destino (min)	Tiempo promedio de viaje (min)
AM	17.8	22,531.0	10.4	42.7	5.7	7.2	3.5	59.1
Valle	17.8	17,177.0	9.5	42.8	5.8	6.9	3.5	59.0
PM	17.8	20,975.0	9.8	42.0	6.0	7.3	3.6	58.9

Fuente: Elaboración propia

Con base en el tamaño de la demanda por horario, periodo y día, se estimó una la valoración anual en tiempos de viaje en la situación actual. El parámetro utilizado para monetizar el viaje fue el valor del tiempo que se muestra en el numeral 5.2.1.

Para estimar los datos referentes a cada uno de los días a partir de los horarios críticos de análisis, se utilizaron factores de expansión para la demanda, mismos que fueron calculados a partir de los estudios de frecuencia de paso y ocupación visual, el cálculo se basa en relacionar para cada periodo del día la sumatoria de la demanda de pasajeros del periodo entre la demanda de pasajeros de la hora representativa. A continuación, se presenta el desglose de información del FOV con el cálculo de los factores.

Tabla 2-9. Cálculo de factores

Periodo	HORA	FOV 01	FOV 02	FOV 03	FOV 04	FOV 05	FOV 06	FOV 07	FOV 08	Total	Factor
Periodo AM	6	3,228	1,358	1,509	7,105	563	5,835	1,452	5,893	26,943	2.88
	7	**2,697**	**1,489**	**1,169**	**4,495**	**903**	**6,144**	**1,508**	**5,775**	**24,180**	
	8	1,702	1,182	1,570	4,661	770	4,227	1,357	3,098	18,567	
Periodo Valle	9	1,682	1,275	1,030	4,318	425	3,540	1,246	1,429	14,945	7.66
	10	1,468	1,463	1,130	6,150	621	2,910	1,206	1,577	16,525	
	11	**1,659**	**1,698**	**1,050**	**4,653**	**816**	**3,338**	**951**	**3,307**	**17,472**	
	12	2,151	1,864	1,441	3,809	1,393	3,700	1,403	4,261	20,022	
	13	2,170	1,818	1,258	3,370	1,304	4,275	1,547	3,744	19,486	
	14	1,961	1,975	1,108	4,331	1,102	3,956	1,583	4,307	20,323	
	15	1,977	2,728	1,259	5,690	1,274	3,271	1,368	3,766	21,333	
	16	2,579	2,554	1,189	5,612	1,289	3,781	1,558	4,614	23,176	
Periodo PM	**17**	**2,885**	**3,479**	**1,466**	**7,023**	**1,865**	**4,596**	**1,875**	**5,863**	**29,052**	2.89
	18	3,073	2,762	1,474	3,340	1,879	4,087	2,173	5,170	23,958	
	19	1,871	410	1,229	4,492	323	3,601	957	2,635	15,388	
	20	1,432	1,406	995	1,897	1,002	3,302	1,485	3,869	15,518	

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla muestra los factores de expansión utilizados por periodo y tipo de día.

Tabla 2-10. Factores de expansión para la demanda

Tipo de día	Periodo	Factor día SA y OPT	Factor día CP RUTAS	Factor día CP PROYECTO
Entre semana	HDM AM	2.88	2.88	2.88
	HV	7.66	7.66	7.66
	HDM PM	2.89	2.89	2.89

Fuente: Elaboración propia

La suma de la demanda expandida por horario y día resultaría en la demanda específica por tipo para un día típico de entre semana. Finalmente, para la estimación anual, se consideró 240 días hábiles (días de entre semana).

Con base en las premisas previamente descritas, en términos de demanda y los tiempos de viaje reportados para cada día y horario, la siguiente tabla muestra la estimación acumulada de la valoración de los costos en términos de tiempo de viaje en la situación actual para el año 2025. Para consultar el detalle de la estimación y pronostico en el horizonte, ver la memoria de cálculo.

Tabla 2-11. Valoración del tiempo en la situación actual.

Situación actual	Días	2025
	Total, TV anual	$5,290,122,580.37

Nota: La estimación se realizó de forma detallada por sentido, ruta y periodo.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.1 Costos de operación vehicular

Gracias a la utilización del Modelo VOC-MEX[4] fue posible monetizar la operación vehicular del sistema actual en función de los kilómetros recorridos.

La estimación de los kilómetros recorridos por tipo de día se basó el régimen operativo de cada ruta en cada horario y tipo de día. La tabla siguiente muestra la duración de cada periodo por día, al suponer que cada día cuenta con 15 horas de servicio.

Tabla 2-12. Factores de expansión para la estimación de los costos de operación vehicular.

Tipo de día	Periodo	Duración esquema operativo (hr)	Día operativo (hr)
Entre semana	HDM AM	4.00	15
	HV	6.00	
	HDM PM	5.00	

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, con base en las premisas previas y al suponer que cada año cuenta con 240 días hábiles (ES), la tabla siguiente muestra la cuantificación y valoración de los costos diarios y anuales de operación vehicular del sistema de transporte público actual.

Tabla 2-13. Resumen de los costos de operación vehicular, situación actual.

COV HMD AM	COV periodo valle	COV HMD PM	COV Día
$ 2,409,241	$ 2,866,252	$ 2,724,428	$ 7,999,920

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2 Costos generalizados de viaje

Con base en las valoraciones previas, es posible estimar los costos generalizados de viaje (CGV) para la situación actual del sistema de transporte público. La tabla siguiente muestra la estimación para el año 2025.

Tabla 2-14. Estimación para el 2025 situación actual de (CVG).

Beneficios	Monto anual
Costos de operación vehicular (COV)	$2,023,979,818.69
Tiempos de viaje (TV)	$5,290,122,580.37
Costo Generalizado de Viaje (CGV)	**$7,314,102,399.06**

Fuente: Elaboración propia.

Es importante reiterar que la estimación se realizó al considerar el detalle de cada una de las rutas de análisis por sentido, periodo y tipo de día. Por lo tanto, distingue días entre semana de los días de

[4] El detalle de los parámetros utilizados para estimar los costos de operación vehicular (COV) a través de modelo VOC-MEX, se encuentran especificados en el numeral 5.2.2

fin de semana, los periodos con congestión y sin congestión. Para mayor detalle puede consultar la memoria de cálculo.

3 SITUACIÓN SIN EL PPI

3.1 Optimizaciones

La Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) describe a las optimizaciones como aquellas medidas administrativas o inversiones de bajo costo que podrían ser implementadas en la zona de estudio con el objetivo de mejorar el funcionamiento del sistema de transporte en general. Partiendo de esta consideración, la optimización de la situación actual propuesta se corresponde más con una medida administrativa – operativa, cuyo costo es cero (0), ya que no considera el llevar algunas obras, compra de unidades de transporte o ninguna acción que conlleve un costo económico.

Es importante considerar que la magnitud de las medidas de optimización varía en los proyectos dependiendo del alcance o la amplitud de la zona de estudio. A causa de que el sistema de transporte actual presenta sobre oferta, se consideró que la mejor medida de optimización implicaría un ajuste en el régimen operativo del sistema de transporte actual. Esto es optimizar la frecuencia de despacho de las rutas estudiadas por horario crítico analizado, es decir, hora pico matutina, vespertina, hora valle de los días entre semana.

Esta situación hace referencia al escenario en el que se alcanzan los mejores resultados en cuanto a eficiencia y efectividad con los recursos que se tienen disponibles. Se parte de la premisa de que con ciertas mejoras al sistema de transporte que conlleven bajas inversiones, se pueden optimizar sus indicadores de operación. Entre los factores que se consideran se encuentran los siguientes:

- Costos de operación: Minimización de costos asociados al transporte, derivados de una reducción del parque vehicular y los kilómetros recorridos por las unidades.

- Tiempos de recorrido: Reducción de los tiempos de viaje para los usuarios del sistema de transporte.

- Capacidad: Se asegura que el sistema de transporte tenga la capacidad adecuada para manejar la demanda de manera eficiente.

Así, la optimización de la situación actual contempla un dimensionamiento del parque vehicular, ajustando la oferta a la demanda de pasajeros, con el objetivo es reducir el número de unidades que operan en cada ruta, disminuir los kilómetros recorridos, mantener niveles de ocupación adecuados y garantizar intervalos de paso mínimos para asegurar un servicio eficiente.

Además, se prevé que la reducción del parque vehicular en circulación contribuirá a disminuir los niveles de congestión en las vialidades, lo que a su vez incrementará las velocidades de operación de las rutas de transporte.

La tabla siguiente muestra los datos de operación y desempeño del transporte al día.

Tabla 3-1. Indicadores de operación y desempeño al día de las rutas en situación optimizada

ID Ruta	Longitud promediol (Km)	Vueltas promedio por unidad	Promedio Kilómetros recorridos por unidad	Promedio Kilómetros recorridos por ruta	Demanda ES día	IPK Promedio	Flota operativa promedio
Total	**35.67**	**13.25**	**217.71**	**3871.22**	**293,937**	**1.78**	**18.24**

Fuente: Elaboración propia

3.2 Análisis de la oferta

3.2.1 Frecuencia de despacho

Este ajuste corresponde a mejorar la operación del sistema de manera que la frecuencia de despacho se relaciones con la necesidad de demanda de los usuarios, logrando una mejora operacional en términos de un intervalo de paso organizado.

Tabla 3-2 Demanda por periodo

Distancia km	Demanda 7 am	Demanda 11 hrs	Demanda 17 hrs
17.83	22,531	17,177	20,975

Fuente. Elaboración propia

3.2.2 Operación del servicio

Con base en el régimen operativo detallado previamente, en términos globales, la reducción de kilómetros recorridos por el sistema alcanzaría cerca de un 6% para el periodo pico am y de cerca del 4% para el pico, respecto a la situación actual mientras que la velocidad media del sistema se incrementaría entre 4% y 5% en función del día y horario de análisis. A continuación, se muestran las tablas con los indicadores globales del sistema en situación sin proyecto y posteriormente se muestran los indicadores detallados por ruta.

Tabla 3-3 Factores de expansión

Tipo de día	Periodo	Factor día SA y OPT	Factor día CP RUTAS	Factor día CP PROYECTO
Entre semana	HDM AM	2.88	2.88	2.88
	HV	7.66	7.66	7.66
	HDM PM	2.89	2.89	2.89

Fuente. Elaboración propia

Tabla 3-4 km anuales Situación optimizada

Situación	ES		
	HDM AM	HV	HDM PM
Actual	9,773.23	7,763.59	8,347.55
Sin Proyecto (Optimizada)	9,221.56	7,640.53	8,057.55
Diferencia (km)	-551.67	-123.06	-290.00
Diferencia (%)	-5.6%	-1.6%	-3.5%

Fuente. Elaboración propia

Nota: Los datos están presentados por horario.
El cálculo de total semanal supone 5 días de entre semana

Con las medidas de optimización, habrá una mejora sustancial en las velocidades de operación. La siguiente tabla muestra los cambios promedios entre la situación actual y sin proyecto para cada período y tipo de día.

Tabla 3-5 Resumen de velocidad promedio del sistema, situación sin proyecto

Velocidad comercial (Km/h)	Días de entre semana		
	KMR 7HRS	KMR 11HRS	KMR 17HRS
Promedio situación sin proyecto	17.23	19.15	16.32
Promedio situación actual	16.60	18.37	15.89
Incremento de velocidad (%)	3.81%	6.68%	5%

Fuente. Elaboración propia

Tabla 3-6 Datos operativos situación sin proyecto en días de entre semana

Distancia promedio km	Vel prom km/h AM	km recorridos promedio (KMR) AM	Vel prom km/H Valle	km recorridos promedio (KMR) Valle	Vel prom km/H PM	km recorridos (KMR) PM
17.8	17.2	102.4	19.6	84.9	16.7	89.6

Fuente: Elaboración propia

3.3 Análisis de la demanda

A causa de que el trazado y la cobertura de las rutas no sufrieron ninguna modificación, es de esperar que la distribución de la demanda por ruta no cambie. Por lo anterior, la demanda por día, ruta, horario y sentido permanece equivalente a la situación actual.

Tabla 3-7 Demanda Situación Optimizada

Demanda 7 am	Demanda 11 hrs	Demanda 17 hrs
22,531	17,177	20,975

Fuente: Elaboración propia

3.4 Interacción de la oferta y la demanda

3.4.1 Tiempos de viaje

A causa del incremento en la velocidad de las rutas, se esperaría una reducción en el tiempo promedio de viaje de los usuarios. El tiempo promedio de viaje de los usuarios del sistema optimizado se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3-8 Tiempo promedio de viaje en el sistema optimizado por día y horario

Tiempo de Viaje	Entre semana		
	7HRS	11HRS	17HRS
Caminata inicial (origen) min.	5.7	5.8	6.0
Tiempo de Espera (Ruta) min.	6.5	6.0	6.7
Tiempo a bordo (Ruta) min.	38.1	33.7	34.8
Caminata final Destino min.	3.5	3.5	3.6
Tiempo total del viaje (min)	53.8	49.1	51.11

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-9 Comparación Tiempos de Viaje Situación Optimizada vs Situación Actual

Tiempo de Viaje	ES		
	HDM AM	HV	HDM PM
Situación Actual	59.13	59.03	58.92
Situación Sin Proyecto (Optimizada)	53.80	49.01	51.11
Ahorro de tiempo	-5.3	-10.0	-7.8

Fuente. Elaboración propia

Por otra parte, en las siguientes tablas, se muestra el detalle del tiempo de viaje de los usuarios de transporte público desagregado por ruta, sentido de circulación, día y horario.

Tabla 3-10 Tiempo de viaje promedio situación sin proyecto

Periodo	Distancia km	Promedio Caminata inicial (origen) min.	Promedio Tiempo de Espera (Ruta) min.	Promedio Tiempo a bordo (Ruta) min.	Promedio Caminata final Destino min.	Promedio tiempo de viaje
AM	17.83	5.73	6.46	38.13	3.51	53.80
Valle	17.83	5.82	5.95	33.71	3.54	49.02
PM	17.83	5.95	6.70	34.84	3.61	51.11

Fuente. Elaboración propia

Nuevamente, con base en la demanda por horario, periodo y día, se estimó la valoración anual de los tiempos de viaje en la situación sin proyecto optimizada. El parámetro utilizado para monetizar el viaje

fue el valor del tiempo expresado en la tabla de "cálculo de valor del tiempo de los viajes" del capítulo 5 de este documento. A continuación, se muestra la valoración y la estimación de los beneficios atribuibles a la optimización.

Tabla 3-11 Resumen tiempos de viaje situación actual año base

Horarios	Beneficios
HP AM	$5,806,347.47
HV	$9,858,693.33
HP PM	$5,244,534.62
TOTAL DÍA	*$20,909,575.42*
TOTAL AÑO ES	**$5,290,122,580.37**

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-12 Resumen tiempos de viaje situación optimizada año base

Horarios	Beneficios
HP AM	$5,581,325.99
HV	$8,053,494.80
HP PM	$4,597,679.38
TOTAL DÍA	*$18,232,500.16*
TOTAL AÑO ES	**$4,612,822,539.87**

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Costos de operación vehicular

Nuevamente, gracias a la utilización del Modelo VOC-MEX fue posible monetizar la operación vehicular del sistema optimizado y estimar los beneficios atribuibles a la optimización respecto a la situación actual. La tabla siguiente muestra la valoración de los costos de operación vehicular del sistema optimizado con base en los indicadores operativos mostrados en la sección 3.2.2. Para mayor detalle del cálculo del Costo de Operación Vehicular (COV), el apartado 5.2.2 del capítulo 5 muestra la metodología y parámetros utilizados en el modelo VOC-MEX para el cálculo de estos costos.

Tabla 3-13 Resumen de los costos de operación vehicular, situación optimizada

Días/COV	COV ES
Diarios	$1,690,218,646
Reducción Anual	$333,761,171

Fuente: Elaboración propia

3.4.3 Costos generalizados de viaje

Con base en las valoraciones previas, es posible estimar beneficios atribuibles a las optimizaciones en términos de costos generalizados de viaje (CGV). La tabla siguiente muestra la estimación para el año base.

Tabla 3-14 Estimación de beneficios por ahorro en CGV de las optimizaciones, año base

Situación	Concepto	2025
Actual	Costos de operación vehicular (COV)	$2,023,979,818.69
	Tiempos de viaje (TV)	$5,290,122,580.37
	Costo Generalizado de Viaje (CGV)	**$7,314,102,399.06**
Sin proyecto (optimizada)	Costos de operación vehicular (COV)	$1,690,218,646.82
	Tiempos de viaje (TV)	$4,612,822,539.87
	Costo Generalizado de Viaje (CGV)	**$6,303,041,186.69**
Beneficios Atribuibles a las optimizaciones	Costos de operación vehicular (COV)	$333,761,171.87
	Tiempos de viaje (TV)	$677,300,040.50
	Costo Generalizado de Viaje (CGV)	**$1,011,061,212.37**
Variación en CGV		**-14%**

Fuente: Elaboración propia

Para mayor detalle en la cuantificación y valoración de los tiempos de viaje en el horizonte de evaluación y los COV, ver la memoria de cálculo, pestaña “Comparativo TV” y “Comparativo CGV”

3.4.4 Conclusiones sobre análisis de optimizaciones

Si bien las optimizaciones tienen un potencial de beneficios que llegarían a alrededor de $1,173 millones de pesos, es decir una reducción de 15%. Es importante reiterar que, al comparar los tiempos promedios del sistema en situación actual respecto a la situación sin proyecto, los usuarios alcanzan mejoras marginales en su tiempo de viaje.

Por lo anterior se concluye que para que mejoren las condiciones de movilidad de los habitantes del municipio de Puebla, es necesaria alguna alternativa de sistema de transporte público que sea capaz de brindar disminuciones significativas en los costos generalizados de viaje y al mismo tiempo sea racional con los recursos necesarios para lograrlo.

3.5 Alternativas

Considerando la problemática identificada, se llevó a cabo un análisis de alternativas a fin de identificar una solución adecuada a la problemática. Este análisis se realizó en un primer momento desde el punto de vista tecnológico, con el fin de que la propuesta fuera congruente con el contexto urbano de la ciudad de Puebla. Posteriormente, una vez seleccionada la alternativa tecnológica, se realizó un análisis de alternativas de trazo. Los análisis de ambas dimensiones se presentan a continuación.

3.5.1 Descripción de las alternativas tecnológicas

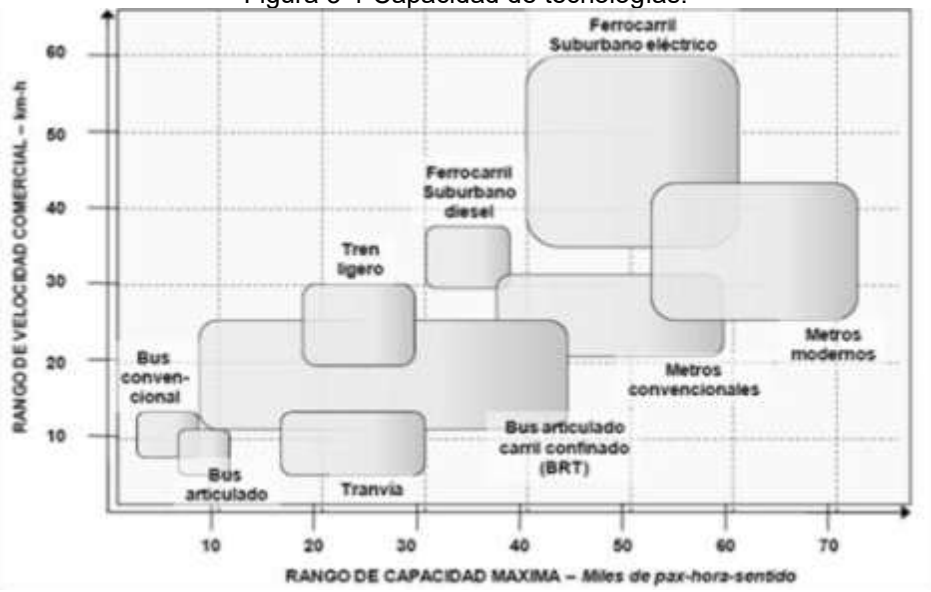
Los sistemas de transporte público en sus muy variadas modalidades tienen características particulares que los hacen más o menos idóneos según las condiciones locales que prevalecen donde se pretenden implantar. La importante gama de opciones de solución técnica y la variedad de condiciones que se pueden encontrar en los sitios de proyecto, imponen analizar utilizando múltiples criterios diferentes soluciones principalmente en los aspectos de: capacidad, requerimientos de infraestructura e inserción, características físicas del sitio y características del servicio y costos.

En este apartado se pretende hacer una comparación entre el sistema teleférico y otros sistemas de transporte urbano tales como autobús convencional, BRT, tren ligero o tranvía, por mencionar algunos, y revisar su aplicabilidad en el área del proyecto.

3.5.2 Capacidad

La siguiente gráfica ubica diferentes tecnologías de acuerdo con rangos de velocidad máxima y capacidad en términos de pasajeros por hora sentido.

Figura 3-1 Capacidad de tecnologías.



Fuente: Guía de presentación PROTAM.

En la tabla siguiente se muestran los rangos de capacidad de los modos a analizar en pasajeros por hora y por sentido y velocidad:

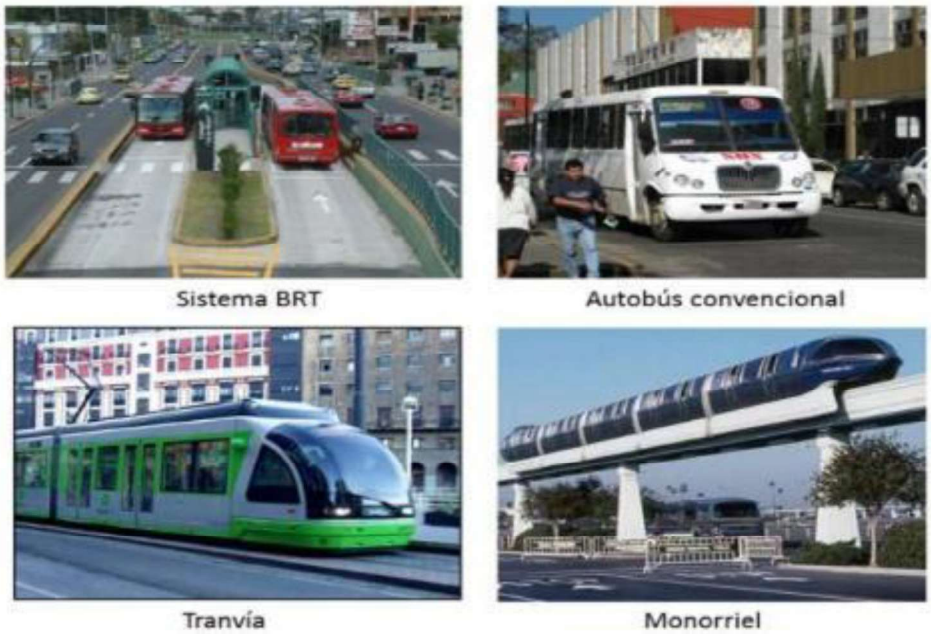
Tabla 3-15 Rangos de capacidad.

Modo	Teleférico	Autobús Convencional	BRT	Tren ligero o tranvía	Monorriel	People mover (APM)
PPHS	600 - 3,000	500 - 8,000	8,000 - 40,000	18,000 - 30,000	10,000 - 48,000	1,800 - 30,000
Velocidad comercial	21-28 km/h	8 - 15 km/h	12 - 25 km/h	8 - 30 km/h	20 - 35 km/h	15 - 35 km/h

Fuente: Urban Transit Systems and Technology: Vukan R. Vuchic; John Wiley & Sons, 2007

En términos de capacidad y velocidad, los sistemas BRT, tren ligero o tranvía y monorriel exceden los requerimientos de demanda de transporte en la zona del proyecto, ya que se esperan demandas máximas horarias de aproximadamente 3,500 personas por sentido haciendo proyecciones a largo plazo.

Figura 3-2 Ejemplos de Tecnologías de transporte



Fuente: Elaboración propia

3.5.3 Requerimientos de infraestructura de inserción

En el rubro de requerimientos de infraestructura e inserción, existen diferencias importantes en los sistemas que se comparan, en términos generales se describen a continuación:

- *Autobús convencional:* En general los requerimientos son mínimos, en condiciones normales, requieren de calles que comparten con otros vehículos en buen estado y en tamaño y condiciones geométricas suficientes dependiendo del tamaño de los autobuses. Es deseable que existan paraderos designados.
- *BRT*: Requieren carriles exclusivos y segregados físicamente con pavimentos especiales para soportar el peso e interacción dinámica de los autobuses, adicionalmente estaciones, normalmente de plataforma elevada, sistemas de comunicación, vigilancia y monitoreo, centro de despacho, taquillas. En sistemas de mayor capacidad se llegan a requerir dos carriles y grandes estaciones de transferencia. Asimismo, las obras inducidas pueden llegar a ser de gran consideración por la intervención con redes y ductos de otras instalaciones. Requieren espacios importantes en vía pública para su inserción.
- *Tren ligero o tranvía:* Requieren obras mayores de tendido de vía y confinamiento, no obstante que en tramos cortos pueden convivir y circular a nivel en espacios compartidos con el tránsito automotor. Adicionalmente, requieren estaciones, sistemas de comunicación y señales, vigilancia y monitoreo, centro de despacho, taquillas. En el caso del tren ligero, requieren grandes espacios en vía pública para su inserción, caso muy diferente del tranvía que resulta ideal para inserciones en contextos urbanos apretados y complicados.
- *Monorriel:* Requieren la construcción de viaductos elevados, importantes obras electromecánicas estaciones, sistemas de comunicación y señales, vigilancia y monitoreo, centro de despacho y taquillas. Su consumo de espacio es moderado, el necesario para colocación de columnas y accesos a estaciones, es importante verificar la interferencia con líneas eléctricas aéreas.

- *People mover:* Requerimientos muy similares a los descritos para el monorriel.
- *Teleférico*: Los requerimientos de infraestructura para teleférico, si bien son complejos: pilonas, cables, estaciones, centro de despacho y taquillas, el espacio que consumen es mínimo lo que facilita su inserción, es importante verificar la interferencia con líneas eléctricas aéreas.

Por requerimientos de infraestructura e inserción en las zonas de influencia y las condicionantes que imponen los trazos, solamente resultan viables los sistemas Teleférico y autobús convencional.

3.5.4 Características físicas de sitio y de servicio

Las condicionantes que imponen el sitio, tales como pendiente y curvatura restringen la aplicación de los diferentes sistemas:

Tabla 3-16 Pendiente por modo de transporte

Modo	Teleférico	Autobús Convencional	BRT	Tren ligero o tranvía	Monorriel	People mover (APM)
Pendiente máx.	100%	15%	10%	7%	10%	12%

Fuente: Vukan R. Vuchic; Presentación en la Asamblea General de Alamys, Guadalajara, México noviembre 2011

La curvatura no representa mayores problemas para los sistemas de Teleférico, autobús convencional BRT e inclusive los tranvías pueden tomar radios de curvatura relativamente pequeños, no así para Monorriel o people mover.

Las características topográficas y de interferencias que prevalecen en la zona de influencia, descartan la aplicación de BRT, tren ligero o tranvía, monorriel y people mover.

Si bien en este rubro, aplicaría tanto autobús convencional como teleférico, la capacidad de las vías e interferencias tales como vialidades principales, trazos poco directos de las vialidades existentes impactan de manera muy importante en la velocidad en la que pueden operar los autobuses convencionales. Se señalan las ventajas y desventajas más relevantes en la tabla siguiente:

Tabla 3-17 Ventajas y desventajas del Autobús Convencional vs Articulado.

Concepto	Autobús Convencional	Autobús Articulado
Ventajas	Es un medio cotidiano, de bajo costo	El Autobús articulado, tiene una mayor capacidad, es ideal para trasportar usuarios en vías segregadas de transporte privado.
Desventajas	El autobús convencional es usado actualmente, sin embargo, sus velocidades de operación se ven restringidas por la geografía de la zona	Debido a que es en las partes altas de la zona de estudio la capacidad de las vialidades es reducida, no es posible la circulación de este tipo de vehículos.

Fuente: Elaboración propia

En resumen, estas alternativas no resultan aplicables por las siguientes razones:

- Las vías de acceso a donde se presentan los principales problemas de movilidad registran altos volúmenes vehiculares, por lo que cualquier alternativa que requiera su uso disminuiría la capacidad vial.
- Ampliar la sección de esas vías sería muy costoso, ya que implicaría hacer expropiaciones, sumado al alto costo de la infraestructura y los conflictos que esto provocaría para los habitantes.

Por lo anterior, una vez analizadas todas las alternativas terrestres, se establece que, dadas las condiciones geográficas de esta zona, resultan óptimos modos de transporte que permitan una comunicación más directa y eficiente a fin de dar un servicio adecuado en tiempos competitivos que minimicen el consumo de horas-hombre en transporte y reduzcan la congestión en la zona.

Uno de los modos ideales para este tipo de condiciones físicas es el sistema tipo teleférico, el cual, puede definirse como un sistema de cabinas suspendidas de un cable fijo, las que se transportan por otro cable móvil, generalmente unido a manera de circuito.

Este medio de transporte ha sido aplicado exitosamente en ciudades o zonas, donde las pendientes existentes representan un obstáculo para la movilidad de sus habitantes, sobre todo en las partes altas. Ejemplos sobresalientes de este tipo de sistemas se pueden encontrar en ciudades sudamericanas como Medellín, Caracas o La Paz en Bolivia.

Figura 3-3 Metrocable de Medellín, Colombia.



Fuente: Elaboración propia, con información de Metrocable de Medellín.

Las razones por las cuales los teleféricos representan una excelente alternativa para zonas con características similares a las de los proyectos son:

- Sortean lugares con pendientes altas y reducen emisiones y gastos energéticos en el proceso.
- No reducen la capacidad de las vías actuales que conectan estas zonas, por lo que no tienen efectos negativos en la movilidad actual.

3.5.5 Análisis de alternativas

Una vez caracterizadas las alternativas, se realizó el análisis de su conveniencia para resolver la problemática existente, así como la viabilidad de implementación en la zona de estudio, debido a sus características particulares.

Al realizar el análisis de las distintas alternativas tecnológicas, con base en la demanda de viajes, así como las características de la zona de estudio, se llegó a las siguientes conclusiones por concepto:

- **Requerimientos de infraestructura e inserción en las zonas de influencia**: La escasa disponibilidad de espacio, imposibilita la adopción de sistemas basados en vías férreas.
- **Capacidad**: Los sistemas BRT y por vía férrea exceden los requerimientos de demanda de transporte ya que se estima que la demanda máxima asciende a 2,500 pasajeros por hora y sentido
- **Pendientes y curvaturas:** Las características de elevación y pendiente que prevalecen en el municipio descartan la opción de implementar un sistema BRT o un sistema de transporte de vía férrea. Lo anterior se explica por la existencia de una pendiente máxima de hasta 14.5%.

3.5.5.1 Conclusiones

Con base en el análisis anterior, se concluye que una opción tecnológica adecuada a implementar como parte del sistema de transporte público en el municipio de Puebla puede ser una de tipo teleférico, sin olvidar que aun esta tecnología también tiene algunas desventajas.

Tabla 3-18 Ventajas y desventajas de las alternativas seleccionadas

Modo de transporte	Ventajas	Desventajas
Teleférico	Sistema diseñado especialmente para zonas montañosas, caracterizadas por pendientes altas Permite velocidades comerciales superiores a la de los autobuses convencionales lo que repercutiría en mayores ahorros de tiempo para los usuarios. Requiere moderado espacio para su implementación. Al tratarse de un sistema alimentado por electricidad, se reducen las emisiones contamines y gases de efecto invernadero. Las afectaciones en las vías actuales son mínimas, por lo que los efectos negativos en la movilidad en el tránsito privado son marginales.	Mayores costos de inversión para su implementación Posible rechazo social por personas que sufren de vértigo o miedo a las alturas

Fuente: Elaboración propia

3.5.6 Alternativas de trazo para una linea de teleférico

En concordancia con los lineamientos de evaluación de proyectos de inversión publicados por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público se consideraron alternativas de solución para la problemática en cuestión. Como solución al problema de movilidad de Puebla, se propone la creación de una línea de teleférico que amplíe la oferta de transporte público actual, absorbiendo parte de la demanda y atendiendo zonas menos conectadas. Para seleccionar la ruta más eficiente se analizaron dos trazos, en esta sección se presentan los datos técnicos del trazo y los resultados obtenidos de la evaluación. Las alternativas evaluadas son dos trazos compuestos de cuatro y tres líneas cada uno e intercomunicados entre estos.

La alternativa 1 es un trazo de 13.3 km de distancia conformado por cuatro líneas de teleférico. La definición del trazo del sistema de cable urbano responde a un análisis integral de movilidad y desarrollo urbano en la zona de estudio. Se busca cubrir áreas con baja conectividad y carencias en la oferta de transporte público eficiente. En este sentido, el cable urbano ofrece una solución que permite brindar accesibilidad directa a barrios periféricos y articularlos con nodos estratégicos de la red de transporte existente. Como se presenta más adelante, se realizó el análisis de una alternativa, definiendo que el trazo con mejores indicadores sea el proyecto a implementar.

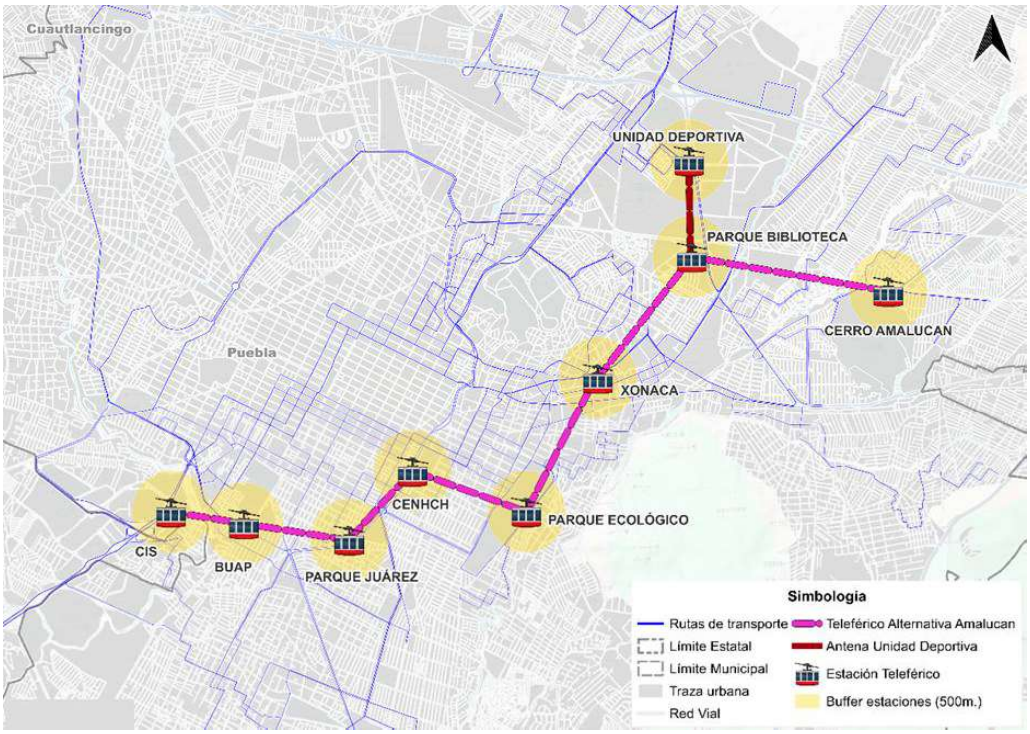
Así, el trazo propuesto maximiza la cobertura del transporte integrando estaciones en puntos estratégicos. La estación Parque Biblioteca permitirá la conexión directa con un espacio cultural y educativo de alta afluencia, fortaleciendo la accesibilidad de jóvenes y familias a actividades recreativas y de formación. La estación Cerro Amalucan se convierte en un nodo clave para integrar colonias con niveles de marginación, generando oportunidades de movilidad hacia el resto de la ciudad. Asimismo, la Unidad Deportiva y la estación Deportivo Xonaca responden a la importancia de atender viajes recurrentes hacia espacios deportivos y recreativos, fomentando además la cohesión social y el acceso a entornos seguros para la actividad física.

El proyecto también articula estaciones con valor urbano y comunitario; la estación Mercado Morelos acercará a miles de usuarios que realizan viajes diarios por motivos de abasto y comercio, integrando un polo económico fundamental de la ciudad. La estación San Baltazar permitirá mejorar la conectividad en una zona densamente poblada y con presencia de centros escolares. En tanto, las estaciones Parque Ecológico y Vía Atlixcáyotl fomentarán la integración con corredores metropolitanos y zonas de alto atractivo recreativo, consolidando la intermodalidad del sistema. Finalmente, estaciones como Plaza Dorada y Zócalo se ubican en polos de atracción de viajes consolidados, incrementando la viabilidad operativa y garantizando la cobertura de viajes por motivos laborales, educativos, culturales y turísticos.

Un criterio clave en la definición del trazo fue su capacidad para reactivar el entorno urbano y mejorar la seguridad ciudadana. Las estaciones están situadas en espacios con potencial de regeneración, permitiendo liberar áreas para comercio formal, actividades culturales y plazas públicas que refuercen la vigilancia natural y reduzcan los riesgos asociados a la percepción de inseguridad. Asimismo, cada estación contempla accesibilidad universal, beneficiando de manera directa a mujeres, personas mayores y usuarios con discapacidad. Esta característica, sumada a la reducción en los tiempos de traslado y espera, fortalece la equidad en la movilidad y permite que los beneficios del proyecto se distribuyan de manera más justa en toda la población.

En conclusión, la selección del trazo integra de forma equilibrada cobertura poblacional, atención a zonas de marginalidad, accesibilidad al transporte y fortalecimiento del tejido urbano y social, teniendo como eje las estaciones mencionadas. El sistema de cable urbano no solo responde a una necesidad de movilidad, sino que se consolida como una intervención de alto impacto en la mejora de la calidad de vida, seguridad y equidad en la zona metropolitana de Puebla.

Figura 3-4 Trazo alternativa 1



Fuente: Elaboración propia

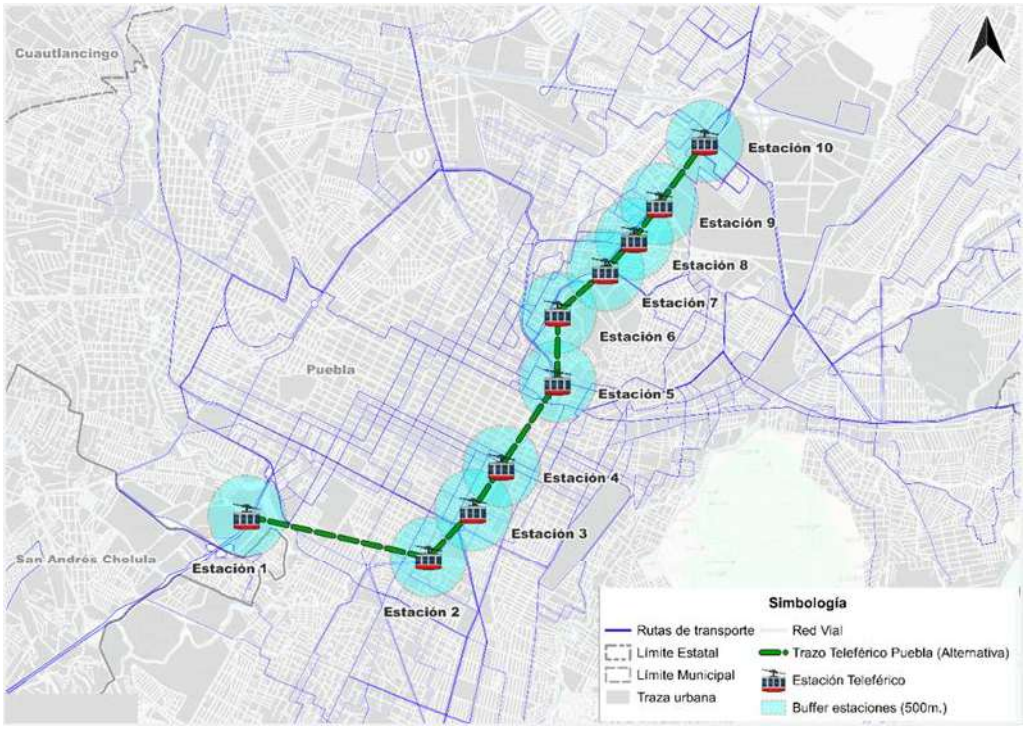
En el caso de la alternativa 2, el trazo recorre de manera diagonal la ciudad de Puebla, conectando desde la zona de Atlixcáyotl hasta la parte norte de la ciudad. A lo largo de su trayecto incorpora estaciones en puntos estratégicos como Plaza Dorada, el área central de la ciudad y zonas habitacionales consolidadas. Asimismo, conecta con áreas de servicios universitarios y comerciales, como la BUAP y La Noria, lo cual genera un atractivo en términos de viajes recurrentes asociados con educación, comercio y servicios.

Sin embargo, al analizar comparativamente esta alternativa frente al trazo propuesto inicialmente, se observa que su cobertura territorial resulta más limitada en cuanto al acceso a zonas urbanas clave y áreas con déficit de transporte público. Mientras este trazo concentra su servicio en corredores con una oferta ya relativamente consolidada, el trazado original logra extender los beneficios hacia sectores con mayores carencias, como Cerro Amalucan y San Baltazar, donde la conectividad al transporte público es deficitaria y la población presenta menor accesibilidad a los servicios urbanos.

En términos de impacto social y urbano, el trazo original ofrece una mayor capacidad de integración, ya que articula áreas educativas, recreativas, comerciales y de servicios con barrios de alta densidad y menor acceso a transporte formal. Este enfoque lo convierte en una alternativa más equitativa y con mayores beneficios sociales. Por lo tanto, aunque la opción mostrada en la figura constituye un corredor viable, la primera propuesta presenta mejores condiciones en cobertura, impacto social y contribución a la reducción de desigualdades en el acceso a la movilidad urbana.

La alternativa 2 está compuesta por tres líneas del teleférico y un total de 9.3 km de largo.

Figura 3-5 Trazo alternativa 2



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-19 Descripción de Líneas y Alternativas

Línea	Alternativa 1	Alternativa 2
Línea 1	2.61 km	2.51 km
Línea 2	4.96 km	3.73 km
Línea 3	4.75 km	3.08 km
Línea 4	1.29	
Total	**13.3 km**	**9.3 km**

Fuente: Elaboración propia

3.5.7 CAPEX

El CAPEX de la alternativa 1 es de $5,822,075,292 pesos sin IVA y de $6,753,607,338 pesos con IVA, más $212,031,503 pesos asociados a un estimado para la liberación del derecho de vía y medidas de mitigación ambiental. A continuación, se desglosa el capex en componentes y subcomponentes.

Tabla 3-20. Desglose de CAPEX Alternativa 1 por componentes y subcomponentes

Concepto de Obra	Monto sin IVA ($)	Monto con IVA ($)
Proyecto ejecutivo	$ 121,618,189	$ 141,077,099
Obra inducida	$ 201,858,396	$ 234,155,740
Obra civil de cimentación	$ 405,467,690	$ 470,342,520
Obra civil estaciones e instalaciones especiales	$ 852,632,647	$ 989,053,871
Sistema electromecánico de los teleféricos	$ 3,634,781,426	$ 4,216,346,455
Sistema eléctrico	$ 392,379,836	$ 455,160,609
Transferencia tecnológica	$ 183,981,862	$ 213,418,960
Certificación	$ 29,355,245	$ 34,052,085
Subtotal 1	**$ 5,822,075,292**	**$ 6,753,607,338**
Ambiental.	$ 24,953,020	$ 28,945,503
Monto proyectado para liberación del derecho de vía.	$ 183,086,000	$ 183,086,000
Subtotal 2	**$ 208,039,020**	**$ 212,031,503**
Total	**$ 6,030,114,312**	**$ 6,965,638,841**

Fuente: Elaboración propia

El CAPEX de la alternativa 2 es de $ 6,100,109,108 de pesos sin IVA y de $ 7,456,649,565.56 pesos con IVA, más $380,523,000 pesos monto estimado para la liberación del derecho de vía. A continuación, se desglosa el capex en componentes y subcomponentes.

Tabla 3-21 Desglose de CAPEX Alternativa 2 por componentes y subcomponentes

Concepto de Obra	Monto sin IVA ($)	Monto con IVA ($)
Ambiental.	$ 21,446,915	$ 24,878,421
Obra civil	$ 2,000,664,000	$ 2,320,770,240
Montaje	$ 441,780,000	$ 512,464,800
Logística, importación y transporte hasta la obra	$ 16,063,920	$ 18,634,147
Sistema electromecánico ex fábrica	$ 3,421,044,818	$ 3,968,411,989
Transferencia tecnológica	$ 79,920,000	$ 92,707,200
Deducciones	$ 119,189,455	$ 138,259,768
Total	**$ 6,100,109,108**	**$ 7,076,126,566**
Monto proyectado para liberación del derecho de vía.	$ 380,523,000	$ 380,523,000

Fuente: Elaboración propia

3.5.8 Cuadro comparativo de las alternativas de trazo evaluadas.

Considerando lo anterior, las dos alternativas fueron sometidas a la evaluación social, esto con el fin de identificar aquella que reporta mejores indicadores de rentabilidad económica y verificar la conveniencia de seleccionar el trazo. A continuación, se muestran los resultados de estas.

Tabla 3-22. Comparación de indicadores de las alternativas evaluadas.

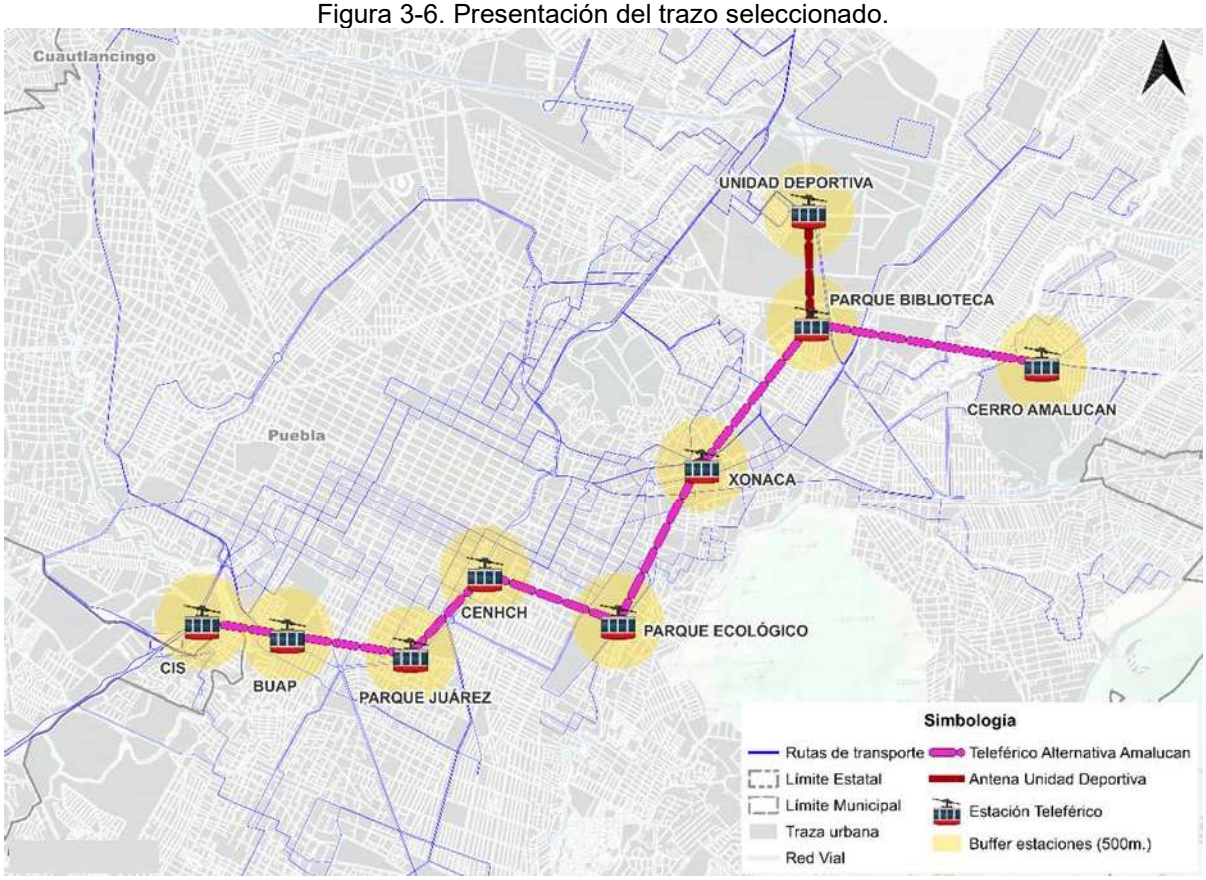
Concepto	Alternativa 1	Alternativa 2
Inversión (pesos sin IVA).	$7,114,614,312	$6,544,118,523
Costo de operación (pesos sin IVA).	$6,821,210,000	$14,244,646,738
Costo por molestias (pesos sin IVA).	$535,819,755	$354,158,797
Longitud total (km).	13.26	9.47
Costo por kilómetro ($/km).	$536,547,082	$691,036,803
Demanda diaria entre semana (2030)	18,929	16,111
Valor Actual de los Costos (VAC).	$7,414,619,131	$8,102,827,509
Costo Anual Equivalente (CAE).	$796,708,338	$870,657,025
VPN	$1,541,499,643	-$3,300,596,930
TIR	12.27%	4.84%
TRI	12.67%	5.01%
B/C	1.45	0.62

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Para mayor detalle de la estimación de indicadores de rentabilidad, ver la memoria de cálculo del ACB.
**Monto sin considerar la liberación del derecho de vía*

Con los resultados anteriores se ratificó que la mejor alternativa en términos socioeconómicos es la alternativa 1 pues los indicadores de rentabilidad social revelan que es conveniente. Por lo anterior, en los apartados siguientes se describirá con mayor detalle la situación con el proyecto de inversión seleccionado.

Figura 3-6. Presentación del trazo seleccionado.



Fuente: Elaboración propia.

4 SITUACIÓN CON EL PPI

4.1 Descripción del proyecto

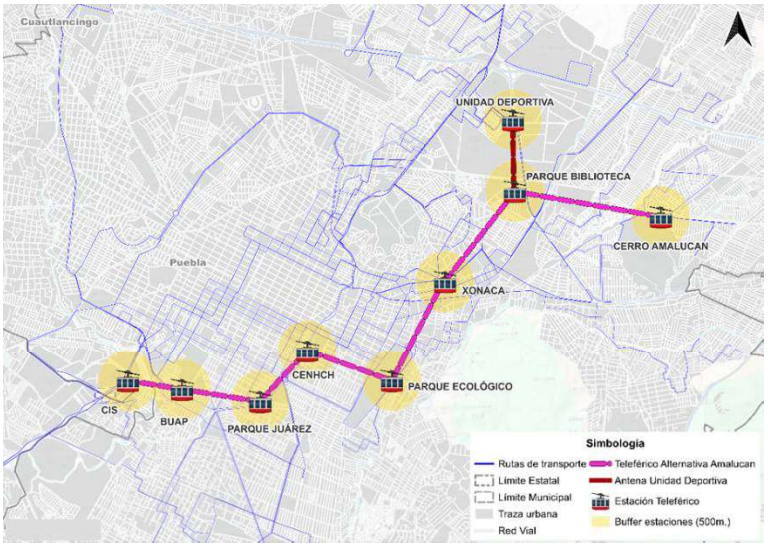
Tabla 4-1. Tipo de Proyecto.

Tipo de Proyecto	
Proyecto de infraestructura económica.	x
Proyecto de infraestructura social.	
Proyecto de infraestructura gubernamental.	
Proyecto de inmuebles.	
Programa de adquisiciones	
Programa de mantenimiento	
Otros proyectos de inversión	
Otros programas de inversión.	

Fuente: Elaboración propia.

En este apartado se analiza la "situación con proyecto" del sistema de transporte público considerando la implementación de un teleférico como nueva alternativa de movilidad en la Ciudad de Puebla.

Figura 4-1 Trazo teleférico



Fuente: Elaboración propia

Este modo de transporte ha sido propuesto como una solución innovadora para mejorar la accesibilidad y conectividad en zonas con condiciones topográficas complejas o con altos niveles de congestión vial. El teleférico ofrecería un servicio continuo, con tiempos de traslado competitivos y beneficios ambientales asociados a su operación eléctrica. La evaluación incluye su integración con el sistema actual, su cobertura dentro de la zona de influencia y el impacto estimado sobre la demanda y redistribución de viajes, permitiendo comparar esta situación con los escenarios sin proyecto o con medidas de optimización convencionales.

La tabla siguiente integra los datos operativos del Proyecto de Teleférico, en el que se estimó una demanda diaria de 18,929 pasajeros para el año base de calibración (2025).

Tabla 4-2 Datos operativos del Proyecto Teleférico

Datos Operativos Teleférico	
Longitud tramo CIS-Cerro Amalucan	12.03 Km.
Longitud antena a Unidad Deportiva	1.27 Km.
Velocidad	21.60 Km/hr
Tiempo tramo CIS-Amalucan	33 min
Tiempo tramo CIS Parque Biblioteca	26 min
Tiempo antena a Unidad Deportiva	4 min
Demanda día (2025)	18,929 pasajeros

Fuente: Elaboración propia

Este sistema no solo contribuirá a mejorar significativamente la movilidad, sino que también proporcionará una solución sostenible, reduciendo la huella de carbono y ayudando a mitigar la congestión vehicular en la ciudad.

El proyecto deberá emplear una tecnología de sistema por cable de pinzas desembragables y operar con vehículos de 10 plazas, cada uno con capacidad para 10 personas sentadas. La capacidad operativa inicial del sistema deberá ser de 1,000 pasajeros por hora por sentido. No obstante, toda la infraestructura, incluyendo estaciones, torres y sistemas electromecánicos, deberá estar diseñada y dimensionada para soportar un caudal máximo de 3,000 pasajeros por hora por sentido.

El trazado total del sistema deberá contemplar aproximadamente 13.26 kilómetros, distribuidos en tres líneas independientes. En cada una de las estaciones de transferencia, los usuarios deberán descender y abordar nuevamente para continuar su trayecto en la siguiente línea.

Los vehículos del sistema deberán tener una capacidad para 10 pasajeros sentados, distribuidos en asientos individuales. Deberán contar con un sistema de pinza desembragable que permita el desacople de los vehículos del cable en las estaciones, operando a una velocidad variable de hasta 6 m/s en línea y a una velocidad reducida de aproximadamente 0,25 m/s durante las maniobras de embarque y desembarque. El sistema de transporte por cable conformará una línea troncal, integrada por tres segmentos.

A continuación, se presentan los componentes más importantes del proyecto

Tabla 4-3 Componentes del proyecto Teleférico

Concepto	Características y cantidades
Sistema de teleférico	Teleférico de pinza desembragable
Líneas de teleférico	4 líneas
Capacidad máxima en pax/hr/sentido (todas las líneas)	1,000 pphd inicial / 2,500 pphd final
Capacidad de la cabina (vehículo)	10 personas sentadas
Longitud horizontal total (m)	13,610
Longitud horizontal por línea (m)	Línea 1: 2,610 / Línea 2: 4,960 / Línea 3: 4,750 / Línea 4: 1,290
Ancho de vía (m)	6.4
Número total de estaciones	9 edificios arquitectónicos
Estación motriz	4 estaciones motrices (Parque Juarez Línea 1, Xonaca Línea 2 y 3, Parque Biblioteca Línea 4)
Estación Tensión	3 estaciones retorno tensión (CIS Línea 1, Parque Juarez Línea 2, Xonaca Línea 3) y 1 motriz tensión (Parque Biblioteca Línea 4)
Estaciones intermedias	4 estaciones intermedias (Línea 1 BUAP, Línea 2 CENHCH y Parque ecológico, Línea 3 Parque Biblioteca)
Número de cabinas total	154 inicial / 383 final
Número de cabinas iniciales por línea	Línea 1: 29, Línea 2: 56, Línea 3: 51 y Línea 4: 16
Número de cabinas finales por línea	Línea 1: 73, Línea 2: 139, Línea 3: 126 y Línea 4: 39
Almacén de cabinas	Línea 1 estación BUAP, Línea 2 y 3 estación Xonaca, Línea 4 Parque Biblioteca y Unidad Deportiva
Velocidad de ejercicio con motor principal	6 m/s (21.6km/hr)
Potencia motores - servicio por línea (kW)	Línea 1: 480, Línea 2: 890, Línea 3: 727 y Línea 4: 256
Potencia motores - arranque por línea (kW)	Línea 1: 653, Línea 2: 1218, Línea 3: 1056 y Línea 4: 356
Potencia motores - frenado por línea (kW)	Línea 1: -337, Línea 2: -661, Línea 3: -697 y Línea 4: -176
Número de bucles	4
Tiempo de recorrido total y por línea (minutos)	45.3 total, Línea 1: 8.63, Línea 2: 16.74, Línea 3: 15.20 y Línea 4: 4.72
Intervalo de tiempo entre vehículos en la capacidad (s)	36 s inicial / 14.4 s final
Equidistancia entre vehículos en la capacidad (m)	216 m inicial / 86.4 final
Cable (mm)	52
Tipo de torres	Tubulares de sección variable
Número de torres total y por línea	96 torres en total, Línea 1: 20 torres, Línea 2: 36 torres, Línea 3: 31 y Línea 4: 9 torres
Vano máximo entre torres (m)	378
Altura máxima torre (m)	45

Fuente: Elaboración propia

4.1.1 Características del sistema:

El Modelo D-Line que corresponde a la última generación de teleféricos con las siguientes ventajas.

- Bajo nivel de vibraciones, consecuentemente menos ruido, mayor confort para el pasajero.
- Diseño mejorado, con menos componentes y requiere de menor tiempo de mantenimiento, así como un menor costo de mano de obra, partes y piezas de repuesto.
- Mayor vida útil del cable de tracción.
- Pinza de nuevo diseño con mayor vida útil y menor requerimiento de mantenimiento.
- Cabina de dimensionas mayores, proporciona mayor comodidad al pasajero.
- Estaciones optimizadas con relación al ruido.
- Conjunto de tracción mejorado con menos piezas móviles y de mayor eficiencia:
    - Motor de tracción síncrono de excitación permanente, accionado por variador de frecuencia.
    - Montaje del motor de tracción encima de la polea de tracción
    - No necesita caja reductora
    - No tiene árbol de transmisión
- Velocidad de hasta 7 m/s.
- Diámetro de cable de hasta 64 mm de diámetro.
- Balancines con capacidades de soporte de carga incrementadas en un orden de 16% a 40% dependiendo del tipo de balancín.
- Nuevo diseño de mástil.
- Mayores longitudes de recorrido.

En resumen, el sistema de transporte urbano por cable presenta las siguientes ventajas:

- Proporciona ahorro de tiempo de transporte, al conectar dos o más puntos en línea recta a una velocidad constante.
- Bajo Consumo de energía eléctrica.
- Tiempo de implementación:
    - Más corto comparado con la construcción de redes viales, túneles y puentes
- Accesibilidad: Total para personas con discapacidad.
- Mayor comodidad: los pasajeros van sentados.
- Mayor seguridad: Es uno de los sistemas de transporte más seguros del mundo.
- Confiabilidad: alta disponibilidad del servicio.
- Integración: facilita la interconexión con otros medios de transporte terrestres.
- Modalidad: es un sistema donde el servicio es continuo, es decir las cabinas circulan de forma continua en el trayecto y no atienden por “lotes” como ocurre con sistemas como buses, metros, etc.

4.1.2 Estaciones

Las 9 estaciones consideradas son descritas de la siguiente manera:

1. CIS (Centro Integral de Servicios): Punto de partida del recorrido. Esta estación se ubica en una zona administrativa clave, cercana a oficinas gubernamentales y accesible desde avenidas principales. Se proyecta como un nodo de conexión para usuarios provenientes del sur de la ciudad y de zonas metropolitanas.

2. BUAP: Ubicada en una zona de uso mixto, con gran valor recreativo y cultural.
3. Parque Juárez: Ubicada en una zona de uso mixto, con gran valor recreativo y cultural. Facilita el acceso a espacios verdes y a áreas de oficinas, comercio y servicios.
4. CENCH (Centro Escolar Niños Héroes de Chapultepec): Estación educativa que dará servicio a estudiantes, docentes y personal de uno de los complejos escolares más grandes
5. Parque Ecológico: Esta estación se localiza en una importante área verde de la ciudad. Facilitará el acceso a actividades recreativas, deportivas y culturales, siendo también un punto de encuentro para ciclistas y peatones.
6. Deportivo Xonaca: Situada en una zona deportiva, esta estación permitirá la llegada directa a instalaciones utilizadas cotidianamente por la población para actividades físicas y recreación, además de servir como punto de acceso a barrios colindantes.
7. Parque Biblioteca: Estación ubicada en una zona habitacional, con el objetivo de acercar el sistema a colonias densamente pobladas. Permitirá reducir la dependencia del transporte motorizado en viajes cortos.
8. Cerro Amalucan: Terminal del recorrido, ubicada en una zona periférica con alta densidad poblacional y limitada oferta de transporte público eficiente. Esta estación representa un punto estratégico para conectar colonias marginadas con el resto de la ciudad. .
9. Parque Industrial Puebla: Estación intermedia en una zona con mezcla de usos habitacionales e industriales. Permitirá el acceso a servicios esenciales de la zona oriente de Puebla.

4.1.2.1 Arquitectura

Las estaciones para el Sistema tipo teleférico están concebidas como pabellones, con el propósito de que los edificios interactúen con el sitio en donde se emplazan; de esta forma las estaciones se vuelven el pretexto para rehabilitar el espacio público contiguo a la estación.

Al adoptar la tipología de pabellón se buscó que las estaciones fueran lo más pequeñas posibles, no solo por las implicaciones económicas y de recursos sino para que las estaciones no se conviertan en edificios fuera de escala y agresivos con en el sitio en donde se emplazan.

El pabellón “tipo” está concebido para tener todas las áreas de servicio y equipamiento en planta baja, por lo que los muros son de tabique vidriado, un material sólido y hermético; mientras que en primer nivel la idea es tener un andén continuo, ligero, amplio y luminoso, por lo que la fachada tendrá parasoles de paneles de acero esmaltados en distintas tonalidades para generar una experiencia distinta al usar este transporte.

4.1.3 Estructuras metálicas (torres)

Las torres de soporte del cable de línea y las obras metálicas de las estaciones extremas se solidarizan con las cimentaciones a través de uniones atornilladas.

Toda la construcción metálica deberá montarse según los procedimientos de calidad del fabricante y se aportarán los certificados y las fichas de montaje que justifican la calidad de los trabajos de montaje.

El montaje de las torres puede realizarse mediante grúa, o bien con la ayuda de helicóptero en lugares inaccesibles.

4.1.4 Cable

Una vez las estaciones y torres están ensambladas, se debe proceder al tendido y empalme del bucle de cable. En primer lugar, se tiende un cable de pequeño diámetro, que servirá de guía para tirar el cable portador/tractor. Será necesario prever protecciones (redes sobre pórticos metálicos provisionales) en los cruces con vías de circulación para evitar accidentes en caso de problemas durante la operación de tendido y empalme del cable. Una vez que el cable está sobre sus apoyos, se realiza el empalme del mismo.

El empalme se realiza manualmente con ayuda de herramientas específicas. Se trata de abrir el cable (que ha sido confeccionado con máquinas de precisión), extraer una longitud determinada de cordón en cada ramal a empalmar e insertar la misma longitud los cordones correspondientes del otro ramal de cable, para reconstituir un cable del mismo diámetro y resistencia que el original.

Una vez reconstituido el cable para formar un anillo cerrado, es posible colgar los vehículos.

4.1.5 Cableado eléctrico

Electricistas especializados son los encargados de realizar el cableado del motor eléctrico, así como de todas las seguridades inherentes a la instalación.

4.2 Frecuencia de los servicios o intervalos entre los mismos

Se considera a la frecuencia del servicio de transporte de pasajeros, (f) al número de unidades que pasan en un punto dado o determinado en la ruta durante un ahora o cualquier periodo determinado de tiempo, siendo la frecuencia inversa al intervalo, donde ambos están relacionado, la siguiente expresión los define:

4.3 Factor de comodidad de los vehículos

Como ya se indicó, los vehículos tendrán una capacidad de diez plazas sentadas. En este caso se busca que las cabinas puedan recibir todo tipo de usuario y, en particular, personas en sillas de ruedas, con equipaje y/o coches de niños, personas con bultos y otros. Para cumplir estos criterios, el nivel de piso de cabina corresponde con el nivel de los andenes de la estación. Las cabinas son suficientemente altas (1.90 m. como mínimo), para que los pasajeros puedan acceder sin agacharse y puedan estar de pie durante el trayecto de forma cómoda. A continuación, se enlistan, algunas de las características de los vehículos.

- Las cabinas son cerradas, provistas de mecanismos de puertas de apertura y cierre automáticos de funcionamiento confiable. Existe un dispositivo de bloqueo automático que impide la apertura intempestiva de éstas. No obstante, existe la posibilidad de desbloqueo de las puertas desde el exterior, que será accionado por el rescatador en caso de producirse una evacuación.
- La apertura de las puertas permite la salida y entrada cómodamente de los pasajeros, incluyendo personas discapacitadas en sillas de ruedas.
- El chasis es de aluminio o acero galvanizado.

- Las cabinas contarán con una iluminación interna para las horas nocturnas de funcionamiento del sistema de transporte. Su nivel de iluminación será de al menos diez luxes (10 lx) dentro de la cabina. Para ello, contarán con una fuente de alimentación propia (baterías), las cuáles se cargan a cada paso en estación gracias a raíles electrificados que les proporcionan alimentación eléctrica. Al mismo tiempo estarán dotadas de Interfono, que permitirá una comunicación bidireccional con las estaciones.
- La ventilación de la cabina se ubicará una ventana tipo persiana basculante con el fin de permitir entrada de aire. En el hueco de la ventana se colocará una reja o similar para evitar que los pasajeros lancen objetos por ella.
- Las cabinas están unidas al cable gracias a un brazo de suspensión, de perfil tubular, el cual dispone de una pinza a su extremidad. Esta pinza transmitirá un par de apriete al cable para que el vehículo no deslice. La superficie útil de la cabina es de 4.4 m^2. Por lo tanto, el factor de comodidad es igual a 2.3 pasajeros/m^2.

4.4 Alineación estratégica

4.4.1 Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos menciona en su artículo cuarto que “Toda persona tiene derecho a la movilidad en condiciones de seguridad vial, accesibilidad, eficiencia, sostenibilidad, calidad, inclusión e igualdad”.”[5]

4.4.2 Ley general de asentamientos humanos, ordenamiento territorial y desarrollo urbano

En el artículo cuarto de la ley general de asentamientos humanos, ordenamiento territorial y desarrollo urbano sección X se estable como principio la accesibilidad y movilidad, en concreto se dice declara que se busca “Promover una adecuada accesibilidad universal que genere cercanía y favorezca la relación entre diferentes actividades urbanas con medidas como la flexibilidad de Usos del suelo compatibles y densidades sustentables, un patrón coherente de redes viales primarias, la distribución jerarquizada de los equipamientos y una efectiva Movilidad que privilegie las calles completas, el transporte público, peatonal y no motorizado.”

En el mismo sentido, la ley de asentamientos urbanos en el título séptimo capítulo único artículo 70 declara que “Para la accesibilidad universal de los habitantes a los servicios y satisfactores urbanos; las políticas de Movilidad deberán asegurar que las personas puedan elegir libremente la forma de trasladarse a fin de acceder a los bienes, servicios y oportunidades que ofrecen sus Centros de Población.” En los subsecuentes artículos se detallan los lineamientos de las políticas y programas de movilidad, se menciona que estos deben buscar una movilidad universal, equitativa, segura, igualitaria e innovadora. [6]

4.4.3 Plan Nacional de Desarrollo (2025 2030)

[5] (Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos, México, 1917)
[6] (Ley de asentamientos humanos, ordenamiento territorial y desarrollo urbano, México, 2016)

La presidenta Claudia Sheinbaum presenta en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) las directrices, estrategias y objetivos bajo los cuales gobernará durante su mandato. En el objetivo 2.10 del documento se declara que se busca "promover entonos públicos justos y adaptativos mediante la planificación de espacios rurales y urbanos, con el objetivo de reducir las disparidades en el acceso a oportunidades y servicios entre diferentes regiones y comunidades del país" Para conseguir dicho objetivo se seguirán cuatro estrategias:

- Estrategia 2.10.1: Dotar a la población mexicana de infraestructura para la movilidad y el transporte público que facilite el tránsito de personas y bienes de manera accesible, sostenible, segura y eficiente, priorizando la intermodalidad en sistemas urbanos y rurales.
- Estrategia 2.10.3: Promover un ordenamiento territorial integral y sustentable que articule la gestión de riesgos de desastres, la integración armónica de los ámbitos rural y urbano, mediante procesos de planeación participativos para reducir las desigualdades socio-territoriales.

4.4.4 Estrategia Nacional de Movilidad y Seguridad Vial (2023-2043)

En el 2023 la Secretaría de Desarrollo Urbano Territorial y Urbano (SEDATU) publico la estrategia nacional de movilidad y seguridad vial, esta presenta un plan de movilidad a 20 años en el cual se busca: impulsar acciones que promuevan servicios de transporte público sostenible y seguro en todo el territorio nacional, priorizando infraestructura de calidad y las necesidades de los grupos vulnerables; promover sistemas de movilidad y transporte que contribuyan a reducir las brechas de desigualdad a través del diseño de planeación de infraestructura, normatividad e instrumentos que aseguren una movilidad de calidad y accesible, con perspectiva de género interseccional y de atención a grupos en situación vulnerable.

Entre los principios que sustentan la ENAMOV y que dan fundamento al teleférico de Puebla está la búsqueda de equidad e inclusión, seguridad, sostenibilidad y eficiencia e innovación.[7]

4.4.5 Plan Estatal de Desarrollo de Puebla (2024 – 2030)

En el plan Estatal de Desarrollo del estado de Puebla se visibiliza el problema de movilidad, se menciona "Puebla necesita que las y los poblanos tengan un transporte público que les permita trasladarse a sus casas, trabajos y con sus familias, de manera segura, adecuadas y que respete la ley"

En atención a este diagnóstico, se establece el objetivo 4.3.1 Impulsar la movilidad sostenible y accesible en el estado, la estrategia 4.3.1.1 Reordenamiento y modernización del Transporte Público y las líneas de acción 4.3.1.1.1 Implementar instrumentos de regularización del transporte público, 4.3.1.1.2 Impulsar mecanismos de reordenamiento de rutas del transporte público y 3.4.1.1.3 Promover la modernización de transporte público en el estado.[8]

4.4.6 Plan Municipal de Desarrollo (2024-2027)

[7] (SEDATU, 2023, p. 202)
[8] (Gobierno del Estado de Puebla, 2024, p. 65)

El Plan Municipal de Desarrollo del municipio de Puebla hace un diagnóstico integral del municipio y presenta estrategias y objetivos a cumplir durante el periodo. En lo concerniente al mejoramiento de la movilidad en el municipio se establece la estrategia 3 y 4.

Estrategia 3: Impulsa la movilidad urbana sustentable.

- Línea de acción 3.2: Coadyuvar en el ordenamiento del transporte público en el Municipio de Puebla en coordinación con el Gobierno del Estado de Puebla.
- Línea de acción 3.8: Implementar estrategias para incentivar la movilidad no motorizada en el municipio.

Estrategia 4: Mejorar las condiciones de seguridad vial en el municipio.

- Línea de acción 4.4: Implementar acciones para la inclusión de elementos de accesibilidad universal en la infraestructura urbana del municipio.

4.5 Localización geográfica

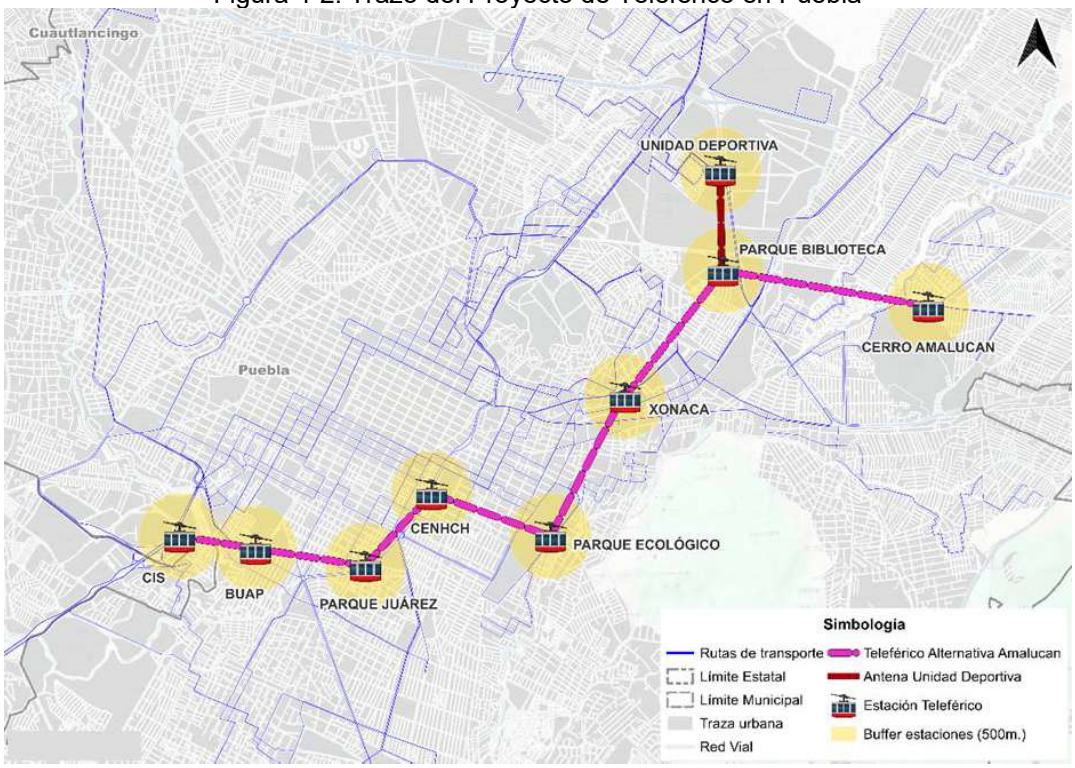
El proyecto se localiza en la ciudad de Puebla de Zaragoza, considerando la implementación de una línea troncal. A continuación, se presenta su localización en coordenadas geográficas en formato decimal, así como su representación gráfica.

Tabla 4-4 Coordenadas Geográficas

Estación	Latitud	Longitud
CIS	19.031083°	-98.228511°
BUAP	19.029472°	-98.219330°
PARQUE JUÁREZ	19.027192°	-98.205943°
PARQUE JUÁREZ	19.027354°	-98.205837°
CENCH	19.035245°	-98.197742°
PARQUE ECOLÓGICO	19.029968°	-98.183438°
XONACA	19.046021°	-98.174189°
XONACA	19.045884°	-98.173866°
PARQUE BIBLIOTECA	19.060215°	-98.161516°
CERRO AMALUCAN	19.055430°	-98.136841°
PARQUE BIBLIOTECA	19.060388°	-98.161772°
UNIDAD DEPORTIVA	19.071774°	-98.161629°

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-2. Trazo del Proyecto de Teleférico en Puebla



Fuente: Elaboración propia

4.6 Monto total de inversión

La inversión del proyecto contempla los costos asociados a la obra civil, sistema electromecánico y eléctrico, proyecto ejecutivo, entre otros. A continuación, se presenta el detalle.

Tabla 4-5 Monto total de inversión

Concepto de Obra	Monto sin IVA ($)	Monto con IVA ($)
Proyecto ejecutivo	$ 121,618,189	$ 141,077,099
Obra inducida	$ 201,858,396	$ 234,155,740
Obra civil de cimentación	$ 405,467,690	$ 470,342,520
Obra civil estaciones e instalaciones especiales	$ 852,632,647	$ 989,053,871
Sistema electromecánico de los teleféricos	$ 3,634,781,426	$ 4,216,346,455
Sistema eléctrico	$ 392,379,836	$ 455,160,609
Transferencia tecnológica	$ 183,981,862	$ 213,418,960
Certificación	$ 29,355,245	$ 34,052,085
Subtotal 1	**$ 5,822,075,292**	**$ 6,753,607,338**
Liberación del derecho de vía.	$ 183,086,000	$ 183,086,000
Ambiental	$ 24,953,020	$ 28,945,503
Subtotal 2	**$ 208,039,010**	**$ 212,031,503**
Total	**$ 6,030,114,312**	**$ 6,965,638,841**

Fuente: Elaboración propia.

4.7 Calendario de actividades

El proyecto se desarrollará en el periodo septiembre 2025 a diciembre del 2029, incluyendo el tiempo estimado para la liberación del derecho de vía y la elaboración de estudios ambientales y el proyecto ejecutivo.

Tabla 4-6 Calendario de actividades

No.	Concepto de obra	Monto sin IVA ($)		2025	2026	2027	2028	2029
1	Liberación del derecho de vía.	$183,086,000		0%	100%	0%	0%	0%
				$0	$183,086,000	$0		
2	Ambiental	$24,953,020		0%	60%	40%	0%	0%
				$0	$14,971,812	$9,981,208		
3	Proyecto ejecutivo	$121,618,189		0%	54%	27%	19%	0%
				$0	$65,673,822	$32,836,911	$23,107,456	$0
4	Obra inducida	$201,858,396		0%	18%	20%	8%	54%
				$0	$37,283,246	$39,786,290	$16,592,760	$108,196,100
5	Obra civil de cimentación	$405,467,690		0%	19%	58%	24%	0%
				$0	$75,011,523	$234,198,138	$96,258,030	$0
6	Obra civil estaciones e instalaciones especiales	$852,632,647		30%	5%	11%	1%	54%
				$259,370,851	$38,368,469	$91,743,273	$4,860,006	$458,290,048
7	Sistema electromecánico de los teleféricos	$3,634,781,426		34%	29%	18%	19%	0%
				$1,243,095,248	$1,058,811,829	$646,991,094	$685,883,255	$0
8	Sistema eléctrico	$392,379,836		0%	8%	66%	26%	0%
				$0	$31,390,387	$260,814,877	$100,174,572	$0
9	Transferencia tecnológica	$183,981,862		0%	0%	0%	8%	92%
				$0	$0	$0	$15,344,087	$168,637,775
10	Certificación	$29,355,245		0%	0%	0%	66%	34%
				$0	$0	$0	$19,465,463	$9,889,782
	Total sin IVA	**$6,030,114,312**	Monto por periodo	$1,502,466,099	$1,504,597,088	$1,316,351,790	$961,685,629	$745,013,705
	IVA 16% (sin IVA en DDV)	**$935,524,530**	% por periodo	24.92%	24.95%	21.83%	15.95%	12.35%
	Total con IVA	**$6,965,638,841**	Monto acumulado	$1,742,860,675	$1,716,038,862	$1,526,968,076	$1,115,555,330	$864,215,898
			% acumulado	24.92%	49.87%	71.70%	87.65%	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

4.8 Fuentes de financiamiento

Para la financiación de la inversión del Proyecto se establece la participación de recursos públicos por parte del Estado de Puebla. A continuación, se presenta el resumen de las fuentes de financiamiento por año y concepto general de obra (pesos 2025 con IVA).

Tabla 4-7 Fuentes de financiamiento por año y por concepto general de obra (montos con IVA)

No.	Concepto de obra	2025 Gob. Edo. Puebla	2026 Gob. Edo. Puebla	2027 Gob. Edo. Puebla	2028 Gob. Edo. Puebla	2029 Gob. Edo. Puebla	Total Gob. Edo. Puebla
1	Liberación del derecho de vía.	$0	$183,086,000	$0	$0	$0	$183,086,000
2	Ambiental	$0	$17,367,302	$11,578,201	$0	$0	$28,945,503
3	Proyecto ejecutivo	$0	$76,181,634	$38,090,817	$26,804,649	$0	$141,077,099
4	Obra inducida	$0	$43,248,565	$46,152,096	$19,247,602	$125,507,477	$234,155,740
5	Obra civil de cimentación	$0	$87,013,366	$271,669,840	$111,659,314	$0	$470,342,520
6	Obra civil estaciones e instalaciones especiales	$300,870,188	$44,507,424	$106,422,197	$5,637,607	$531,616,456	$989,053,871
7	Sistema electromecánico de los teleféricos	$1,441,990,487	$1,228,221,722	$750,509,669	$795,624,576	$0	$4,216,346,455
8	Sistema eléctrico	$0	$36,412,849	$302,545,257	$116,202,504	$0	$455,160,609
9	Transferencia tecnológica	$0	$0	$0	$17,799,141	$195,619,818	$213,418,960
10	Certificación	$0	$0	$0	$22,579,937	$11,472,147	$34,052,085
	Total	$1,742,860,675	$1,716,038,862	$1,526,968,076	$1,115,555,330	$864,215,898	$6,965,638,841
	Composición (%)	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

4.9 Capacidad instalada

La capacidad instalada hace referencia a la demanda máxima que puede atenderse con el proyecto. Para el proyecto del teleférico en Puebla es de 1000 pasajeros por hora sentido. Considerando el ritmo de crecimiento de la demanda, esta aumenta a lo largo del horizonte de evaluación a un ritmo promedio anual del 1.2%. El sistema puede satisfacer las necesidades de viaje pronosticadas en el horizonte de evaluación.

4.10 Metas anuales

Las metas anuales se refieren a la demanda estimada del proyecto. De acuerdo con el estudio de demanda, se espera que el proyecto pueda captar hasta 18,930 pasajeros al día (en promedio diario entre semana) en el año 2025 como base y para el año 2030, año de inicio de operaciones del proyecto, se capten 20,615 pasajeros al día. En el largo plazo se espera que la demanda del teleférico crezca a un ritmo promedio anual de 1.2%.

4.11 Vida útil

La vida útil del proyecto es de 35 años, pero podría prolongarse hasta 50 años en función de la aplicación de las medidas de mantenimiento y operación adecuadas.

4.12 Descripción de los aspectos más relevantes

A continuación, se presenta el resumen de los elementos más importantes vinculados con las diferentes factibilidades. Para más detalle, se sugiere consultar los informes de factibilidad anexos a este documento.

4.12.1 Factibilidad de mercado

El estudio de demanda de transporte proporciona las estimaciones de demanda del proyecto seleccionado. Este brinda los insumos relacionados con la oferta y demanda necesarios para el estudio socioeconómico destinado a demostrar la conveniencia social proyecto. Los objetivos específicos por cubrir consistieron en:

- Realizar todos los trabajos de campo requeridos para describir la oferta y demanda actual de transporte público.
- Realizar una caracterización detallada de la oferta y demanda actual del transporte público y privado para identificar la dinámica de movilidad en el área de influencia del sistema propuesto.
- Realizar un diagnóstico de la movilidad que permita identificar sus principales características.

- Confeccionar un modelo de transporte que permita estimar el comportamiento de la demanda de transporte frente a los cambios en la oferta, considerando la interacción de los demás modos y las necesidades de viajes de los usuarios.
- Realizar una prognosis de la demanda de transporte.
- Estimar la demanda para el proyecto seleccionado por horarios críticos y por día.

Conforme a la metodología señalada en aparatos previos, se llevaron a cabo las actividades correspondientes a la toma de información de campo consiguiendo con esto, conformar una base de datos que permitió, por una parte, caracterizar el área de estudio en cuanto a su movilidad y a su vez, conformar un conjunto de datos que alimenten el modelo de transporte.

Finalmente se desarrolló un modelo de transporte que representara adecuadamente los patrones de viaje de la actual demanda del área de influencia directa del proyecto, para posteriormente realizar las asignaciones en escenarios con proyecto y optimizados para los distintos periodos del día y los diferentes días de la semana.

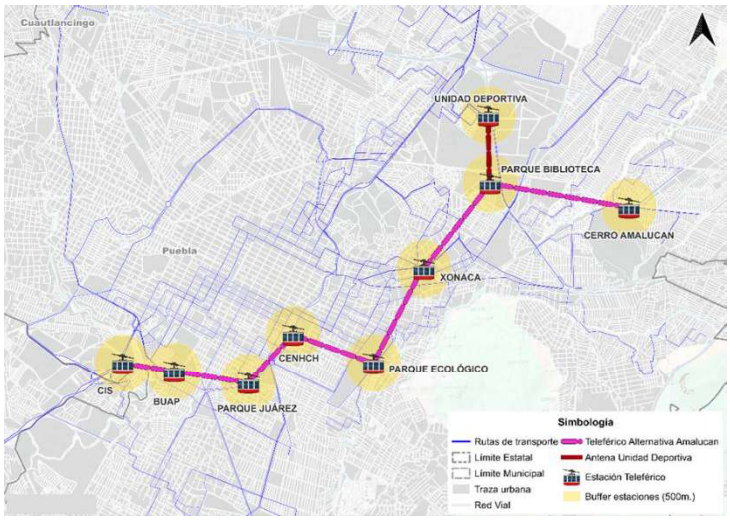
4.12.2 Factibilidad técnica

El proyecto consiste en un teleférico compuesto por cuatro líneas independientes, en cada una de las estaciones de transferencia, los usuarios deberán descender y abordar nuevamente para continuar el trayecto en la siguiente línea.

El sistema de teleférico estará operando a una velocidad de 6 m/s es decir 21.6 km/h. Cuando el sistema se encuentra operando a una capacidad de 1,000 personas por hora por dirección, el intervalo de tiempo que tendrá entre cabinas es de 36 segundos y cuando el sistema de teleférico esté operando con la capacidad máxima de 2,500 personas por hora por dirección, el intervalo de tiempo que tendrá entre cabinas es de 14.4 segundos. Las cabinas que tendrán este sistema serán para 10 personas sentadas con asientos abatibles.

En la siguiente figura se muestra la imagen del sistema completo.

Figura 4-3. Sistema Teleférico completo



Fuente: Elaboración propia

4.12.2.1 Obra civil

4.12.2.1.1 Estructuras metálicas, torres

Las torres de soporte del cable de línea y las obras metálicas de les estaciones extremas se solidarizan con las cimentaciones a través de uniones atornilladas. Toda la construcción metálica deberá montarse según los procedimientos de calidad del fabricante y se aportarán los certificados y las fichas de montaje que justifican la calidad de los trabajos de montaje. El montaje de las torres puede realizarse mediante grúa, o bien con la ayuda de helicóptero en lugares inaccesibles.

4.12.2.2 Equipamiento y componentes electromecánicos

4.12.2.2.1 Estaciones electromecánicas

Los techos de estaciones para los componentes electromecánica deberán contar con una cubierta completamente cerrada, diseñada para ofrecer protección total frente a las condiciones climáticas. Esta cubierta deberá garantizar la preservación y correcto funcionamiento de los equipos electromecánicos instalados en dicha zona.

Los cerramientos laterales deberán estar conformados por elementos acristalados con forma abovedada, fabricados en policarbonato sólido y/o cristal de seguridad laminado, montados en marcos de aluminio de alta resistencia. Estos componentes deberán cumplir con exigencias de durabilidad, resistencia al impacto, seguridad estructural y transparencia, contribuyendo a una solución arquitectónica coherente con el diseño general del proyecto. A continuación, se muestran imágenes referenciales de las cubiertas de estaciones electromecánicas.

Figura 4-4 Cubierta de estaciones electromecánicas, imágenes referenciales línea 3 (izquierda) y línea 2 de Cablebús de la Ciudad de México (derecha).



Fuente: Elaboración propia

El funcionamiento de la estación debe garantizar que, al atravesar el punto de embrague, los vehículos se separen del cable de manera, para que el transportador de neumáticos los muevas a través de la estación. Este transportador de neumáticos deberá ser accionado directamente mediante poleas, las cuales estarán unidas al sistema a través de un accionamiento por rueda de fricción basculante. Al ingresar a la estación, los vehículos deberán desacelerarse hasta alcanzar la velocidad de estación, y al salir, deberán acelerarse nuevamente hasta la velocidad del cable. Todo el proceso

de embrague y el paso de los vehículos por la estación deberá ser supervisado por dispositivos de seguridad que garanticen el correcto funcionamiento del sistema.

El sistema de propulsión principal debe ser diseñado para minimizar los niveles de ruido y vibraciones. La disposición de los componentes debe optimizar la operación y facilitar las tareas de mantenimiento mediante un diseño sencillo de cableado y tuberías.

Las unidades motrices fijas, situadas sobre un bastidor de máquina y alojadas en los armazones portantes de cada sección, deben estar configuradas para transmitir las fuerzas de tracción del cable a los postes de hormigón mediante barras de tracción. El motor "direct drive" (motor de transmisión directa) debe propulsar el volante motriz a través del árbol de torsión, mientras que los frenos de servicio y seguridad deben actuar directamente sobre el volante principal.

La estación motriz deberá incorporar una polea motriz capaz de accionar el cable portador-tractor mediante una guarnición de goma, que funcione como superficie de tracción y guía del cable. Esta polea deberá estar diseñada para transmitir el movimiento de manera continua y segura, asegurando un contacto estable con el cable en condiciones operativas normales. Asimismo, la polea deberá integrar una corona dentada que permita su acoplamiento con un sistema de accionamiento de emergencia, con el fin de garantizar la operación del sistema en caso de fallo del accionamiento principal.

El equipamiento estructural de cada estación deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- El armazón portante de la estación deberá estar conformado por una estructura de acero galvanizado, instalada sobre apoyos de acero y/o concreto. La fijación de esta estructura y la transferencia de cargas hacia la cimentación deberán realizarse mediante sistemas de anclaje o insertos estructurales adecuados.
- Los rieles deberán contar con revestimientos de goma, y los carriles de desembrague deberán estar optimizados para la reducción de ruido. Asimismo, los sistemas de guiado exteriores deberán estar insonorizados para minimizar el impacto acústico durante el paso de los vehículos por la estación.
- Los conjuntos de poleas de entrada y los accionamientos mediante rueda de fricción basculante deberán estar adaptados a la longitud de paso del cable tractor, y su diseño deberá minimizar la transmisión de vibraciones hacia la estructura principal.
- En los transportadores de neumáticos, cada correa trapezoidal deberá contar con un sistema de tensado independiente, y cada neumático deberá tener una posición definida que permita su reemplazo individualizado sin afectar el sistema general.
- Las pasarelas de mantenimiento deberán ser del tipo rejilla, y estar equipadas con amortiguadores de presión que aseguren la accesibilidad y seguridad en las zonas de entrada y salida de las estaciones.
- El acceso al armazón portante deberá ser bloqueable y realizarse mediante una escalera ergonómica integrada, preferentemente apoyada en un diseño que optimice la intervención técnica, como un poste frontal de estación patentado o equivalente.

4.12.2.2.2 Dispositivo tensor hidráulico

El sistema deberá contar con un sistema tensor hidráulico que mantenga la fuerza de tensión del cable tractor dentro de los valores límite admisibles establecidos para la operación segura del sistema. La tensión deberá ser generada mediante un conjunto hidráulico, el cual deberá contar con al menos

dos cilindros hidráulicos equipados con dispositivos dinamométricos de doble canal, que permitirán el desplazamiento del carro tensor y la aplicación de la fuerza de tensión al cable.

4.12.2.2.3 Características electromecánicas de torres

Durante la fase del proyecto ejecutivo, deberá realizarse un estudio técnico que contemple el cálculo estructural necesario para definir las dimensiones mínimas de las torres, garantizando en todo momento su estabilidad estructural, funcionalidad y durabilidad. Este estudio deberá especificar la posición exacta de cada torre, el ángulo de inclinación, la altura, el equipamiento requerido, así como el tipo de balancines y los diámetros de las poleas a utilizar. Asimismo, con base en los resultados obtenidos en los estudios topográficos y de conformidad con las disposiciones de la dependencia competente, se determinará el número definitivo de torres a implementar.

El diseño, fabricación, montaje y puesta en operación del sistema teleférico se llevarán a cabo conforme al Reglamento (UE) 2016/424 y a la normativa europea CEN. La infraestructura asociada, incluyendo torres y estaciones, elementos fundamentales del sistema electromecánico, será fabricada, suministrada y montada cumpliendo con todos los requisitos técnicos y de seguridad establecidos por la normativa y reglamentación europea vigente, por lo que el suministro de toda la infraestructura del teleférico deberá ser de procedencia europea en cumplimiento de las normas citadas.

4.12.2.2.4 Estructura de las Torres

Las torres del sistema deberán contar con un diseño estructural robusto, fabricadas en tubos de acero que se estrechen en la parte superior para mejorar su comportamiento estructural. Las superficies metálicas deberán estar galvanizadas para garantizar su resistencia a la corrosión. La fijación de las torres a la cimentación deberá realizarse mediante tornillos de anclaje, asegurando una conexión firme y duradera con los elementos de hormigón. Cada torre deberá disponer de escaleras de mano y plataformas de mantenimiento de dimensiones suficientes que permitan un acceso seguro y condiciones adecuadas para la inspección y operación técnica del sistema.

Figura 4-5 Torres de un sistema teleférico urbano, Cablebús línea 3 (izquierda), Cablebús Línea 2 (derecha).



Fuente: Elaboración propia

Las torres consideran los siguientes accesorios:

- Anclaje con bloque de hormigón (para torres con conjuntos de poleas de carga alterna y de compresión).
- Tubos de soporte.
- Dispositivos anticaídas.

- Protección solar en torres antes de entrada y salida de la estación.
- Estación meteorológica, manga de viento, indicador de dirección y anemómetro (por definir posición)
- Cabezal con posibilidad de fijación de polipastos apto para levantar el cable con cabinas llenas.

Se considerará el mínimo impacto sobre el paisaje y la ciudad y distancias de seguridad contra el impacto con otras estructuras (de acuerdo con EN 12929-1) y el galibo mínimo de acuerdo con las normativas internacionales. El galibo será calculado desde la base de las cabinas.

Altura de las torres. La altura será variable entre los 7 y 55 metros. Con los cuales se superan los obstáculos existentes actualmente en vertical.

4.12.2.2.5 Cable Portador-Tractor

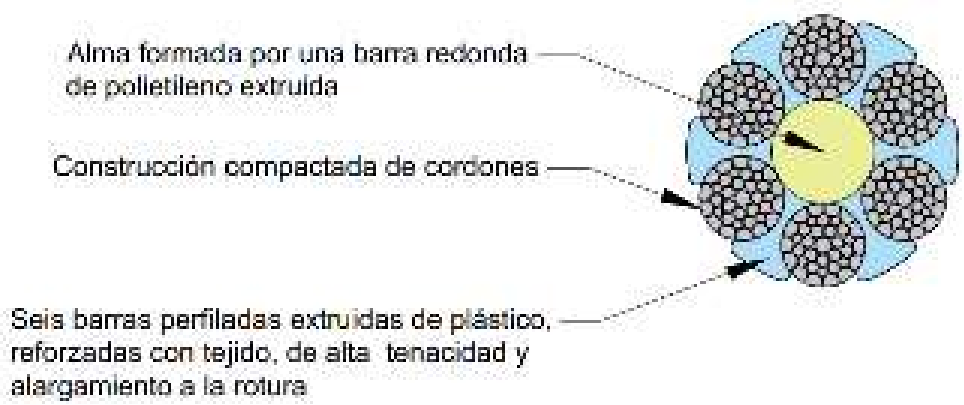
El sistema utilizará un cable portador-tractor que deberá contar con un recubrimiento plástico entre sus cordones, con el objetivo de reducir la vibración durante la operación. Esta característica contribuye al confort de los pasajeros y disminuye el desgaste en los componentes mecánicos de las torres y estaciones.

Cada tramo del cable estará unido mediante un empalme en bucle cerrado, realizado por personal especializado del fabricante.

Se proporcionará la certificación correspondiente (marcado CE), que acreditará el cumplimiento de los requisitos de diseño, fabricación y empalme.

El cable deberá cumplir con la norma EN 12927:2020, que establece los requisitos de seguridad para instalaciones de transporte por cable destinadas al traslado de personas.

Figura 4-6 Diagrama interno de cable portador-tractor



Fuente: Elaboración propia

Descripción de cable portador tractor.

- El cable será de acero con alma sintética.
- El tipo de cable será compacto, utilizando el proceso de trefilado en frío con hileras. Durante el cordoneado, los alambres redondos se pasan por una hilera de trefilado especialmente diseñada y en la cual se realiza el compactado. Así el diámetro de cordón compactado es más pequeño que la composición de los alambres en sus dimensiones originales. Los alambres serán altamente dúctiles.
- Los cables se probarán en fábrica, conforme al texto reglamentario correspondiente a la construcción de los cables mecánicos. Los cables serán engrasados en fábrica.
- Normalmente, no habrá ningún defecto de forma de más de 0,6 mm de diferencia entre la cima de los cables trenzados tomados sobre cuatro pasos y sobre una generatriz en una sección corriente; sobre el empalme, la diferencia será de hasta un milímetro.
- Los aceros estarán conformes a las normas y reglamentos de rigor en la CE (relativos a la construcción y el aprovechamiento de las instalaciones de los sistemas de cable).

El diámetro de los nudos de empalme deberá ser lo más cercano posible al diámetro nominal del cable, sin superar los límites establecidos por las normativas vigentes.

El empalme del cable se deberá realizar de manera que se garantice suficiente espacio para que el personal de operación pueda llevar a cabo las tareas de mantenimiento y revisión de cada sección de forma segura y eficiente.

La longitud del cable y los empalmes deberán estar ajustados a las especificaciones del perfil longitudinal de la instalación, tomando en cuenta la disposición exacta de las torres y asegurando la continuidad sin fin del cable a lo largo la línea.

4.12.2.2.6 Hilo de guarda equipotencial.

Se deberá instalar un sistema de protección contra rayos a lo largo de todo el trayecto de la línea, utilizando un hilo de guarda, que se instalará en cada una de las torres. Este hilo de guarda será responsable de proteger el cable portador-tractor de las descargas atmosféricas directas, desviando la energía hacia el sistema de puesta a tierra.

El hilo de guarda deberá ser de material conductor adecuado para soportar las tensiones generadas por las descargas eléctricas, y estará instalado de manera que cubra toda la extensión del teleférico, asegurando que cada torre esté conectada al sistema de tierra física.

Además, el hilo de guarda deberá cumplir con los estándares internacionales de protección contra rayos y garantizar una conexión a tierra continua y efectiva entre todos los componentes eléctricos y metálicos a lo largo del trayecto de la línea, minimizando el riesgo de daños por sobretensiones.

4.12.2.2.7 Cables aéreos de comunicación y control.

Se deberá suministrar e instalar cables aéreos a lo largo de toda la línea para garantizar la comunicación del sistema y el control de los elementos de seguridad asociados. Estos cables deberán conectarse a cajas de conexiones ubicadas en cada torre y estación, permitiendo la interconexión adecuada entre los distintos puntos del sistema y facilitando su monitoreo y operación.

Los cables aéreos serán de acero y se instalarán en la parte central de las torres, sobre el cabezal, asegurando su estabilidad y protección. Estos cables deberán estar debidamente protegidos por el cable pararrayos, el cual se ubicará adyacente a ellos, garantizando una adecuada protección contra descargas atmosféricas y asegurando la integridad de los componentes del sistema.

La instalación de los cables aéreos deberá cumplir estrictamente con las normativas de seguridad aplicables, asegurando una operación continua y eficiente del sistema, así como la integración efectiva de los sistemas de comunicación y control de seguridad a lo largo de toda la instalación.

4.12.2.3 Vehículos – cabinas

El tipo de tecnología que se construirá en Puebla es un Sistema de Transporte por cable de Cabina desembragable, este tipo de tecnología de teleféricos cuenta con un cable portador tractor que permite transportar a las cabinas que van ancladas mediante una pinza, pueden adicionarse cabinas, es decir, el Sistema será diseñado para cumplir con una capacidad máxima de 2,500 personas por hora, sin embargo, para este tipo de infraestructura.

Los vehículos deberán ser fabricados en aluminio ligero para garantizar una estructura resistente y de bajo peso con una capacidad para 10 plazas, todas con asientos individuales.

Las cabinas deberán contar con amplias aberturas de ventilación en la parte inferior, ventanas abatibles en la parte superior y ventanas correderas en las puertas. El cliente determinará el color de las cabinas, las puertas y los zócalos.

En cuanto a la pinza desembragable, su función principal será conectar el vehículo al cable portador-tractor. Esta pinza permanecerá cerrada durante el trayecto y solo se abrirá en las estaciones para desconectar la cabina del cable portador.

Los muelles helicoidales deberán mantener la pinza cerrada mientras el vehículo se desplaza, estando alojados en la guía del resorte mediante platillos de resorte, y conectados de manera articulada a la palanca de pinza a través del travesaño de resorte. Las lengüetas de pinza deberán proporcionar una marcha estable de la pinza desembragable a través de los conjuntos de rodillos de retención. El sistema de apertura y cierre de la pinza desembragable se llevará a cabo mediante los puestos de acoplamiento ubicados en las entradas y salidas de la estación, donde el rodillo de acoplamiento llegará al nivel inclinado del carril de acoplamiento, activando la palanca de pinza hasta abrir la pinza desembragable. La pinza deberá ser diseñada para un fácil montaje y desmontaje, contando con puntos de engrase accesibles que faciliten el mantenimiento.

Además, la vida útil de los componentes de la pinza dependerá de la cantidad de ciclos de apertura y cierre requeridos durante el paso por cada estación. Se deberá tomar en cuenta la optimización de estos ciclos, ya que una reducción en su número impactará directamente en la durabilidad y el rendimiento de los componentes, garantizando un funcionamiento más eficiente y confiable del sistema a lo largo del tiempo. Este aspecto es fundamental para asegurar la fiabilidad y el correcto funcionamiento de la pinza.

Figura 4-7 Tipos de cabinas para sistemas de transporte por cable urbanos, con ventanas panorámicas, imágenes referenciales Cabina del Cablebús Línea 3 (izquierda), cabina del Cablebús Línea 2 (derecha).



Fuente: Elaboración propia

4.12.2.4 Pinza desembragable

La principal función de la pinza desembragable es conectar el vehículo al cable portador-tractor. La pinza desembragable, siempre estará cerrada en la línea y se abre en las estaciones para desconectar la cabina del cable portador. Los muelles helicoidales mantienen la pinza desembragable cerrada en el cable portador-tractor. Los muelles helicoidales están alojados en la guía del resorte mediante platillos de resorte y están conectados con la palanca de pinza en el extremo superior de forma articulada mediante el travesaño de resorte. Las lengüetas de pinza proporcionan una marcha estable de la pinza desembragable a través de los conjuntos de rodillos de retención.

La apertura y el cierre de la pinza desembragable se realiza mediante los puestos de acoplamiento que están montados en las entradas y salidas de la estación. En el puesto de acoplamiento, el rodillo de acoplamiento llega al nivel inclinado del carril de acoplamiento y la palanca de pinza es accionada hacia abajo hasta que la pinza desembragable se abra.

La pinza desembragable destaca desde el punto de vista del mantenimiento gracias a un fácil montaje y desmontaje; se encuentra equipada con puntos de engrase accesibles.

La vida útil de los componentes de la pinza se define aparte de su diseño también la cantidad de ciclos (apertura y cierre) requeridos durante el paso por cada estación que se reduce a un mínimo en un diseño óptimo, reduciendo así significativamente los costos de operación y mantenimiento.

Figura 4-8 Pinza desembragable



Fuente: Elaboración propia

4.12.2.5 Suspensión de cabina

El dispositivo de suspensión deberá constituir la unión funcional entre la pinza y la cabina, asegurando una conexión segura, resistente y libre de holguras. Este sistema deberá incorporar un mecanismo de amortiguación que proporcione una sensación continua de suavidad durante el recorrido, reduciendo eficazmente vibraciones y movimientos bruscos. Se requiere que el conjunto garantice condiciones óptimas de confort para los pasajeros, contribuyendo a una experiencia de viaje estable y agradable en todo momento.

4.12.2.6 Equipamiento Requerido para Cabinas:

- Suelo de aluminio con protección antideslizante mejorada.
- Revestimiento interior del techo para evitar la formación de condensación.
- Sistema automático de puertas mecánico, libre de mantenimiento.
- Ventanas correderas descendentes en puertas, con abertura máxima de 500 mm y rejillas de protección.
- Ventilación interior pasiva a través del suelo.
- Diez (10) asientos individuales por cabina.
- Un (1) asiento plegable con respaldo incluido.
- Plataforma de acceso sin desnivel.
- Lámina protectora contra arañazos en superficies expuestas.
- Rodillos de guiado para asegurar el desplazamiento correcto de la cabina.

- Control remoto para la apertura y cierre de puertas.
- Galga de ajuste incluida para calibración del control remoto.
- Llaves para desbloqueo de emergencia y bloqueo del asiento plegable.
- Embalaje de cabina incluido en el suministro.
- Cabinas aptas para el acceso de sillas de ruedas.
- Cabinas aptas para el ingreso de carriolas de bebé.
- Espacio interior optimizado para una circulación cómoda.
- Distribución que garantice asiento para todos los pasajeros.
- Altura total máxima de cabina: 2,49 metros.
- Altura interior mínima de cabina: 2,00 metros.

4.12.2.7 Climatización y ventilación

Se suministrarán los siguientes elementos para la ventilación de los vehículos:

- Ventana doble abatible hacia el exterior en el sentido de marcha.
- Ventana doble abatible hacia el exterior en contra al sentido de marcha.
- Panel inferior de ventilación pasivo en el sentido de marcha.
- Panel inferior de ventilación pasivo en contra al sentido de marcha.

4.12.2.8 Iluminación

La iluminación interior de las cabinas deberá ser de tipo LED, se preferirá la instalación de luz indirecta alrededor del techo interior. Esta iluminación se proporcionará en la zona de pasajeros y deberá ser programable desde el panel de control, permitiendo su encendido automático o manual, tanto para todas las cabinas como para grupos específicos.

4.12.2.9 Sistema de Comunicación:

El sistema debe permitir comunicación bidireccional en tiempo real entre los pasajeros ubicados en las cabinas del teleférico y el personal de la estación de operaciones.

Este requerimiento asegura que tanto los pasajeros como el personal puedan comunicarse de manera inmediata y efectiva durante el recorrido. Es fundamental para brindar asistencia, gestionar incidentes y mantener informados a los usuarios, contribuyendo a la seguridad y al buen funcionamiento del sistema.

4.12.2.10 Sistema de energía

El sistema de suministro de energía en la cabina debe estar dimensionado según el consumo eléctrico estimado y las horas previstas de operación, e incluir capacidad para funcionamiento de emergencia en caso de fallo del sistema del teleférico. Además, el sistema debe ser capaz de recargarse sin necesidad de estacionar las cabinas. Se recomienda el uso de un sistema que sea capaz de suministrar la energía necesaria a la cabina mientras en circula por las estaciones sin requerir paneles solares.

4.12.2.11 Sistema de seguridad de cabinas

Bloqueo de puertas: El bloqueo de puertas garantiza que las puertas permanezcan cerradas de forma segura durante la marcha. Las puertas se desbloquean y se abren, así como también, se cierran y bloquean mediante el mecanismo de cierre de puerta.

El mecanismo de puertas: está situado en el techo interior de la cabina y evita que las puertas se abran manualmente. El accionamiento remoto mediante un tirador de cable permite accionar el mecanismo de puerta.

4.12.2.12 Dispositivo de suspensión.

Control de bloqueo de puertas: en todas las estaciones estará instalado un riel de cierre de puertas que a su vez está unido al sistema de control y seguridad que verifica el correcto cierre y bloqueo de puertas de cabina Cuando el control de bloqueo de puerta detecta que no se confirma el cierre de puertas a través del sistema redundante de seguridad, se detiene la instalación de manera inmediata ya que presume que la puerta no está bloqueada de forma correcta.

4.12.2.13 Cabina de mantenimiento

La cabina de mantenimiento debe estar diseñada para el transporte de personal técnico, herramientas y equipos necesarios para labores de inspección y reparación en el sistema de teleférico. Debe contar con un habitáculo adaptado que permita al personal subir y bajar de las torres de forma segura y eficiente directamente desde la cabina. Su estructura debe ofrecer estabilidad y seguridad durante la operación.

La cesta debe estar equipada con bancas, puertas, barras de sujeción, escalera de acceso a torres y soportes para el transporte de equipo técnico. Debe tener una carga útil mínima de 800 kg y una capacidad en la pasarela de mantenimiento de al menos 150 kg. El peso propio de la cesta no debe exceder los 450 kg, y el del dispositivo de suspensión los 265 kg. La cabina debe contar con tres niveles de altura (0,50 m, 1,00 m y 1,27 m) para permitir el trabajo ergonómico y seguro del personal técnico en distintos puntos de operación.

4.12.2.14 Sistemas de emergencia

Como complemento al accionamiento principal y en cumplimiento a las normativas europeas para sistemas de transporte por cable, en las que se establece que, en caso de avería, se preferirá la recuperación de los vehículos para desembarcar a los usuarios en la estación más próxima, por lo que la instalación deberá contar con un sistema de accionamiento de emergencia, cuya función principal será permitir la evacuación segura de la instalación.

Este accionamiento deberá operar mediante un sistema hidráulico, en el cual un motor diésel actúa directamente sobre la corona dentada acoplada al volante motriz. El sistema deberá incorporar un embrague que permita desacoplar el volante motriz del reductor, garantizando así un funcionamiento independiente y seguro del accionamiento de emergencia. La potencia instalada del sistema de emergencia deberá permitir una velocidad de transporte requerida por normativa de hasta 1,0 m/s.

El sistema deberá incluir una unidad de control autónoma, equipada con potenciómetros que permitan ajustar y modificar tanto la velocidad como el sentido de marcha. En caso de fallo de esta unidad de control, la operación deberá poder realizarse manualmente mediante un accionamiento ubicado directamente en el motor diésel.

Las baterías del sistema de emergencia deberán mantenerse en estado óptimo mediante carga continua a través de un cargador dedicado. La conexión y desconexión del motor diésel, así como el ajuste de su régimen de revoluciones, deberán realizarse desde una caja de arranque situada junto

al motor, la cual deberá incluir indicadores de operación esenciales como el número de revoluciones y las horas de servicio.

El sistema de control del accionamiento de emergencia deberá gestionar de forma automática el freno de seguridad. En caso de fallo en una función de seguridad, deberá preverse la posibilidad de desbloqueo manual del freno mediante un interruptor de llave, asegurando así una operación segura y controlada en situaciones críticas. La instalación deberá contar con al menos dos sistemas de emergencia que permitan el movimiento del sistema de forma independiente.

4.12.2.15 Marco normativo para el sistema electromecánico

Se establece que el proyecto deberá cumplir con todas las normativas y reglamentos aplicables a los sistemas de transporte por cable destinados al traslado de personas, en todas las etapas del proceso: diseño, fabricación, montaje, puesta en marcha, pruebas, certificación o examen inicial, así como en lo relativo a la operación y mantenimiento. A continuación, se detallan las disposiciones normativas que deberán observarse durante el desarrollo e implementación del sistema.

- El reglamento europeo 2016/424.
- EN 1709:2020 Disposición de seguridad de las instalaciones de transporte de personas por cable Pruebas, mantenimiento, control durante la operación.
- EN 1907:2007 Disposición de seguridad de las instalaciones de transporte de personas por cable – Terminología.
- EN 1908:2015 Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas. Dispositivos de puesta en tensión; o su actualización según corresponda
- EN 1909:2005 Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas. Recuperación y evacuación; o su actualización según corresponda.
- EN 12397:2006 Disposición de seguridad de las instalaciones de transporte de personas por cable – Operación. O su actualización según corresponda.
- EN 12408:2006 Disposición de seguridad de las instalaciones de transporte de personas por cable – Aseguramiento de la calidad. O su actualización según corresponda.
- EN 12927–1:2020 Disposición de seguridad de las instalaciones de transporte de personas por cable – Cables – Parte 1. O su actualización según corresponda.
- EN 12927–2:2020 Disposición de seguridad de las instalaciones de transporte de personas por cable – Cables – Parte 2. O su actualización según corresponda.
- EN 12927–3:2020 Disposición de seguridad de las instalaciones de transporte de personas por cable – Cables – Parte 3. O su actualización según corresponda.
- EN 12927–4:2020 Disposición de seguridad de las instalaciones de transporte de personas por cable – Cables – Parte 4. O su actualización según corresponda.
- EN 12927–5:2020 Disposición de seguridad de las instalaciones de transporte de personas por cable – Cables – Parte 5. O su actualización según corresponda.
- EN 12927–6:2020 Disposición de seguridad de las instalaciones de transporte de personas por cable – Cables – Parte 6. O su actualización según corresponda.

- EN 12927–7:2020 Disposición de seguridad de las instalaciones de transporte de personas por cable – Cables – Parte 7. O su actualización según corresponda.
- EN 12927–8:2020 Disposición de seguridad de las instalaciones de transporte de personas por cable – Cables – Parte 8. O su actualización según corresponda.
- EN 12929–1:2015 Disposición de seguridad de las instalaciones de transporte de personas por cable – Disposiciones generales. O su actualización según corresponda.
- EN 12929–2:2015 Disposición de seguridad de las instalaciones de transporte de personas por cable – Disposiciones generales. O su actualización según corresponda.
- EN 12930:2015 Disposición de seguridad de las instalaciones de transporte de personas por cable – Cálculos. O su actualización según corresponda.
- EN 13107:2015 Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por bale destinadas a personas. Obra Civil; o su actualización según corresponda.
- EN 13223:2015 Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas. Accionamiento y otros dispositivos mecánicos; o su actualización según corresponda.
- EN 13243:2015 Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas. Dispositivos eléctricos distintos del accionamiento; o su actualización según corresponda.
- EN 13796-1:2007 Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte de personas por cable. Vehículos Parte 1: Pinzas, carros, frenos de abordo, cabinas, sillas, coches, vehículos de mantenimiento, arrastres; o su actualización según corresponda.
- EN 13796-2:2007 Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte de personas por cable. Vehículos Parte 2: Ensayo de resistencia al deslizamiento de las pinzas; o su actualización según corresponda.
- EN 13796-3:2007 Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte de personas por cable. Vehículos Parte 3: Ensayos de fatiga; o su actualización según corresponda.

Las normas que resulten aplicables en cualquier parte del alcance del proyecto. Cualquier posibilidad de cambio de norma aplicable durante la ejecución del proyecto será considerada.

4.13 Factibilidad de derecho de vía y afectaciones

Como parte de las factibilidades realizadas para el proyecto se evaluó su viabilidad en materia del derecho de vía y afectaciones, considerando los espacios requeridos y las posibles afectaciones a predios derivadas de las alternativas de trazo que sean planteadas.

Lo anterior, se realizó mediante el análisis de características jurídicas, técnicas y sociales que permitan garantizar la viabilidad del proyecto en la materia, el cumplimiento de la normatividad vigente y aplicable, al igual que, la mitigación en su caso de riesgos derivados de afectaciones a comunidades aledañas y zonas restrictivas de acuerdo con las características de la tenencia de la tierra en la zona de implementación.

Como parte de la factibilidad se realizaron las siguientes actividades:

- Revisión de la documentación, información y antecedentes con los que cuenta El Cliente (en su caso). Será requerido contar con información por parte de El Cliente, referente a las alternativas de trazo y espacios requeridos para estaciones, patios, torres o pilonas, entre otros.
- Revisión y verificación de la legislación local vigente y aplicable en la materia.
- Revisión de alternativas de trazo e identificación preliminar de afectaciones, restricciones y usos de suelo.
- Estimación de costo general paramétrico a erogar por concepto de afectaciones, con base en método valuatorio de homologación de mercado (monto de referencia del metro cuadrado circulante en la zona del proyecto y los tipos de predios involucrados).
- Identificación general de posibles permisos a requerir en materia de uso y aprovechamiento del DDV.
- Identificación general de riesgos en la materia.
- Trabajos de gabinete donde se preparan los entregables (Estudio y Larguillo General de Afectaciones).

Como resultado del análisis realizado, se llegaron a las siguientes conclusiones:

- En materia de derecho de vía (DDV) y afectaciones la alternativa se determina factible, derivado de la naturaleza aérea del proyecto, que prioriza el uso de espacios públicos en las estaciones y torres a lo largo del trazo del proyecto.
- En materia de permisos, por obra inducida e infraestructura de terceros, así como permisos por uso y aprovechamiento del derecho de vía, la alternativa se determina factible, encontrando como principal riesgo la afectación de líneas de alta tensión de la CFE.
- Deberá tomarse en consideración la situación y aspectos de medio ambiente y ecología, ya que podrían requerirse permisos ambientales de carácter federal, estatal o municipal y las gestiones que estos representan.
- Se deberá prestar principal atención a los posibles cruzamientos con vías y vialidades primarias, particularmente aquellas de carácter federal, como la Autopista México-Puebla y las vías de ferrocarril. En el caso de la índole estatal y/o municipal, considerar la solicitud de celebración de acuerdos y convenios interdependencias que faciliten la implementación del proyecto.

- Se deberán considerar las limitantes y regulaciones de alturas y construcción estipuladas en los planes de ordenamiento vigentes en la zona del proyecto, así como las características y usos de suelo específicos para la implementación del proyecto.
- La alternativa aparentemente no presenta cruzamientos directos con zonas de valor histórico, patrimonial y/o arquitectónico (INAH-INBAL), de acuerdo con lo verificado en Planes y Programas de Ordenamiento y Desarrollo Urbano, así como en medios electrónicos oficiales como SIC-Cultura y SIG-RAN. Sin embargo, no deberá descartarse este apartado, derivado de la naturaleza histórica, cultural y arqueológica particularmente en el polígono patrimonial del centro histórico que tiene sitios catalogados del INAH-INBAL y la UNESCO.
- No se identificaron obras o monumentos susceptibles de afectación de protección del INBAL, por lo que no se considera de manera preliminar que sea requerido realizar una consulta ante esta dependencia (sino que sea a través del INAH).
- No se identificó cercanía con núcleos de población indígena, por lo que no se considera que exista una afectación directa que active el mecanismo de consulta libre e informada ante el INPI, sin embargo, se deberá tener en consideración durante todo el proyecto no generar alguna vulnerabilidad a este tipo de población que les provoqué solicitar ante el INPI la activación del mecanismo.
- No se identificaron invasiones o asentamientos irregulares en los predios y zonas propuestas para la implementación del proyecto, a su vez, no se vislumbran afectaciones a predios relacionados con propiedad social (ejidos o comunas).
- Para este estudio se utilizó el valor comercial promedio de la zona (considerando el tipo de predios y viviendas afectadas y la priorización del uso de DDV preexistentes). La distribución de tenencia de la tierra en la zona de implementación en la que se ubica la propuesta se estima que se encuentra bajo el régimen urbano. Para el caso de los predios que se encuentran bajo el régimen de propiedad privada, se deberán prevenir fluctuaciones riesgosas en los precios de venta solicitados por los titulares de cada uno de los predios afectados por falta de atención oportuna. Se deberán considerar los incrementos por factores de plusvalía
- De igual manera deberán considerarse en su caso los BDT´s (cultivos, bienes maderables, edificaciones, etc.) que en cada predio se encuentren al llevarse a cabo el avalúo correspondiente durante la etapa de liberación, previa a la negociación para la compra de las áreas afectadas más allá de los valores señalados en cada municipio, ya que estos regularmente indican valores bajos por concepto de terreno, que podrían suscitar molestias entre los afectados con la consiguiente oposición y retrasos al proyecto.
- Se deberá tener principal atención a los cruzamientos con líneas de alta tensión de la CFE, PEMEX y Gas Natural, CONAGUA y Vías de Ferrocarril, que pueden incurrir en incrementos de costos por reubicación, libranza y/o modificación.
- Se consideraron valores para predios públicos partiendo de que estos espacios generan un costo de adjudicación, donación, participación, desincorporación, etc., en caso de que en etapas futuras del proyecto como lo es la LDDV, en caso de identificar zonas susceptibles de invasiones se deberá considerar que generan costos de indemnizaciones, reubicaciones o desalojos, según sea el caso.

- En la zona urbana (calles y vialidades) no se han identificado restricciones por uso de suelo lo que favorece la implementación del proyecto en estos sitios.
- Los montos de afectación y predios susceptibles podrían disminuir a causa de adecuaciones o definiciones técnicas del trazo en etapas futuras. Sobre todo, en temas ubicación y dimensiones finales de torres o pilonas.
- El proyecto presenta múltiples oportunidades de integración y regeneración urbana, por ejemplo, en zonas de integración con centros y plazas comerciales; en espacios deportivos; en parques públicos y zonas de recreación, etc., lo cual será recomendable considerar para minimizar los riesgos de conflictos o problemáticas de índole social.

4.14 Análisis de oferta

La implementación del proyecto no implica una competencia directa con los servicios de transporte existentes, sino que se configura como un modo complementario dentro del sistema de movilidad, ampliando la cobertura y diversificando las alternativas de desplazamiento para la población. En este sentido, la redistribución de la demanda responde a una lógica de integración modal, orientada a optimizar el desempeño del sistema en su conjunto y mejorar la eficiencia operativa. Con base en estas consideraciones, a continuación, se presentan los indicadores relevantes sobre la oferta en la situación con proyecto.

Tabla 4-8 Tiempo de recorrido situación con proyecto

Tiempo recorrido AM min.	Tiempo recorrido HV min.	Tiempo recorrido PM min.
50.11	46.60	48.50

Fuente. Elaboración propia

Derivado del ajuste en el sistema operativo, a continuación, se muestra la cuantificación global de los tiempos y kilómetros recorridos en la situación con proyecto.

Tabla 4-9 Tiempos y kilometros recorridos en situación con proyecto en HMD AM, días de entre semana

Periodo	Distancia promedio km	pas-km promedio	km recorridos promedio (KmR)	IPK promedio	Distancia promedio recorrida x pas (km)	Promedio Caminata inicial (min)	Promedio Tiempo de Espera (min)	Promedio Tiempo a bordo (min)	Promedio Caminata final (min).	Promedio tiempo de viaje
AM	17.73	2542.18	175.13	2.08	10.37	5.73	5.96	34.87	3.56	50.11
Valle	17.73	1751.31	160.13	1.98	10.37	5.83	5.39	31.80	3.59	46.60
PM	17.73	2189.84	164.24	2.31	9.75	5.95	6.13	32.75	3.67	48.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-10 Resumen de kilómetros recorridos globales

Situación	ES		
	HDM AM	HV	HDM PM
Sin Proyecto (Optimizada)	9,221.56	7,640.53	8,057.55
Con proyecto	16,111.93	14,731.30	15,110.42
Diferencia (km)	6,890.37	7,090.76	7,052.87

Diferencia /%)	74.72%	92.80%	87.53%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-11 Resumen de mejora en velocidad

Situación	ES		
	HDM AM	HV	HDM PM
Sin Proyecto (Optimizada)	17.23	19.15	16.32
Con proyecto	17.41	20.55	17.27
Diferencia (km/hr)	0.18	1.40	0.94
Diferencia /%)	1.03%	7.31%	5.79%

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se presenta el pronóstico de la demanda de pasajeros/hora en ambos sentidos para cada uno de los periodos de análisis, tomando como año base el 2025, aunque se tiene previsto que el proyecto inicie operación en el 2030.

Tabla 4-12. Demanda del proyecto teleférico, año base 2025.

Año	Demanda
2025	18,930
2030	20,615
2035	22,186
2040	23,596
2045	24,898
2050	26,168
2055	27,367

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-13 Demanda, situación con proyecto sistema remante, año base 2025.

Año	Demanda
2025	275,005
2030	299,483
2035	322,310
2040	342,795
2045	361,710
2050	380,161
2055	397,579

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-14 Distribución de demanda, situación con proyecto sistema completo, año base 2025.

Año	Demanda
2025	293,935
2030	320,098
2035	344,496
2040	366,391
2045	386,608
2050	406,329
2055	424,946

Fuente: Elaboración propia.

4.15 Interacción de la oferta y la demanda

4.15.1 Tiempos de viaje

Como se mencionó previamente, el sistema de rutas actualizaría su esquema operativo en reacción a la implementación del proyecto, se espera que los concesionarios puedan ajustar su velocidad de operación y alcanzar tiempos promedios de viaje como muestra la siguiente tabla.

Tabla 4-15. Tiempos de viaje, situación con proyecto, año base 2025.

Tiempo de Viaje	ES		
	HDM AM	HV	HDM PM
Situación Sin Proyecto (Optimizada)	53.8	49.01	51.11
Sistema Situación Con Proyecto	50.43	46.91	48.98
Proyecto Situación Con Proyecto	35.80	32.73	26.93
Ahorro de tiempo Sistema	**-3.37**	**-2.11**	**-2.12**
Ahorro de tiempo Proyecto	**-18.00**	**-16.28**	**-24.17**

Nota: Las cifras pueden variar por los decimales.

Fuente. Elaboración propia

Considerando lo anterior a continuación se presentan los tiempos de viaje anuales esperados en la situación con proyecto.

Tabla 4-16. Tiempo de viaje anual esperado en la situación con proyecto.

	Días	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Situación con proyecto (cuantificación y valoración de tiempos de viaje [TV])	ES											
	HP AM	$5,235,624.13	$5,313,109.92	$5,391,742.49	$5,471,538.79	$5,552,516.05	$5,634,691.76	$5,704,561.27	$5,775,297.15	$5,846,910.15	$5,919,411.14	$5,992,811.14
	HV	$6,716,523.37	$6,815,926.06	$6,916,799.89	$7,019,166.62	$7,123,048.35	$7,228,467.50	$7,318,099.64	$7,408,843.21	$7,500,711.98	$7,593,719.92	$7,687,881.15
	HP PM	$4,170,394.01	$4,232,114.69	$4,294,748.82	$4,358,309.92	$4,422,811.70	$4,488,268.09	$4,543,922.09	$4,600,266.18	$4,657,308.94	$4,715,059.02	$4,773,525.19
	TOTAL DÍA	*$16,122,541.51*	*$16,361,150.68*	*$16,603,291.19*	*$16,849,015.32*	*$17,098,376.10*	*$17,351,427.35*	*$17,566,582.99*	*$17,784,406.54*	*$18,004,931.07*	*$18,228,190.08*	*$18,454,217.48*
	TOTAL AÑO ES	**$4,079,003,001.98**	**$4,139,371,121.13**	**$4,200,632,671.80**	**$4,262,800,876.51**	**$4,325,889,153.50**	**$4,389,911,119.59**	**$4,444,345,497.21**	**$4,499,454,854.65**	**$4,555,247,561.60**	**$4,611,732,091.50**	**$4,668,917,022.88**

2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
$6,057,533.03	$6,122,953.90	$6,189,081.32	$6,255,922.91	$6,323,486.38	$6,386,721.25	$6,450,588.46	$6,515,094.34	$6,580,245.29	$6,646,047.74
$7,770,909.66	$7,854,834.87	$7,939,666.46	$8,025,414.23	$8,112,088.07	$8,193,208.95	$8,275,141.04	$8,357,892.45	$8,441,471.38	$8,525,886.09
$4,825,078.88	$4,877,189.35	$4,929,862.61	$4,983,104.74	$5,036,921.88	$5,087,291.09	$5,138,164.00	$5,189,545.64	$5,241,441.10	$5,293,855.51
$18,653,521.57	*$18,854,978.13*	*$19,058,610.40*	*$19,264,441.88*	*$19,472,496.33*	*$19,667,221.29*	*$19,863,893.50*	*$20,062,532.44*	*$20,263,157.76*	*$20,465,789.34*
$4,719,340,957.05	**$4,770,309,465.73**	**$4,821,828,430.26**	**$4,873,903,795.53**	**$4,926,541,570.63**	**$4,975,806,986.33**	**$5,025,565,056.20**	**$5,075,820,706.76**	**$5,126,578,913.83**	**$5,177,844,702.96**
$5,684,754,002.27	**$5,746,148,895.39**	**$5,808,206,848.50**	**$5,870,935,022.59**	**$5,934,340,656.00**	**$5,993,684,062.56**	**$6,053,620,903.18**	**$6,114,157,112.21**	**$6,175,298,683.34**	**$6,237,051,670.17**

2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057
$6,705,862.17	$6,766,214.93	$6,827,110.86	$6,888,554.86	$6,950,551.85	$7,013,106.82	$7,076,224.78
$8,602,619.06	$8,680,042.64	$8,758,163.02	$8,836,986.49	$8,916,519.36	$8,996,768.04	$9,077,738.95
$5,341,500.21	$5,389,573.71	$5,438,079.88	$5,487,022.60	$5,536,405.80	$5,586,233.45	$5,636,509.55
$20,649,981.44	*$20,835,831.28*	*$21,023,353.76*	*$21,212,563.94*	*$21,403,477.02*	*$21,596,108.31*	*$21,790,473.29*
$5,224,445,305.29	**$5,271,465,313.04**	**$5,318,908,500.86**	**$5,366,778,677.36**	**$5,415,079,685.46**	**$5,463,815,402.63**	**$5,512,989,741.25**
$5,224,445,305.29	**$5,271,465,313.04**	**$5,318,908,500.86**	**$5,366,778,677.36**	**$5,415,079,685.46**	**$5,463,815,402.63**	**$5,512,989,741.25**

Fuente. Elaboración propia

4.15.2 Costos de operación vehicular

Con base en los resultados del Modelo VOC-MEX y los indicadores a cada una de las rutas en la situación con proyecto, se estimó la valoración de los costos de operación vehicular del sistema y en consecuencia los beneficios atribuibles a la implementación del proyecto. La tabla siguiente muestra los resultados de la estimación detallada por ruta al día.

Tabla 4-17. Costos de operación vehicular al día esperados entre la situación con proyecto.

HMD (07:00 - 08:00 Hr)	HV (10:00 - 11:00 h)	HMD (19:00 - 20:00 PM)
21,729.20	22,239.84	20,602.45
1,955,627.79	2,001,585.86	1,854,220.32

Fuente. Elaboración propia

El cálculo se realizó de forma detallada distinguiendo entre ruta, sentido, tipo de vehículo, periodos de congestión, sin congestión, días de entre semana. Para mayor detalle consultar la memoria de cálculo del ACB, no obstante, a continuación, se presenta el dato anual de los costos de operación vehicular para la flota convencional.

Tabla 4-18. Comparación de los costos anuales de operación vehicular esperados entre la situación optimizada y la situación con proyecto.

Año	Situación con proyecto
2025	$1,603,369,467
2026	$1,630,946,981
2027	$1,658,998,820
2028	$1,687,533,143
2029	$1,716,558,248
2030	$1,518,887,888
2031	$1,545,012,341
2032	$1,571,586,128
2033	$1,598,616,977
2034	$1,626,112,749
2035	$1,654,081,440
2036	$1,682,531,186
2037	$1,711,470,259
2038	$1,740,907,076
2039	$1,770,850,199
2040	$1,801,308,334
2041	$1,832,290,342
2042	$1,863,805,231
2043	$1,895,862,168
2044	$1,928,470,475
2045	$1,961,639,637
2046	$1,995,379,298
2047	$2,029,699,273
2048	$2,064,609,542
2049	$2,100,120,257
2050	$2,136,241,748

Año	Situación con proyecto
2051	$2,172,984,518
2052	$2,210,359,253
2053	$2,248,376,824
2054	$2,287,048,286
2055	$2,326,384,887
2056	$2,366,398,066
2057	$2,407,099,462

Nota: Las cifras pueden variar por los decimales.

Fuente. Elaboración propia

4.15.3 Costos generalizados de viaje

Con las consideraciones previas se realizó una comparativa y estimación de los beneficios en CGV para la situación con proyecto

Tabla 4-19. Costos generalizados de viaje, situación con proyecto, año base 2025.

Situación	Concepto	2025
Sin proyecto (optimizada)	Costos de operación vehicular (COV)	$1,690,218,646.82
	Tiempos de viaje (TV)	$4,612,822,539.87
	Costo Generalizado de Viaje (CGV)	**$6,303,041,186.69**
Con proyecto	Costos de operación vehicular (COV)	$1,470,292,793.31
	Tiempos de viaje (TV)	$3,745,612,581.47
	Costo Generalizado de Viaje (CGV)	**$5,215,905,374.78**
Beneficios Atribuibles al proyecto	Costos de operación vehicular (COV)	$219,925,853.51
	Tiempos de viaje (TV)	$867,209,958.40
	$1,087,135,811.92	**$1,087,135,811.92**
Variación en CGV		**-17%**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-20. Costos generalizados de viaje esperados en la situación con proyecto

Años	Tiempo de viaje (TV)	Costo de operación vehicular (COV)	Costos generalizados de viaje (CGV)
2030	$4,079,003,002	$1,518,887,888	$5,597,890,890
2031	$4,139,371,121	$1,545,012,341	$5,684,383,462
2032	$4,200,632,672	$1,571,586,128	$5,772,218,800
2033	$4,262,800,877	$1,598,616,977	$5,861,417,853
2034	$4,325,889,154	$1,626,112,749	$5,952,001,902
2035	$4,389,911,120	$1,654,081,440	$6,043,992,560
2036	$4,444,345,497	$1,682,531,186	$6,126,876,683
2037	$4,499,454,855	$1,711,470,259	$6,210,925,114
2038	$4,555,247,562	$1,740,907,076	$6,296,154,638
2039	$4,611,732,091	$1,770,850,199	$6,382,582,290
2040	$4,668,917,023	$1,801,308,334	$6,470,225,357
2041	$4,719,340,957	$1,832,290,342	$6,551,631,299
2042	$4,770,309,466	$1,863,805,231	$6,634,114,697
2043	$4,821,828,430	$1,895,862,168	$6,717,690,598
2044	$4,873,903,796	$1,928,470,475	$6,802,374,271
2045	$4,926,541,571	$1,961,639,637	$6,888,181,207
2046	$4,975,806,986	$1,995,379,298	$6,971,186,285

Años	Tiempo de viaje (TV)	Costo de operación vehicular (COV)	Costos generalizados de viaje (CGV)
2047	$5,025,565,056	$2,029,699,273	$7,055,264,329
2048	$5,075,820,707	$2,064,609,542	$7,140,430,248
2049	$5,126,578,914	$2,100,120,257	$7,226,699,171
2050	$5,177,844,703	$2,136,241,748	$7,314,086,451
2051	$5,224,445,305	$2,172,984,518	$7,397,429,823
2052	$5,271,465,313	$2,210,359,253	$7,481,824,566
2053	$5,318,908,501	$2,248,376,824	$7,567,285,324
2054	$5,366,778,677	$2,287,048,286	$7,653,826,963
2055	$5,415,079,685	$2,326,384,887	$7,741,464,572
2056	$5,463,815,403	$2,366,398,066	$7,830,213,469
2057	$5,512,989,741	$2,407,099,462	$7,920,089,203

Fuente: Elaboración propia.

5 EVALUACIÓN DEL PPI

La evaluación socioeconómica del proyecto **de implementación del Sistema de Transporte tipo Teleférico en la ciudad de Puebla,** en con el mismo nombre, se realizó a partir de la aplicación de la metodología conocida como Análisis Costo Beneficio (ACB), con estricto apego a los lineamientos, normatividad y metodologías avaladas por la Unidad de Inversiones de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (UI-SHCP) y el Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP.

En términos generales, con el ACB es posible calcular los beneficios y costos sociales que genera un proyecto, y evalúa como se modificaría la situación sin proyecto en caso de realizarse el proyecto. Si los beneficios de realizar el proyecto son mayores a los costos, se considera que el proyecto es conveniente desde el punto de vista socioeconómico. Si, por el contrario, se generan más costos que beneficios, se considera que el proyecto no es conveniente. Los criterios para tomar la decisión se basan en el cálculo de los indicadores de rentabilidad social: Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI) y la Relación Beneficio-Costo (B/C).

La evaluación socioeconómica se realizó considerando los siguientes supuestos:

- Se utilizó un escenario conservador, donde únicamente se consideraron los beneficios de la demanda de transporte público estimada por el estudio de mercado (hasta 18,930 pasajeros al día para el año base 2025), para el periodo de entre semana (ES)
- La inversión y los costos de operación y mantenimiento; se presentan a precios sociales de 2025, es decir, son costos sin IVA.
- El horizonte de evaluación es de 32 años (incluyendo un año cero). Considerando para su construcción de septiembre del 2025 y terminando en diciembre del 2029, teniendo como inicio de operación enero del 2030 y concluyendo en diciembre 2057.
- Se utilizó una Tasa Social de Descuento (costo de oportunidad) del 10%, establecida por la UI-SHCP.
- Para la estimación de los Costos de Operación Vehicular (COV) se utilizó el modelo denominado Vehicle Operating Cost que forma parte del modelo Highway Development and Management desarrollado por el Banco Mundial, adaptado a México por el Instituto Mexicano de Transporte (IMT), VOC-MEX.
- Para la monetización de los Tiempos de Viaje (TV) se consideró el valor del tiempo publicado por el IMT ponderado por motivo para cada periodo de análisis y día.

5.1 Identificación, cuantificación y valoración de los costos.

Los costos identificados para el proyecto son: costos de inversión inicial, reinversiones derivadas de la renovación de la flota de cabinas, costos de operación y mantenimiento a lo largo del horizonte de evaluación. Adicionalmente a los costos señalados, se consideraron los denominados costos por molestias, que son aquellos costos en los que se incurre durante el transcurso del proceso constructivo del proyecto de la obra; estos costos se traducen en incrementos de TV y COV.

5.1.1 Costos de inversión inicial

El monto de inversión estimado para la ejecución del proyecto de análisis se integra de $6,753,607,338 pesos con IVA asociados al proyecto ejecutivo, obra civil, equipamientos y equipo electromecánico; más $212,031,503 pesos por liberación de derecho de vía y medidas de mitigación ambiental, la suma de los anteriores elementos integra un monto total de $6,965,638,841 pesos con IVA. A continuación, se presenta a detalle el monto de inversión de acuerdo con los conceptos generales de obra para la línea del teleférico.

Tabla 5-1. Monto de inversión según conceptos generales de obra del Teleférico de Puebla (pesos de 2025).

Concepto de Obra	Monto sin IVA ($)	Monto con IVA ($)
Proyecto ejecutivo	$ 121,618,189	$ 141,077,099
Obra inducida	$ 201,858,396	$ 234,155,740
Obra civil de cimentación	$ 405,467,690	$ 470,342,520
Obra civil estaciones e instalaciones especiales	$ 852,632,647	$ 989,053,871
Sistema electromecánico de los teleféricos	$ 3,634,781,426	$ 4,216,346,455
Sistema eléctrico	$ 392,379,836	$ 455,160,609
Transferencia tecnológica	$ 183,981,862	$ 213,418,960
Certificación	$ 29,355,245	$ 34,052,085
Subtotal 1	**$ 5,822,075,292**	**$ 6,753,607,338**
Liberación del derecho de vía.	$ 183,086,000	$ 183,086,000
Ambiental	$ 24,953,020	$ 28,945,503
Subtotal 2	**$ 208,039,020**	**$ 212,031,503**
Total	**$ 6,030,114,312**	**$ 6,965,638,841**

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Costos de operación y mantenimiento

En este apartado, se presentan los costos de operación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del proyecto, considerando tanto las cabinas como la infraestructura del sistema; por lo que se incluyen los conceptos de sistemas electromecánicos del sistema, salarios del personal, operación y mantenimiento mayor y menos de las líneas, estaciones y sistemas de recaudo. Dichos costos fueron estimados a partir de la experiencia del consultor y revisión de diferentes sistemas implementados específicamente en la Ciudad de México y el Estado de Michoacán.

A continuación, se presenta el detalle de los elementos que integran los costos de operación y mantenimiento del proyecto, los cuales se encuentran consolidados en la memoria de cálculo.

Tabla 5-2. Monto de costo anual asociado a personal del Teleférico de Puebla (pesos de 2025).

Categoría de personal	Cantidad	Monto anual
Gerente de Operación y Mantenimiento	1	
Subgerente de Operación	1	
Subgerente de Mantenimiento	1	
Planeador de mantenimiento	1	
Supervisor de seguridad, higiene y ambiente	1	
Administrador de oficina	1	
Recursos humanos	1	
Almacenista	1	
Personal de limpieza de cabina	3	
Jefe de turno	4	
Maquinista	8	
Operador	48	
Técnico de mantenimiento	29	
Auxiliar de embarque	68	50,700,000.00

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se contempla el siguiente listado de personal:

Tabla 5-3. Personal para atención del Teleférico de Puebla (pesos de 2025).

Personal Infraestructura	Cantidad
Coordinador o supervisor	1
CCO	8
Técnico de mantenimiento instalaciones fijas	1
Electricista (bajo/medio voltaje)	1
Limpieza	24
Jardinería	1
Seguridad (policía)	48

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-4. Monto de costo anual asociado a mantenimiento del Teleférico de Puebla (pesos de 2025).

COSTOS OPEX - LOCALES	Monto anual
Gastos de oficina (mobiliario, papelería)	
Equipo de seguridad y uniformes	
Herramienta, material y equipamiento local	
Servicios locales externos (topografía, generadores)	
Vehículos	
Equipos de computo	
Pólizas	6,600,000

OPEX INFRAESTRUCTURA	Monto anual
Personal Infraestructura	
Equipos y materiales - servicios complementarios	
Servicios locales - servicios complementarios	24,900,000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-5. Costos anuales asociados con la prestación del servicio del sistema tipo teleférico (pesos de 2025).

Concepto	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
Entrenamiento, Inspecciones técnicas, Inspecciones acreditadas	$0	$5,608,473	$4,292,931	$4,698,491	$4,497,745	$4,719,082	$4,786,273	$4,697,377	$4,293,722	$4,903,032	$4,307,138	$4,699,624	$4,291,377	$5,183,725	$4,493,733	$4,698,459
Cable portador tractor	$2,078,664	$2,487,067	$31,963,709	$2,812,614	$2,084,360	$2,092,669	$2,086,491	$2,811,947	$2,083,670	$2,084,396	$11,655,278	$2,813,292	$2,082,532	$2,083,210	$114,498,690	$39,573,987
Cabina y pinza	$0	$1,392,448	$0	$1,166,522	$5,834,912	$1,171,634	$397,504	$1,166,245	$396,967	$7,002,016	$885,808	$1,166,803	$396,750	$1,166,338	$6,226,451	$1,166,514
Torres y cimentaciones	$0	$4,109,657	$0	$64,037,191	$64,062,474	$0	$0	$64,022,012	$64,041,268	$0	$0	$64,052,640	$64,006,290	$0	$0	$64,036,758
Propulsión y accionamiento	$921,336	$1,102,355	$923,385	$5,784,004	$2,220,508	$5,809,353	$27,129,732	$2,219,106	$5,784,373	$923,877	$926,441	$7,081,848	$923,051	$28,383,002	$5,781,126	$2,219,617
Sistema hidráulico	$0	$0	$0	$891,093	$0	$3,579,993	$0	$3,563,528	$0	$3,565,841	$0	$3,565,232	$0	$3,563,811	$0	$3,564,348
Estaciones	$0	$0	$1,619,974	$810,085	$0	$1,627,270	$0	$1,619,785	$0	$1,620,837	$1,625,335	$1,620,560	$0	$1,619,914	$0	$3,240,317

Concepto	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059
Entrenamiento, inspecciones técnicas, Inspecciones acreditadas	$4,291,377	$4,695,415	$4,294,885	$4,897,933	$4,777,961	$4,709,302	$4,294,885	$4,699,425	$4,497,719	$4,712,959	$4,307,831	$5,180,769	$4,291,377	$4,910,654
Cable portador tractor	$2,082,532	$2,082,174	$2,084,235	$2,810,847	$31,957,269	$2,088,332	$2,084,235	$2,813,173	$2,084,348	$2,089,954	$2,090,517	$2,810,567	$2,082,532	$2,087,637
Cabina y pinza	$396,750	$1,165,758	$397,074	$6,994,734	$396,814	$1,169,206	$397,074	$1,166,754	$6,231,974	$1,170,114	$398,271	$1,165,673	$396,750	$7,012,900
Torres y cimentaciones	$64,006,290	$0	$0	$63,996,963	$64,016,575	$0	$0	$64,049,922	$64,062,103	$0	$0	$63,990,596	$64,006,290	$0
Propulsión y accionamiento	$923,051	$7,075,505	$923,806	$2,218,238	$31,941,558	$2,224,739	$923,806	$5,785,154	$923,856	$2,226,467	$5,803,380	$27,071,625	$923,051	$7,094,068
Sistema hidráulico	$0	$3,562,039	$0	$3,562,133	$0	$3,572,574	$0	$3,565,081	$0	$3,575,348	$0	$3,561,779	$0	$3,571,384
Estaciones	$0	$1,619,109	$0	$1,619,151	$809,824	$2,435,846	$0	$1,620,491	$0	$1,625,158	$0	$1,618,990	$0	$1,623,357

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-6. Costos anuales asociados a las refacciones del sistema tipo teleférico (pesos de 2025).

	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
Consumible y piezas de desgaste	16,627,733.25	16,651,518.31	16,616,896.62	16,599,147.76	16,640,072.91	16,640,052.45	16,633,324.36	16,622,802.63	16,612,993.24	16,625,025.60	16,626,240.42	16,627,593.71	16,602,627.12	16,595,903.91
Mecánico	2,879,727.15	1,943,355.37	4,555,500.10	2,874,776.48	9,246,322.30	4,561,848.24	2,880,695.46	1,940,004.03	2,877,174.35	4,557,728.65	1,940,405.25	11,857,257.55	2,875,379.06	3,612,395.05
Eléctrico	3,920,265.90	1,192,254.97	1,233,471.41	3,869,877.70	2,066,561.55	1,191,434.01	4,752,616.69	1,190,198.92	1,233,181.66	3,875,910.79	1,234,165.00	1,190,541.96	4,743,845.61	1,188,272.96
Cabina	4,075,993.49	47,075.60	46,977.72	21,556,198.07	47,043.24	47,043.19	4,077,364.05	46,994.42	11,876,650.75	21,589,803.88	47,004.14	2,124,606.78	4,069,839.16	5,887,607.19
Torres	7,996,280.22	8,965,795.75	8,947,154.14	-	-	8,959,622.10	8,955,999.45	-	-	8,951,531.09	8,952,185.19	-	-	8,935,850.89
Cable	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	168,908,309.05	56,279,969.99

Refacciones	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059
Consumible y piezas de desgaste	16,604,401.24	16,607,751.78	16,669,955.24	16,616,475.93	16,632,824.49	16,639,638.84	16,636,735.83	16,604,869.64	16,626,240.42	16,610,111.32	16,607,503.18	16,601,103.18	16,604,401.24	16,605,626.81
Mecánico	2,875,686.32	4,552,993.06	1,945,507.09	4,555,384.77	10,181,729.83	3,621,914.74	2,881,286.29	2,875,767.44	1,940,405.25	4,553,639.92	2,876,223.54	9,224,668.15	2,875,686.32	4,552,410.50
Eléctrico	1,232,543.88	3,871,883.62	1,237,409.95	1,189,745.93	4,752,473.86	1,191,404.40	1,234,944.07	3,871,211.68	1,234,165.00	1,189,290.22	4,745,238.84	1,188,645.23	1,232,543.88	3,871,388.21
Cabina	46,942.40	21,567,371.54	47,127.72	4,891,465.74	4,077,241.51	47,042.02	47,033.81	27,407,472.87	47,004.14	46,958.54	4,071,034.44	46,933.07	46,942.40	4,070,574.48
Torres	8,940,426.17	-	-	8,946,927.63	8,955,730.30	-	-	8,940,678.37	8,952,185.19	-	-	8,938,650.37	8,940,426.17	-
Cable	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

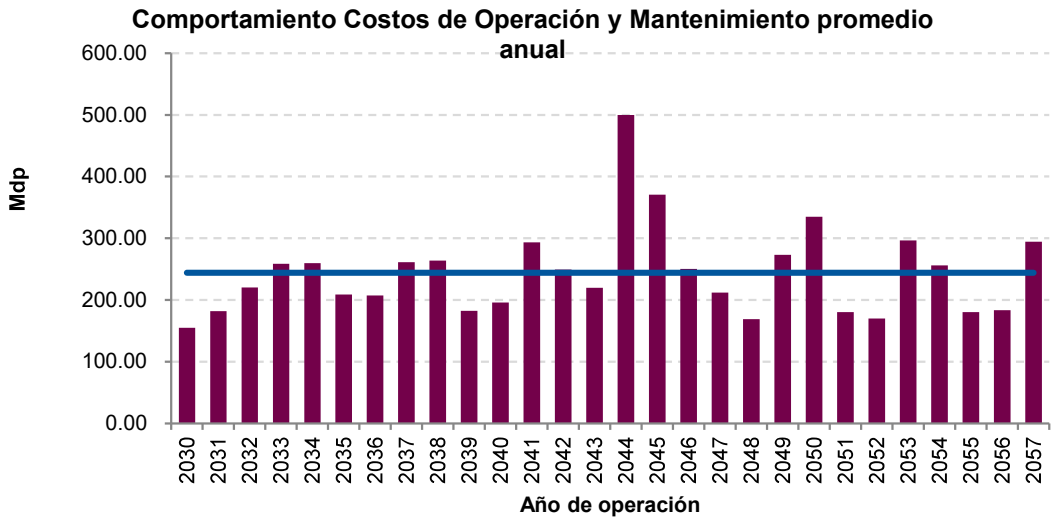
Fuente: Elaboración propia

El cálculo del Opex se estimó considerando la operación y mantenimiento de las cuatro líneas de forma independiente entre ellas, es decir, como teleféricos autónomos y además con los costos de refaccionamiento, mantenimiento de infraestructura a edificios y el suministro eléctrico de los teleféricos con un alto margen de reserva respecto a otros proyectos, por lo que, los costos calculados pueden ser reducidos principalmente en dichos aspectos. Por ejemplo, el margen del costo estimado de la energía eléctrica puede ser reducido al considerar velocidades de operación diferentes en hora valle y hora pico, tal y como lo realizan en el Cablebús de la Ciudad de México; lo que permite reducir el consumo eléctrico de la instalación. Por otro lado, al reducir la plantilla de personal (principalmente en los altos mandos) de cuatro a solo una y unificando los materiales y refacciones de los cuatro teleféricos independientes, considerándolo como un solo sistema se reduce cuantiosamente el costo promedio anual hasta en un 40%, lo anterior debido a que todos los teleféricos serían del mismo modelo y fabricante. La forma de administrar y distribuir los recursos lo deberá decidir la empresa operadora.

El monto anual promedio total del concepto de operación y mantenimiento es de $243,913,214.29 sin IVA para que el sistema se encuentre en funcionamiento.

Si bien, las siguientes tablas muestran promedios anuales durante los 30 años de vida útil, es importante señalar que los costos varían en función del tipo de mantenimiento, como puede observase en la siguiente figura:

Figura 5-1. Evolución de los costos de operación y mantenimiento.



Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Costos por molestias

También se incorporan los costos por molestias generados por el proyecto durante la etapa de ejecución. Estos costos se ven reflejados en la disminución de la velocidad promedio de circulación en los vehículos que transitan por la zona donde se realizarán las obras, tal efecto se traduce en mayores COV y TV durante el periodo de construcción del proyecto, mismos que se distinguen entre los periodos con y sin congestión identificados.

Debido al proceso constructivo del proyecto, en el que las pilonas y estaciones se construyen sobre terrenos previamente intervenidos, por lo que se minimizan considerablemente las molestias. En el caso de que las pilonas se construyan sobre vialidades, por lo que no se requiere cierre de calles o un plan de desvío por las dimensiones de este tipo de elementos.

Es importante señalar, que la estimación de los costos por molestias solo aplica para los dos (3) años en donde se tiene programada la obra civil, por tal razón en el año 2025 y 2029 no aplican estos costos derivados que, en el primer caso, las erogaciones estimadas constituyen el anticipo para el sistema electromecánico y en el año 2029, las intervenciones consideradas son estéticas dentro de las estaciones, sin generar afectación a la población, ni al flujo vehicular.

En ese sentido, se estimaron los costos por molestias bajo el supuesto de reducir en 15% la velocidad operativa de las rutas que transitan de forma adyacente al trazo del proyecto teleférico. Lo anterior tendría un efecto del incremento en 15% el TV en vehículo y en espera en parada. El mismo supuesto fue validado con los resultados del modelo de transporte.

Los sobrecostos esperados en términos de COV y TV, es decir, en Costo Generalizado de Viaje (CGV=TV+COV), resultan de la diferencia entre los CGV de la situación optimizada respecto a la situación esperada en obras, como se expresa a continuación:

$$Sobrecostos\ CGVs\ (Molestias) = CGV_{pesos}^{Situación\ esperada\ en\ obras} - CGV_{pesos}^{Situación\ optimizada}$$

Por lo anterior, se presenta la estimación de los costos por molestias, durante el periodo de construcción del proyecto:

Tabla 5-7 Costos por molestía en TV del transporte público (pesos 2025 sin IVA)

Año	Costo por molestias	
2026	$	175,569,524.53
2027	$	178,589,272.02
2028	$	181,660,958.33

Fuente: Elaboración propia

5.2 Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios.

La implementación del sistema de transporte tipo teleférico en la ciudad de Puebla es una iniciativa de solución ante los problemas de movilidad, conectividad y accesibilidad de la población, el cual tiene asociado una serie de beneficios tangibles e intangibles.

Los beneficios cuantificados para la evaluación socioeconómica son:

- Ahorros en TV,
- Ahorros en COV,
- Disminución de gases de efecto invernadero, por lo que es un proyecto amigable con el medio ambiente
- valor de rescate de la infraestructura

A continuación, se presenta la metodología utilizada y los resultados de cada beneficio considerado.

5.2.1 Ahorros en Tiempo de Viaje (TV)

Para la estimación de los ahorros en TV, se compararon los tiempos estimados acumulados para la situación sin proyecto (optimizada) y para la situación con proyecto, y posteriormente se monetizaron utilizando el valor del tiempo por hora estimado por el IMT y publicado en la nota técnica 213.

Si bien, es posible calcular un ahorro de TV de forma global, el uso de indicadores promedio podría traer como consecuencia una subestimación de beneficios para los usuarios del proyecto. Por esa razón, el ahorro de TV para los usuarios del proyecto se calculó de forma detallada por ruta, por periodo de congestión (HMD AM, Hora Valle y HMD PM).

Debido a que los TV estimados en el modelo de transporte, están expresados en minutos, se convirtieron a horas, para posteriormente cuantificar las horas acumuladas por todos los usuarios a través de cada una de las rutas en las diferentes situaciones (actual, sin proyecto y con proyecto). Los beneficios resultan de la diferencia entre la situación sin proyecto (optimizada) con la situación con proyecto.

Una vez estimados los TV por periodo, día y ruta, estos son monetizados con base en el valor del tiempo publicado por el IMT en su nota técnica 213, el cual es de 103.16 pesos por hora para el motivo trabajo y 61.90 pesos por hora para el motivo de placer. La estimación del valor del tiempo se realizó al distinguir el "peso" del motivo de trabajo y de placer en cada periodo de análisis, como se muestra a continuación:

Tabla 5-8 Valor del tiempo

HDM AM ES		HV ES		HDM PM ES	
Peso relativo	**Estatal (Puebla)**	**Peso relativo**	**Estatal (Puebla)**	**Peso relativo**	**Estatal (Puebla)**
63.0%	64.99	62.0%	63.96	63.0%	64.99
37.0%	22.90	38.0%	23.52	37.0%	22.90
Promedio ponderado	**87.89**	**Promedio ponderado**	**87.48**	**Promedio ponderado**	**87.89**

Fuente: Elaboración propia con base en la Nota Técnica Núm. 213 del Instituto Mexicano del Transporte

Con base en los TV estimados, los ahorros promedio de los usuarios del proyecto pueden alcanzar entre 16 - 24 minutos por pasajero en un viaje.

Cabe mencionar que, derivado de la redistribución de la demanda, el servicio de transporte público actual cambiaría de tal forma que su operación permitiera incrementos marginales en la velocidad operativa de los vehículos mejorando de manera marginal en las condiciones de viaje de los usuarios que permanezcan en el sistema de transporte actual. Los ahorros alcanzables para los usuarios remanentes del sistema actual alcanzarían hasta 3 minutos.

A continuación, se muestra la estimación de los beneficios por ahorro en TV acumulados para todo el sistema, dicha estimación consideró los periodos con congestión y sin congestión por ruta, sentido y tipo de día.

Tabla 5-9 Beneficios por ahorro en tiempo de viaje

Año	Situación optimizada	Situación con proyecto	Beneficio
2030	$5,023,401,801.03	$4,079,003,001.98	$ 944,398,799.06
2031	$5,097,746,761.88	$4,139,371,121.13	$ 958,375,640.75
2032	$5,173,192,007.64	$4,200,632,671.80	$ 972,559,335.85
2033	$5,249,753,822.23	$4,262,800,876.51	$ 986,952,945.72
2034	$5,327,448,730.55	$4,325,889,153.50	$ 1,001,559,577.05
2035	$5,406,293,502.08	$4,389,911,119.59	$ 1,016,382,382.49
2036	$5,473,330,900.78	$4,444,345,497.21	$ 1,028,985,403.57
2037	$5,541,199,555.28	$4,499,454,854.65	$ 1,041,744,700.63
2038	$5,609,909,773.05	$4,555,247,561.60	$ 1,054,662,211.45
2039	$5,679,471,989.38	$4,611,732,091.50	$ 1,067,739,897.88
2040	$5,749,896,768.95	$4,668,917,022.88	$ 1,080,979,746.07
2041	$5,811,995,198.80	$4,719,340,957.05	$ 1,092,654,241.74
2042	$5,874,764,286.77	$4,770,309,465.73	$ 1,104,454,821.04
2043	$5,938,211,275.92	$4,821,828,430.26	$ 1,116,382,845.66
2044	$6,002,343,487.54	$4,873,903,795.53	$ 1,128,439,692.00
2045	$6,067,168,321.96	$4,926,541,570.63	$ 1,140,626,751.33
2046	$6,127,840,005.18	$4,975,806,986.33	$ 1,152,033,018.84
2047	$6,189,118,405.23	$5,025,565,056.20	$ 1,163,553,349.03
2048	$6,251,009,589.28	$5,075,820,706.76	$ 1,175,188,882.52
2049	$6,313,519,685.17	$5,126,578,913.83	$ 1,186,940,771.35
2050	$6,376,654,882.02	$5,177,844,702.96	$ 1,198,810,179.06
2051	$6,434,044,775.96	$5,224,445,305.29	$ 1,209,599,470.67
2052	$6,491,951,178.95	$5,271,465,313.04	$ 1,220,485,865.91
2053	$6,550,378,739.56	$5,318,908,500.86	$ 1,231,470,238.70
2054	$6,609,332,148.21	$5,366,778,677.36	$ 1,242,553,470.85
2055	$6,668,816,137.55	$5,415,079,685.46	$ 1,253,736,452.09
2056	$6,728,835,482.78	$5,463,815,402.63	$ 1,265,020,080.16
2057	$6,789,395,002.13	$5,512,989,741.25	$ 1,276,405,260.88

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 Ahorros en Costos de Operación Vehicular (COV).

De acuerdo con el estudio de mercado, con la implementación del proyecto, se espera que la redistribución de demanda empuje un ajuste en el esquema operativo del sistema de transporte existente y por lo tanto se reduzcan los kilómetros recorridos en este sistema y en consecuencia se reduzcan los COV.

Los beneficios por ahorros en COV, se estimaron considerando la diferencia en los kilómetros recorridos de cada una de las rutas de transporte en la situación sin proyecto (optimizada) y la situación con proyecto del sistema de transporte existente. Los kilómetros recorridos en cada situación fueron calculados con base en los resultados del proceso de modelación en la realización del estudio de demanda.

Para calcular los COV, se empleó el modelo computacional Highway Design and Standard Model Vehicle Operating Cost (HDM-VOC) versión 4.0 adaptada a México. El HDM-VOC es un programa de cómputo desarrollado por el Banco Mundial el cual incluye modelos matemáticos que hacen posible encontrar el COV bajo condiciones específicas de las vías y los vehículos.

Los insumos de entrada principales para el modelo HDM-VOC son parámetros de utilización de los vehículos y precios unitarios de combustible, lubricantes, llantas, depreciación y mantenimiento de los vehículos. Tales parámetros, a excepción del precio del combustible, fueron tomados y actualizados por inflación a partir de la publicación del IMT, *Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2024.* La siguiente tabla muestra los parámetros de entrada utilizados para la estimación de los COV a través del VOC-MEX.

Tabla 5-10. Parámetros utilizados en el modelo HDM-VOC.

# 1	ID	Características del Vehículo	Unidades	A	Autobús escolar	Minibús	Padrón
				Vehículo ligero	Autobús foráneo	Camión de 2 ejes (ligero)	Autobús foráneo
		Marca de vehículo		Urvan Nissan, con motor de 139 HP llantas Firestone convencionales.	Autobús escolar	Mercedes Benz Toreto	Mercedes Benz Citaro LE
	1	Peso del vehículo vacío.	kg	1,680.00	14,000.00	5,200.00	12,000.00
	2	Carga útil.	kg	1,030.00	7,500.00	2,060.00	7,500.00
	3	Potencia máxima en operación.	HP métrico	63.87	288.95	163.49	295.00
	4	Potencia máxima de freno.	HP métrico	51.91	333.56	218.27	340.54
	5	Velocidad deseada.	km/h	110.00	60.00	60.00	60.00
	6	Coeficiente aerodinámico de arrastre.	adimensional	0.46	0.65	0.85	0.65
	7	Área frontal proyectada.	m^2	2.58	6.98	6.05	6.98
	8	Velocidad calibrada del motor.	RPM	3,700.00	1,700.00	2,100.00	1,400.00
	9	Factor de eficiencia energética.	adimensional	0.80	0.75	0.85	0.85
	10	Factor de ajuste de combustible.	adimensional	1.16	1.15	1.15	1.15
# 2	**ID**	**Características de los neumáticos**	**Unidades**	**A**	**Autobús escolar**	**Minibús**	**Padrón**
	1	Número de llantas por vehículo.	#	4.00	8.00	6.00	6.00
	2	Volumen de hule utilizado por llanta.	dm^3	0.00	6.85	7.60	6.85
	3	Costo de renovación/costo llanta nueva.	fracción	0.38	0.33	0.33	0.33

	4	Máximo número de renovaciones.	adimensional	0.00	2.39	2.39	2.39
	5	Término const del modelo de desgaste.	m^3/m	0.00	0.16	0.16	0.16
	6	Coeficiente de desgaste.	10E-3 dm^3/kj	0.00	12.78	12.78	12.78
#3	**ID**	**Datos de utilización del vehículo**	**Unidades**	**A**	**Autobús escolar**	**Minibús**	**Padrón**
	1	Número de km recorridos por año.	km	25,000.00	240,000.00	180,000.00	240,000.00
	2	Número de horas conducidas por año.	horas	2,808.00	2,860.00	2,860.00	2,860.00
	3	Índice de utilización horaria.	fracción	0.60	0.80	0.80	0.80
	4	Vida útil promedio de servicio.	años	6.00	6.00	8.00	8.00
	5	¿Vida útil constante?	Si=1, No=0	1.00	1.00	1.00	1.00
	6	Edad del vehículo en kilómetros.	km	75,000.00	1,500,000.00	500,000.00	500,000.00
	7	Número de pasajeros por vehículo.	#	0.00	0.00	0.00	0.00
#4	**ID**	**Costos unitarios (BASE)**	**Unidades**	**A**	**Autobús escolar**	**Minibús**	**Padrón**
	1	Precio del vehículo nuevo.	$	359,488.00	2,332,225.00	1,020,000.00	2,332,225.00
	2	Costo del combustible.	$/litro	15.21	16.15	16.15	16.15
	3	Costo de los lubricantes.	$/litro	40.52	38.80	38.80	38.80
	4	Costo por llanta nueva.	$/llanta	1,069.00	2,914.00	2,724.14	2,914.00
	5	Tiempo de los operarios.	$/hora	34.48	87.93	60.78	87.93
	6	Tiempo de los pasajeros.	$/hora	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	Mano de obra de mantenimiento.	$/hora	31.90	83.45	53.45	75.86
	8	Retención de la carga.	$/hora	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	Tasa de interés anual.	%	0.91	0.91	0.91	0.91
	10	Costos indirectos por veh-Km.	$	0.52	1.43	1.43	1.43

Fuente: Elaboración propia con base en Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2016 actualizados a 2019.

Tabla 5-11. Características de las vías.

Características de la vía	Unidades	Situación sin proyecto	Situación con proyecto
Tipo de terreno.	-	Lomerío	Lomerío
Tipo de superficie.	1-Pav 0-No pav	1	1
Estado físico.			
Rugosidad promedio (IRI).	m/Km	4.5	4.5
Pendiente media ascendente.	%	1.8	1.8
Pendiente media descendente.	%	2.8	2.8
Curvatura horizontal promedio.	Grados/Km	200	200
Altitud del terreno.	msnm	2,240	2,240
Número efectivo de carriles.	1-1Carril, 0=2 o más carriles	0	0

Fuente: Elaboración propia con base en Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano y el estudio de mercado.

El precio social del combustible diésel se estimó con base en el precio promedio de mercado al que se eliminaron los impuestos especiales sobre producción y servicios (IEPS) y el IVA.

Tabla 5-12. Estimación del precio social del diésel.

Entidad	Combustible	Proporción	Precio de mercado promedio (pesos) b/	IEPS Federal (Art. 3) 1/	IEPS Estatal (Art. 6)	Precio de mercado promedio sin IEPS (pesos de 2025) c/	Precio social promedio (sin IEPS e IVA pesos de 2025)
Nivel nacional	*Magna*	*80.0%*	*$22.60*	*$5.9195*	*$0.5225*	*16.158021*	*13.929*
	Premium	*20.0%*	*$24.07*	*$4.9987*	*$0.6375*	*18.433778*	*15.891*
	Gasolina	**100.0%**				**0**	**0.000**
	Diesel	**100.0%**	**$24.33**	**$6.5055**	**$0.4336**	**$17.39**	**14.992**

Fuente: Elaboración propia con datos de: ACUERDO por el que se actualizan las cuotas que se especifican en materia del impuesto especial sobre producción y servicios. b/ Considera el precio promedio del combustible

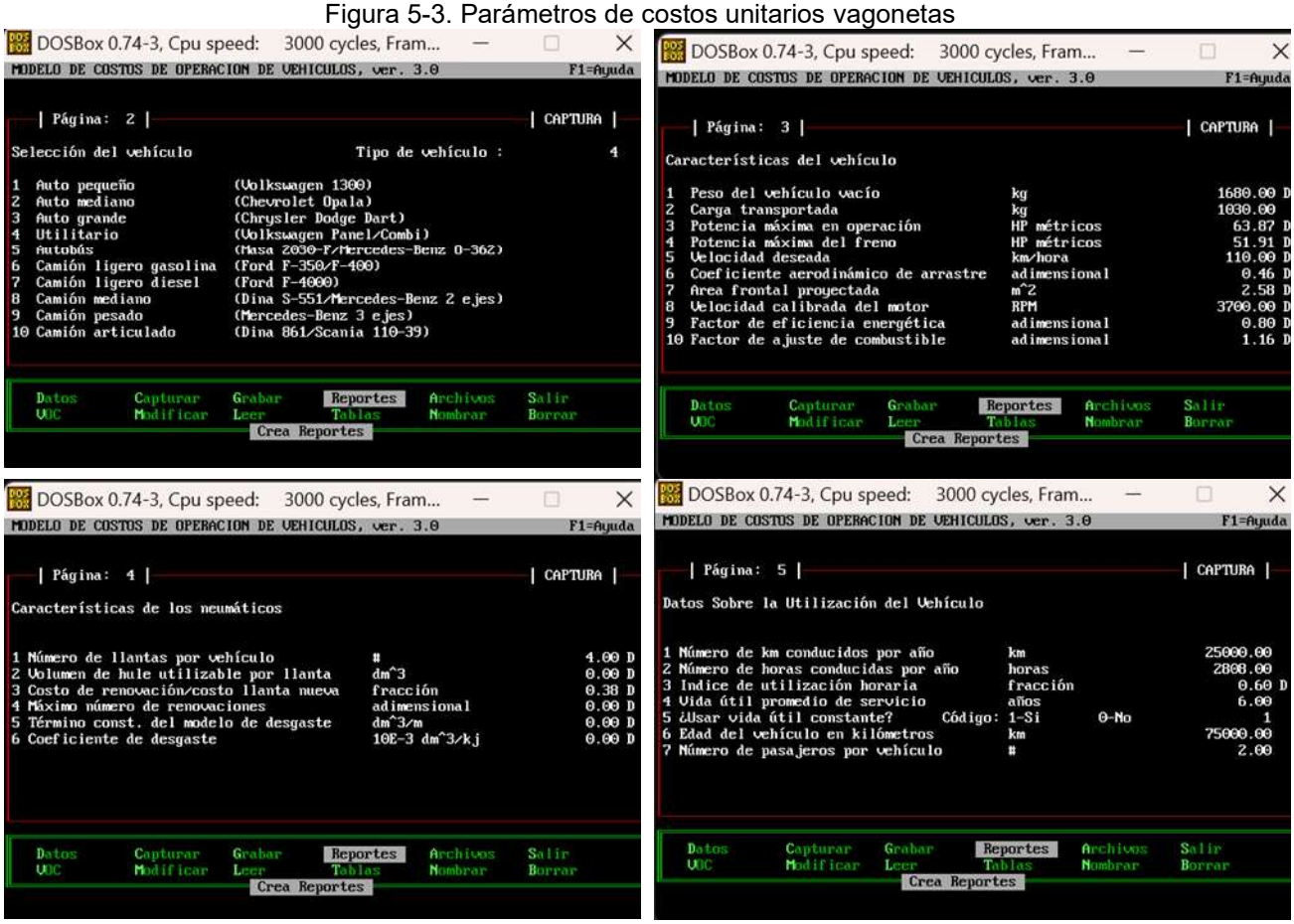
A continuación, se muestran las pantallas del VOC-MEX utilizadas para modelar los COV en todas las situaciones.

Figura 5-2. Características de las vías.



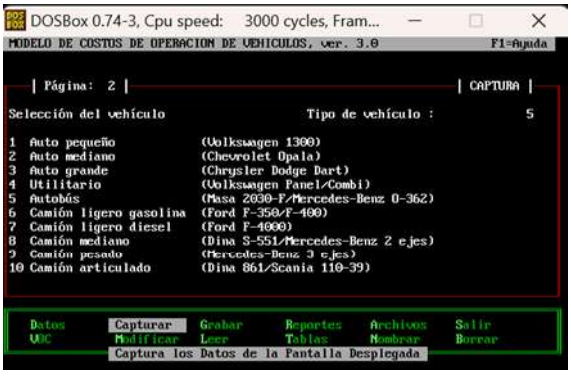
Fuente: Tomado del modelo VOC-MEX para la estimación de los COV.

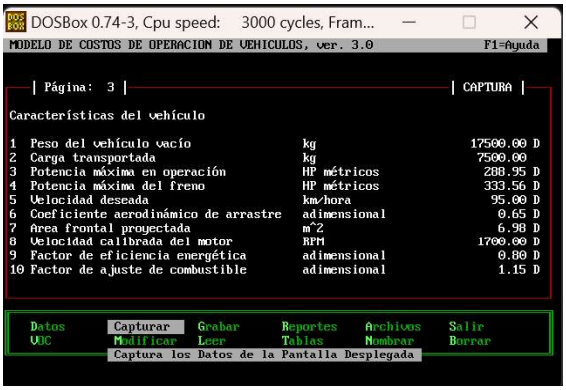
Figura 5-3. Parámetros de costos unitarios vagonetas

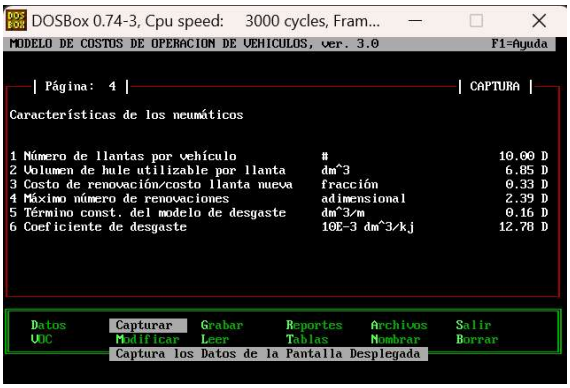


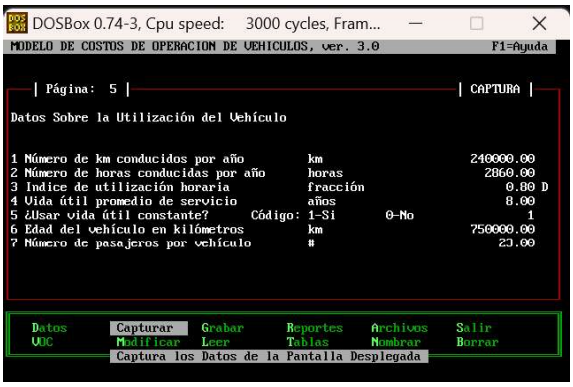
Fuente: Tomado del modelo VOC-MEX para la estimación de los COV.

Figura 5-4. Parámetros para estimación de costos de autobuses



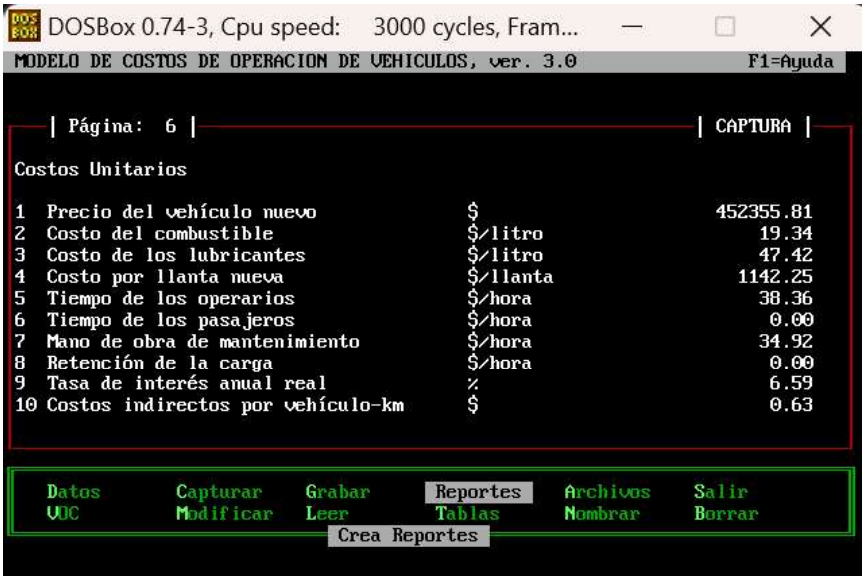






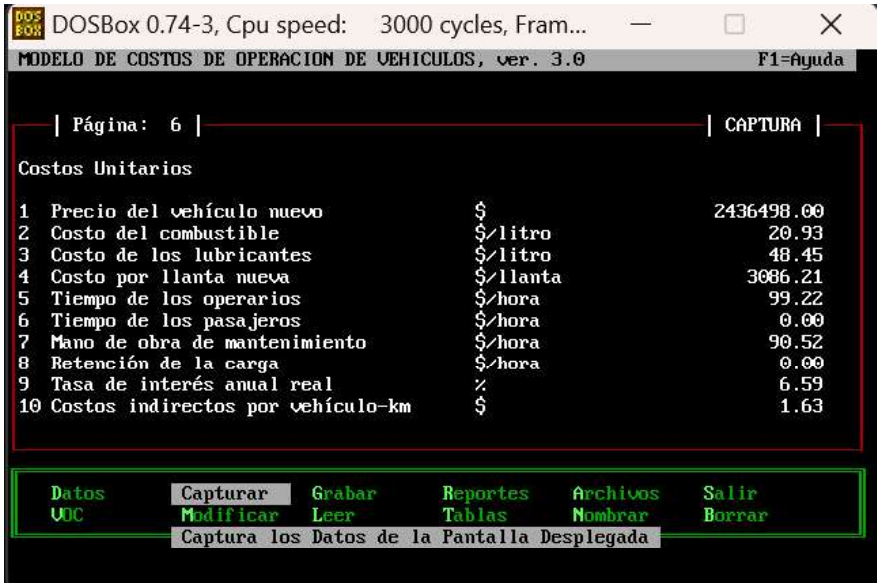
Fuente: Tomado del modelo VOC-MEX para la estimación de los COV.

Figura 5-5. Parámetros de costos unitarios de vagoneta



Fuente: Tomado del modelo VOC-MEX para la estimación de los COV.

Figura 5-6. Parámetros de utilización de los autobuses



Fuente: Tomado del modelo VOC-MEX para la estimación de los COV.

Con los insumos previamente mostrados y la función de tablas de sensibilidad del VOC-MEX, se calibraron modelos de morfología potencial, a través de regresión por mínimos cuadrados ordinarios, al correlacionar el COV por kilómetro con la velocidad de operación [COV (Vel)]. La fórmula utilizada fue la siguiente[9]:

$$COV_i = \beta \bar{V}_i^{\alpha}$$

Donde:
COV_i – Costo Operación Vehicular por kilóemtro del vehiculo i
$\bar{V}_i$=Velocidad promedio del vehiculo i
β y α son parámetros a calibrar con los resultados de sensibilidad de submodelo VOC

Posteriormente, se estimaron los COV unitarios [$/km] por tipo de vehículo en cada ruta utilizando la función de COV, los insumos anteriores y las velocidades de operación de cada ruta de transporte público por periodo de análisis.

Con los costos por kilómetro unitarios derivados de la utilización de las funciones COV se procede a multiplicar el COV unitario por los kilómetros recorridos de cada ruta en cada periodo expandido.

La estimación de los kilómetros recorridos por tipo de día se basó en el régimen operativo de cada ruta en cada horario y tipo de día. Por ejemplo, como se mencionó en apartados previos, el periodo AM de los días hábiles, tiene una duración de 8 horas, entonces el factor de expansión de los

[9] Expresión adaptada al español de ARCHONDO-CALLAO, Rodrigo S. FAIZ, Asif. Estimating Vehicle Operating Costs, World Bank Technical Paper No. 234. 1994.

kilómetros recorridos es equivalente a 8 para cada ruta del régimen operativo específico en el horario AM. La tabla siguiente muestra la duración de cada periodo por día, al suponer que cada día cuenta con 18 horas de servicio.

Tabla 5-13. Factores de expansión para la estimación de los COV.

Tipo de día	Periodo	Factor día SA y OPT	Factor día CP RUTAS	Factor día CP PROYECTO
Entre semana	HDM AM	2.88	2.88	2.88
	HV	7.66	7.66	7.66
	HDM PM	2.89	2.89	2.89

Fuente: Elaboración propia

Los ahorros en COV, resultan de la diferencia entre los COV de la situación sin proyecto (optimizada) y con proyecto, para cada año en el horizonte de evaluación, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Ahorros \quad COV_{pesos/veh} = COV_{pesos/veh}SP - COV_{pesos/veh}CP$$

Por lo tanto, con base en las premisas previas y al suponer que cada año cuenta con 253 días hábiles (ES) de los cuales se han considerado 240 días efectivos, la tabla siguiente muestra la cuantificación de los kilómetros recorridos por tipo de día y de forma anual por el sistema de rutas existente en la situación actual, sin y con proyecto.

Tabla 5-14. Kilómetros recorridos por situación.

Situación	Kilómetros recorridos
SA por día	25,884
SO por día	24,920
SCP por día	22,085

Fuente: Elaboración propia, utilizando datos del modelo de transporte.

*No se consideran los km diarios recorridos por el teleférico

Se estimaron los COV para cada una de las situaciones, y se realizó la comparación entre los escenarios ante las medidas de optimización y la ejecución del proyecto, como se muestra a continuación.

Tabla 5-15. Estimación de beneficios por ahorros en COV (pesos 2025 sin IVA).

Año	Situación optimizada	Situación con proyecto	Beneficio
2030	$1,840,662,050	$1,601,160,982	$239,501,069
2031	$1,872,320,931	$1,628,700,510	$243,620,421
2032	$1,904,524,335	$1,656,713,710	$247,810,625
2033	$1,937,281,630	$1,685,208,730	$252,072,900
2034	$1,970,602,340	$1,714,193,856	$256,408,484
2035	$2,004,496,158	$1,743,677,518	$260,818,640
2036	$2,038,972,940	$1,773,668,292	$265,304,649
2037	$2,074,042,713	$1,804,174,898	$269,867,816
2038	$2,109,715,677	$1,835,206,209	$274,509,468
2039	$2,146,002,206	$1,866,771,251	$279,230,955
2040	$2,182,912,853	$1,898,879,203	$284,033,650
2041	$2,220,458,353	$1,931,539,402	$288,918,951
2042	$2,258,649,625	$1,964,761,348	$293,888,277
2043	$2,297,497,777	$1,998,554,702	$298,943,075
2044	$2,337,014,106	$2,032,929,293	$304,084,814
2045	$2,377,210,106	$2,067,895,117	$309,314,989
2046	$2,418,097,465	$2,103,462,344	$314,635,121
2047	$2,459,688,076	$2,139,641,317	$320,046,759
2048	$2,501,994,033	$2,176,442,559	$325,551,475
2049	$2,545,027,642	$2,213,876,771	$331,150,871
2050	$2,588,801,417	$2,251,954,842	$336,846,574
2051	$2,633,328,088	$2,290,687,846	$342,640,243
2052	$2,678,620,606	$2,330,087,046	$348,533,561
2053	$2,724,692,143	$2,370,163,902	$354,528,242
2054	$2,771,556,098	$2,410,930,068	$360,626,030
2055	$2,819,226,100	$2,452,397,402	$366,828,698
2056	$2,867,716,013	$2,494,577,962	$373,138,051
2057	$2,917,039,939	$2,537,484,016	$379,555,923

Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar, que el costo de mantenimiento de los vehículos se incluye dentro del COV, ya que el VOC-MEX considera como insumo un monto por este concepto. Debe señalarse que, por tratarse de una estimación conservadora se asume que no existirá cambio en la flota de las rutas ni en el régimen operativo de las mismas en el largo plazo, por lo tanto, los beneficios por ahorro en los COV permanecerían constantes en el horizonte de evaluación.

5.2.3 Beneficios por ahorro en costo generalizado de viaje.

A continuación, se muestra el concentrado de los costos en TV y COV estimados para la situación sin proyecto (optimizada) y la situación con proyecto, a partir de los cuales se obtiene la suma de los beneficios totales que se espera se generen con el proyecto dentro del horizonte de evaluación.

Tabla 5-16. Beneficios totales por ahorro en CGV (TV y COV) (pesos de 2025).

Año	TV SO	TV SCP	COV SO	COV SCP	CVG SO	CVG SCP
2030	$5,023,401,801	$4,079,003,002	$1,840,662,050	$1,601,160,982	$6,864,063,851	$5,680,163,984
2031	$5,097,746,762	$4,139,371,121	$1,872,320,931	$1,628,700,510	$6,970,067,693	$5,768,071,631
2032	$5,173,192,008	$4,200,632,672	$1,904,524,335	$1,656,713,710	$7,077,716,343	$5,857,346,382
2033	$5,249,753,822	$4,262,800,877	$1,937,281,630	$1,685,208,730	$7,187,035,452	$5,948,009,606
2034	$5,327,448,731	$4,325,889,154	$1,970,602,340	$1,714,193,856	$7,298,051,071	$6,040,083,009
2035	$5,406,293,502	$4,389,911,120	$2,004,496,158	$1,743,677,518	$7,410,789,660	$6,133,588,638
2036	$5,473,330,901	$4,444,345,497	$2,038,972,940	$1,773,668,292	$7,512,303,841	$6,218,013,789
2037	$5,541,199,555	$4,499,454,855	$2,074,042,713	$1,804,174,898	$7,615,242,269	$6,303,629,753
2038	$5,609,909,773	$4,555,247,562	$2,109,715,677	$1,835,206,209	$7,719,625,450	$6,390,453,771
2039	$5,679,471,989	$4,611,732,091	$2,146,002,206	$1,866,771,251	$7,825,474,195	$6,478,503,342
2040	$5,749,896,769	$4,668,917,023	$2,182,912,853	$1,898,879,203	$7,932,809,622	$6,567,796,225
2041	$5,811,995,199	$4,719,340,957	$2,220,458,353	$1,931,539,402	$8,032,453,552	$6,650,880,359
2042	$5,874,764,287	$4,770,309,466	$2,258,649,625	$1,964,761,348	$8,133,413,912	$6,735,070,814
2043	$5,938,211,276	$4,821,828,430	$2,297,497,777	$1,998,554,702	$8,235,709,053	$6,820,383,133
2044	$6,002,343,488	$4,873,903,796	$2,337,014,106	$2,032,929,293	$8,339,357,594	$6,906,833,088
2045	$6,067,168,322	$4,926,541,571	$2,377,210,106	$2,067,895,117	$8,444,378,428	$6,994,436,688
2046	$6,127,840,005	$4,975,806,986	$2,418,097,465	$2,103,462,344	$8,545,937,470	$7,079,269,330
2047	$6,189,118,405	$5,025,565,056	$2,459,688,076	$2,139,641,317	$8,648,806,481	$7,165,206,373
2048	$6,251,009,589	$5,075,820,707	$2,501,994,033	$2,176,442,559	$8,753,003,623	$7,252,263,265
2049	$6,313,519,685	$5,126,578,914	$2,545,027,642	$2,213,876,771	$8,858,547,327	$7,340,455,685
2050	$6,376,654,882	$5,177,844,703	$2,588,801,417	$2,251,954,842	$8,965,456,299	$7,429,799,545
2051	$6,434,044,776	$5,224,445,305	$2,633,328,088	$2,290,687,846	$9,067,372,864	$7,515,133,151
2052	$6,491,951,179	$5,271,465,313	$2,678,620,606	$2,330,087,046	$9,170,571,785	$7,601,552,359
2053	$6,550,378,740	$5,318,908,501	$2,724,692,143	$2,370,163,902	$9,275,070,883	$7,689,072,402
2054	$6,609,332,148	$5,366,778,677	$2,771,556,098	$2,410,930,068	$9,380,888,246	$7,777,708,746
2055	$6,668,816,138	$5,415,079,685	$2,819,226,100	$2,452,397,402	$9,488,042,238	$7,867,477,087
2056	$6,728,835,483	$5,463,815,403	$2,867,716,013	$2,494,577,962	$9,596,551,496	$7,958,393,364
2057	$6,789,395,002	$5,512,989,741	$2,917,039,939	$2,537,484,016	$9,706,434,941	$8,050,473,757

Fuente: Elaboración propia.

5.2.4 Beneficios por disminución de gases de efecto invernadero

Diversos estudios identifican que las externalidades negativas del transporte, no se encuentran solamente generadas por esta actividad en sí, sino por la combinación de crecimiento poblacional, expansión urbana, consumo de combustibles, entre otros factores. Es decir, se ha encontrado una relación directa entre el crecimiento del parque vehicular con un mayor consumo de combustibles fósiles, lo cual ocasiona incrementos en los niveles de emisión de contaminantes y Gases de Efecto Invernadero (GEI), afectando de forma directa la calidad del aire de las ciudades.

En este sentido, la puesta en marcha del proyecto considera la generación de beneficios económicos indirectos, asociados con la reducción en el consumo de fuentes de energía fósiles y la reducción de GEI, lo cual se traduce en la implementación de sistemas de transporte que permiten aumentar la eficiencia, promover la sostenibilidad económica y maximizar el beneficio social.

Retomando la información resultante del modelo de transporte elaborado para el proyecto, se estimó la reducción de los kilómetros recorridos que tendrán las unidades de transporte público convencional, con la puesta en marcha del proyecto, de manera tal que cada unidad, recorrerá al día una cantidad menor de kilómetros, debido a que enfrentarán una menor demanda que satisfacer, esta situación, ocasiona que las unidades de transporte público, tiendan a presentar una reducción en la emisión de gases contaminantes y un menor consumo de combustible (gasolina o diésel). De forma subyacente al beneficio por reducción en los COV, se esperarían reducciones en las emisiones de GEI a razón de la reducción en los kilómetros recorridos al día.

La cuantificación de las emisiones se realizó simplemente considerando el número de kilómetros recorridos, el consumo de combustible por kilómetro, el tipo de vehículo, factor de emisión del combustible, el poder calorífico y la potencia del calentamiento global.

Tabla 5-17. Consumo de combustible por kilómetro

Consumo de combustible por kilómetro	
Van	0.132
Combi/Van	0.05
Microbús	0.15
Autobús	0.2
Padrón	0.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-18 Poder calorífico y factor de emisión por tipo de combustible

Combustible	Poder calorífico	Factor de emisión
Gasolina	32.216	0.0000693
Diésel	35.5374	0.0000741
Gas Natural	36.569	0.0000561
Gasolina	32.216	0.000025
Diésel	35.5374	0.0000039
Gas Natural	36.569	0.000092
Gasolina	32.216	0.000008
Diésel	35.5374	0.0000039
Gas Natural	36.569	0.000003

Fuente: Elaboración propia

Bajo estas premisas se estimó el costo por emisiones de gases de efecto invernadero en la situación actual, optimizada y con proyecto. Para saber el beneficio obtenido por la construcción del proyecto se hizo una diferencia entre la situación con proyecto y la situación optimizada, esta se muestra en seguida:

Tabla 5-19. Valoración de beneficios anuales por mitigación de GEI.

Año	Toneladas por día situación optimizada	Toneladas por día situación con proyecto	Diferencia	Valor situación sin proyecto	Valor situación con proyecto	Beneficio
2030	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2031	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2032	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2033	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2034	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2035	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2036	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2037	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2038	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2039	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2040	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2041	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2042	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2043	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2044	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2045	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2046	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2047	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2048	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2049	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2050	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2051	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2052	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2053	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2054	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2055	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2056	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300
2057	498,875	437,789	61,087	$131,935,049	$115,779,749	$16,155,300

Fuente: Elaboración propia

5.2.5 Beneficios por valor de rescate

El beneficio asociado al valor de rescate se refiere al valor de mercado que potencialmente podría recuperarse de los principales componentes del proyecto, al final del horizonte de evaluación y/o vida útil del proyecto. La Metodología para la Evaluación de Proyectos de Transporte Masivo Urbano, del CEPEP, sugiere que para la estimación de este beneficio se considere el monto total de la inversión del proyecto. En lo que respecta al sistema electromecánico y cabinas se aplicó un porcentaje del valor de dicha inversión. Por lo anterior, el beneficio por el valor de rescate para la evaluación es de **$3,852,815,282 pesos en el año 2057.**

La estimación fue la siguiente:

Tabla 5-20. Valor de rescate

Concepto	Monto sin IVA	Conceptos considerados	Monto de Valor de Rescate ($ sin IVA)
Liberación del derecho de vía.	$ 183,086,000	$ 183,086,000	$ 183,086,000
Ambiental	$ 24,953,020		$ -
Proyecto ejecutivo	$ 121,618,189		$ -
Obra inducida	$ 201,858,396	$ 201,858,396	$ 201,858,396
Obra civil de cimentación	$ 405,467,690	$ 405,467,690	$ 405,467,690
Obra civil estaciones e instalaciones especiales	$ 852,632,647	$ 852,632,647	$ 852,632,647
Sistema electromecánico de los teleféricos	$3,634,781,426	$ 3,634,781,426	$ 1,817,390,713
Sistema eléctrico	$ 392,379,836	$ 392,379,836	$ 392,379,836
Transferencia tecnológica	$ 183,981,862		$ -
Certificación	$ 29,355,245		$ -
Subtotal Inversión	$6,124,032,849	$ 5,670,205,996	$ 3,852,815,282
Monto Total de Valor de Rescate			$3,852,815,282

Fuente: Elaboración propia.

5.2.6 Beneficios intangibles

La implementación de proyectos de transporte tipo teleférico, además de mejora en las condiciones de movilidad de la población, tiene asociado una serie de beneficios que van más allá de ello. Retomando la experiencia de la Ciudad de México con el Cablebús se ha mostrado que los teleféricos urbanos constituyen una alternativa de movilidad sostenible y accesible. Como documenta el estudio *Lecciones aprendidas en la implementación del Cablebús* (ITDP/SEMOVI, 2024), *"los teleféricos han logrado reducir los tiempos de viaje por su operación continua"*. Asimismo, estos proyectos han detonado mejoras urbanas en superficie: *"han mejorado las condiciones de los espacios públicos, permitiendo un mayor acceso a servicios y un mayor sentimiento de seguridad en la zona"* (ITDP/SEMOVI, 2024). Dichos beneficios son relevantes para replicarse en la Ciudad de Puebla, mejorando la accesibilidad y la percepción de seguridad.

La situación actual de Puebla muestra una percepción elevada de inseguridad en transporte público (ENVIPE 2025) y problemas estructurales como rutas solapadas, baja integración modal y corredores con congestión y alta exposición de usuarios. La introducción de un sistema de cable urbano podría incidir positivamente en la seguridad y el entorno urbano de la siguiente manera:

a) Reducción de exposición al delito por acortamiento de tiempos de espera y trayectos peatonales seguros
b) Entornos de estación más seguros por diseño (iluminación, cctv, presencia permanente de personal)
c) Activación urbana alrededor de estaciones (comercio formal, cultura, actividades comunitarias) que incrementan vigilancia natural
d) Mejoras para grupos vulnerables —mujeres, personas mayores y con discapacidad— mediante accesos universales y trayectos confiables
e) Efecto disuasorio en delitos de oportunidad en corredores de mayor riesgo.

Estas contribuciones están documentadas en las evaluaciones de las primeras líneas urbanas de cable en CDMX, donde se observaron mejoras en percepción de seguridad y aumento del uso por mujeres y poblaciones vulnerables tras su puesta en operación (ITDP, 2022; SEMOVI, 2021). Se describen a continuación algunos de los beneficios documentados con la implementación de cables urbanos.

Mejora del entorno urbano y accesibilidad

Los estudios sobre la experiencia del Teleférico/Cablebús en la CDMX muestran beneficios concretos en la accesibilidad a servicios (salud, empleo, educación) y en la conectividad de barrios. La operación aérea reduce la necesidad de grandes obras viales en superficie, ocupa huella menor y facilita la revalorización y uso público de entornos adyacentes a estaciones (plazas, Utopías, mercados, espacios culturales), lo que contribuye a la regeneración urbana y a activar economías locales (ITDP, 2022). Además, las evaluaciones apuntan reducciones medibles en tiempos de viaje para zonas atendidas (entre 40% y 60%) y aumentos en la cobertura efectiva de transporte, factores claves para poblaciones con movilidad restringida (ONU-Hábitat, 2020).

Seguridad ciudadana y percepción de seguridad en el transporte.

En términos de seguridad ciudadana, la Encuesta Nacional de Victimización y Percepción sobre Seguridad Pública (ENVIPE 2025) señala que *"en 2024, 23.1 millones de personas de 18 años y más fueron víctimas de algún delito"* y que los delitos más frecuentes fueron *"fraude, robo o asalto en calle o transporte público y extorsión"* (INEGI, 2025). El mismo informe advierte que el 93.2 % de los 33.5 millones de delitos no se denunciaron o no generaron carpeta de investigación, lo que refuerza la desconfianza ciudadana hacia las instituciones (INEGI, 2025). Esta problemática es particularmente aguda en los sistemas de transporte público, donde la inseguridad cotidiana afecta con mayor intensidad a mujeres y grupos vulnerables.

Evidencia empírica y encuestas nacionales muestran que la percepción de inseguridad en el transporte público es alta: la ENVIPE 2023 señala que 72% de la población a nivel nacional se siente insegura en transporte público, cifra que asciende a más del 80% en áreas metropolitanas como CDMX y Edomex (INEGI, 2023).

En Puebla, reportes locales basados en ENVIPE señalan niveles similares, con más del 75% de percepción de inseguridad en el transporte. La experiencia de los sistemas de cable urbano en la CDMX ha mostrado mejorías relativas en percepción y seguridad por varios mecanismos: control y

visibilidad en estaciones (CCTV, personal permanente), diseño con buena iluminación, flujos peatonales constantes que reducen espacios ociosos y la presencia institucional y comunitaria alrededor de terminales (SEMOVI, 2021). Estos factores han contribuido a reducir las oportunidades para delitos y a aumentar la sensación de seguridad entre usuarios, especialmente en horas valle.

Equidad de género y acceso inclusivo.

Las evaluaciones de usuarios del Cablebús y análisis de género realizados por SEMOVI y organismos técnicos indican que las mujeres reportan altos niveles de satisfacción con estos sistemas por razones como menor tiempo en la calle, trayectos más predecibles y estaciones con iluminación, CCTV y accesos seguros (SEMOVI, 2021; ITDP, 2022). Asimismo, los proyectos han incorporado medidas explícitas para la seguridad femenina —acceso preferente, protocolos de atención, señalética de espacios seguros— que contribuyen a reducir barreras de movilidad por género y a fomentar la participación de mujeres en la vida urbana (ONU-Mujeres, 2021). Estas medidas son replicables y adaptables a Puebla, con potencial de reducir desigualdades de movilidad por género.

De lo anterior, la implementación de un sistema de cable urbano en la ciudad de Puebla permitiría incidir positivamente en estos aspectos al ofrecer un servicio continuo, seguro y vigilado, con estaciones y entornos urbanos mejorados. Además, la experiencia de la CDMX demuestra que el diseño de estaciones con accesibilidad universal, iluminación adecuada y vigilancia permanente genera confianza en los usuarios y promueve la equidad de género al reducir las barreras de inseguridad que enfrentan principalmente las mujeres e inhibe la delincuencia. En este sentido, el sistema de cable no solo responde a la demanda de movilidad, sino también a la urgencia de mejorar las condiciones de seguridad ciudadana y de accesibilidad en el transporte público metropolitano.

Finalmente, existen otros beneficios no menos importantes entre los que destacan los siguientes:

- Apoyo a la economía familiar, permitiendo ahorros de hasta el 40% del gasto que hoy utilizan en transporte público para llegar a su destino.
- Conexión entre las zonas habitacionales, puntos de comercio importantes, servicios básicos y sitios de equipamiento destinados a la educación, cultura, recreación y deporte.
- Incrementa el confort de los usuarios del transporte público y permite la inclusión al contar con accesibilidad universal.
- Mejora la imagen urbana y la calidad de vida de la población a través de una regeneración urbana y recuperación de espacios públicos en estaciones.
- Ampliación de cobertura, a través de la reestructuración y reordenamiento del transporte público, migrando hacia un sistema tronco alimentador adecuado a la estructura urbana.

5.3 Cálculo de los indicadores de rentabilidad.

5.3.1 Valor Presente Neto (VPN).

El Valor Presente Neto (VPN) es el resultado de la suma de los flujos de un proyecto convertidos a valor presente mediante la tasa social de descuento. Para el caso del proyecto se ha utilizado una tasa del 10% anual en términos reales, de acuerdo con los lineamientos de la SHCP para los ACB.

$$VPN = \sum \frac{Y_t}{(1+i)^t} - \sum \frac{E_t}{(1+i)^t} - I_0$$

Dónde:

- Y_t = Total de beneficios sociales anuales del proyecto.
- E_t = Total de costos sociales anuales del proyecto.
- I_o = Inversión inicial valorizada en términos sociales (sin IVA).
- i = Tasa social de descuento (10%).

Criterio de decisión:

- Si el VPN > 0, el proyecto es rentable y se recomienda ejecutarlo.
- Si el VPN < 0, el proyecto no se debe ejecutar.
- Si el VPN = 0, el proyecto es viable en primera instancia, pero la decisión se debe reforzar con otros indicadores.

5.3.2 Tasa Interna de Retorno (TIR).

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de descuento que iguala el VPN de los flujos del proyecto con su inversión inicial. Una TIR mayor que la tasa de descuento del proyecto indica que éste ofrece una rentabilidad mayor que la mínima exigida por la sociedad a través de la tasa social de descuento seleccionada.

$$VPN = I_0 - \sum \frac{Flujos_t}{(1+TIR)^t} = 0$$

Dónde:

- VPN =Valor Presente Neto.
- I_o =Inversión inicial valorizada a su costo social (sin IVA).
- $Flujos_t$ =Flujos netos del proyecto (diferencia entre costos y beneficios del proyecto).
- TIR = Tasa interna de retorno.

Criterio de decisión:

- Si la TIR ≥ Tasa social de descuento, el proyecto es viable y se recomienda ejecutarlo.
- Si la TIR < Tasa de descuento, el proyecto no es viable.

5.3.3 Tasa de Rendimiento Inmediato (TRI)[10].

La Tasa de Retorno Inmediato (TRI) se utiliza fundamentalmente para determinar el momento óptimo para ejecutar un proyecto con beneficios crecientes en el tiempo.

$$TRI = \frac{Flujo_{t+1}}{VF(I_t)}$$

Donde:

- $Flujo_{t+1}$: Beneficios menos costos del año t+1.
- VF (I_t): Valor futuro de la inversión en el año t (último año de inversión),

Criterio de decisión:

- Si TRI ≥ Tasa social de descuento, el proyecto se encuentra en el momento óptimo para su ejecución.
- Si la TRI< Tasa social de descuento, es conveniente que el proyecto deba retrasarse hasta que la TRI sea superior a la tasa social de descuento.

[10] Para el cálculo del indicador se aplica la siguiente formula: $\frac{Flujo\ neto\ año\ 1\ de\ operación}{(I1^4 + I2^3 + \cdots + I4^0)}$, siguiendo lo señalado por el Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP), en la Metodología General para la Evaluación de Proyectos.

5.3.4 Resultados.

Con base en las consideraciones previas se construye la tabla de costos y beneficios estimados durante el periodo de evaluación del proyecto, mismo que considera el tiempo de construcción y su periodo de explotación de 32 años.

Tabla 5-21. Flujos de efectivo (millones de pesos sin IVA).

Año	HE	Costos				Beneficios Totales					Flujos Nominales
		Inversión	Operación	Molestias	Costos Totales	Ahorro en TV	Ahorro en COV	Ahorro Emisiones de C02	Valor de Rescate	Beneficios Totales	
2025	0	-$1,502.47	$0.00	$0.00	-$1,502.47	$0.00	$0.00	$0.00	$0.00	$0.00	-$1,502.47
2026	1	-$1,504.60	$0.00	-$175.57	-$1,680.17	$0.00	$0.00	$0.00	$0.00	$0.00	-$1,680.17
2027	2	-$1,316.35	$0.00	-$178.59	-$1,494.94	$0.00	$0.00	$0.00	$0.00	$0.00	-$1,494.94
2028	3	-$961.69	$0.00	-$181.66	-$1,143.35	$0.00	$0.00	$0.00	$0.00	$0.00	-$1,143.35
2029	4	-$745.01	$0.00	$0.00	-$745.01	$0.00	$0.00	$0.00	$0.00	$0.00	-$745.01
2030	5	$0.00	-$154.88	$0.00	-$154.88	$944.40	$239.50	$16.16	$0.00	$1,200.06	$1,045.18
2031	6	$0.00	-$181.83	$0.00	-$181.83	$958.38	$243.62	$16.16	$0.00	$1,218.15	$1,036.32
2032	7	$0.00	-$220.44	$0.00	-$220.44	$972.56	$247.81	$16.16	$0.00	$1,236.53	$1,016.09
2033	8	$0.00	-$259.82	$0.00	-$259.82	$986.95	$252.07	$16.16	$0.00	$1,255.18	$995.36
2034	9	$0.00	-$209.00	$0.00	-$209.00	$1,001.56	$256.41	$16.16	$0.00	$1,274.12	$1,065.12
2035	10	$0.00	-$207.35	$0.00	-$207.35	$1,016.38	$260.82	$16.16	$0.00	$1,293.36	$1,086.01
2036	11	$0.00	-$261.36	$0.00	-$261.36	$1,028.99	$265.30	$16.16	$0.00	$1,310.45	$1,049.09
2037	12	$0.00	-$264.00	$0.00	-$264.00	$1,041.74	$269.87	$16.16	$0.00	$1,327.77	$1,063.77
2038	13	$0.00	-$182.60	$0.00	-$182.60	$1,054.66	$274.51	$16.16	$0.00	$1,345.33	$1,162.73
2039	14	$0.00	-$195.91	$0.00	-$195.91	$1,067.74	$279.23	$16.16	$0.00	$1,363.13	$1,167.22
2040	15	$0.00	-$293.37	$0.00	-$293.37	$1,080.98	$284.03	$16.16	$0.00	$1,381.17	$1,087.80
2041	16	$0.00	-$249.26	$0.00	-$249.26	$1,092.65	$288.92	$16.16	$0.00	$1,397.73	$1,148.47
2042	17	$0.00	-$219.89	$0.00	-$219.89	$1,104.45	$293.89	$16.16	$0.00	$1,414.50	$1,194.61
2043	18	$0.00	-$499.73	$0.00	-$499.73	$1,116.38	$298.94	$16.16	$0.00	$1,431.48	$931.75
2044	19	$0.00	-$370.81	$0.00	-$370.81	$1,128.44	$304.08	$16.16	$0.00	$1,448.68	$1,077.87
2045	20	-$238.50	-$250.25	$0.00	-$488.75	$1,140.63	$309.31	$16.16	$0.00	$1,466.10	$977.35
2046	21	$0.00	-$212.19	$0.00	-$212.19	$1,152.03	$314.64	$16.16	$0.00	$1,482.82	$1,270.63
2047	22	$0.00	-$169.07	$0.00	-$169.07	$1,163.55	$320.05	$16.16	$0.00	$1,499.76	$1,330.69
2048	23	$0.00	-$273.24	$0.00	-$273.24	$1,175.19	$325.55	$16.16	$0.00	$1,516.90	$1,243.66
2049	24	$0.00	-$335.06	$0.00	-$335.06	$1,186.94	$331.15	$16.16	$0.00	$1,534.25	$1,199.19
2050	25	-$303.75	-$180.18	$0.00	-$483.93	$1,198.81	$336.85	$16.16	$0.00	$1,551.81	$1,067.88
2051	26	$0.00	-$170.06	$0.00	-$170.06	$1,209.60	$342.64	$16.16	$0.00	$1,568.40	$1,398.34
2052	27	$0.00	-$296.45	$0.00	-$296.45	$1,220.49	$348.53	$16.16	$0.00	$1,585.17	$1,288.72
2053	28	$0.00	-$255.97	$0.00	-$255.97	$1,231.47	$354.53	$16.16	$0.00	$1,602.15	$1,346.18
2054	29	$0.00	-$180.29	$0.00	-$180.29	$1,242.55	$360.63	$16.16	$0.00	$1,619.33	$1,439.04

Año	HE	Costos				Beneficios Totales					Flujos Nominales
		Inversión	Operación	Molestias	Costos Totales	Ahorro en TV	Ahorro en COV	Ahorro Emisiones de C02	Valor de Rescate	Beneficios Totales	
2055	30	$0.00	-$183.70	$0.00	-$183.70	$1,253.74	$366.83	$16.16	$0.00	$1,636.72	$1,453.02
2056	31	$0.00	-$294.25	$0.00	-$294.25	$1,265.02	$373.14	$16.16	$0.00	$1,654.31	$1,360.06
2057	32	$0.00	-$250.25	$0.00	-$250.25	$1,276.41	$379.56	$16.16	$3,852.82	$5,524.93	$5,274.68
Total		**-$6,572.36**	**-$6,821.21**	**-$535.82**	**-$13,929.39**	**31,312.70**	**$8,522.41**	**$452.35**	**$3,852.82**	**$44,140.27**	**$30,210.88**

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la estimación de los indicadores de rentabilidad socioeconómica considerando un costo de oportunidad de los recursos públicos del 10%, se muestra a continuación:

Tabla 5-22. Valores actuales acumulados (pesos sin IVA).

Valores Actuales (pesos sin IVA)	
Valor Actual de los Costos	**$7,232,140,395.09**
Costo de Inversión	**$5,253,045,121.89**
Liberación del derecho de vía.	$166,441,818.18
Ambiental	$21,859,670.41
Proyecto ejecutivo	$104,202,391.13
Obra inducida	$153,140,869.92
Obra civil de cimentación	$334,064,555.32
Obra civil estaciones e instalaciones especiales	$686,741,828.29
Sistema electromecánico de los teleféricos	$3,255,669,081.12
Sistema eléctrico	$319,348,838.97
Transferencia tecnológica	$126,710,108.95
Certificación	$21,379,544.85
Reinversiones	$63,486,414.73
Costos de operación y mantenimiento	**$1,471,921,193.39**
Costos por molestias	**$443,687,665.08**
Valor Actual de los Beneficios	**$10,500,965,349.30**
Beneficios por Ahorro en CGV	**$8,424,983,560.70**
Beneficios por ahorro en TV	$8,070,941,977.47
Beneficios por ahorro en COV	$2,123,288,130.97
Beneficios por Ahorro en Emisiones de tCO2e	$124,256,505.35
Valor de Rescate	$182,478,735.52

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-23. Indicadores de rentabilidad social.

Indicadores de rentabilidad social	
VPN	$1,541,499,642.58
TIR	12.27%
TRI	12.67%
Periodo de evaluación (años)	32

Fuente: Elaboración propia.

5.4 Análisis de sensibilidad.

Este análisis evalúa la solidez de los indicadores del proyecto, ante posibles variaciones de ±60% en las principales variables del proyecto como son: monto de inversión, costos de mantenimiento y operación, así como beneficios (ahorros en TV y COV). Al mismo tiempo, es una medida de certidumbre, ya que puede evaluarse que tanta holgura tiene el proyecto, en caso de que existan modificaciones reales durante la etapa de ejecución y operación en los montos estimados de costos y beneficios.

En resumen, se identifica que las variaciones máximas que permite el proyecto en términos de inversión y demanda son un incremento del 29% y una reducción del 18%, en cada componente respectivamente; ya que con estas variaciones el VPN de los flujos esperados son cero.

Tabla 5-24 Tabla de sensibilidad

Variaciones máximas de sensibilidad		
Concepto	**Variación**	**Efecto**
Inversión	29.7%	VPN=0
Operación y Mantenimiento	101%	VPN=0
Beneficios por Ahorros en CGV	-18.2%	VPN=0
Beneficios por Ahorros en TV	-23.1%	VPN=0
Beneficios por Ahorros en COV	-87.5%	VPN=0
Concepto	**Variación**	**Efecto**
Inversión	29.05%	TRI=10%
Operación y Mantenimiento	142%	TRI=10%
Beneficios por Ahorros en CGV	-18.6%	TRI=10%
Beneficios por Ahorros en TV	-23.3%	TRI=10%
Beneficios por Ahorros en COV	-92.1%	TRI=10%

Fuente: Elaboración propia

5.4.1 Análisis de sensibilidad a costos

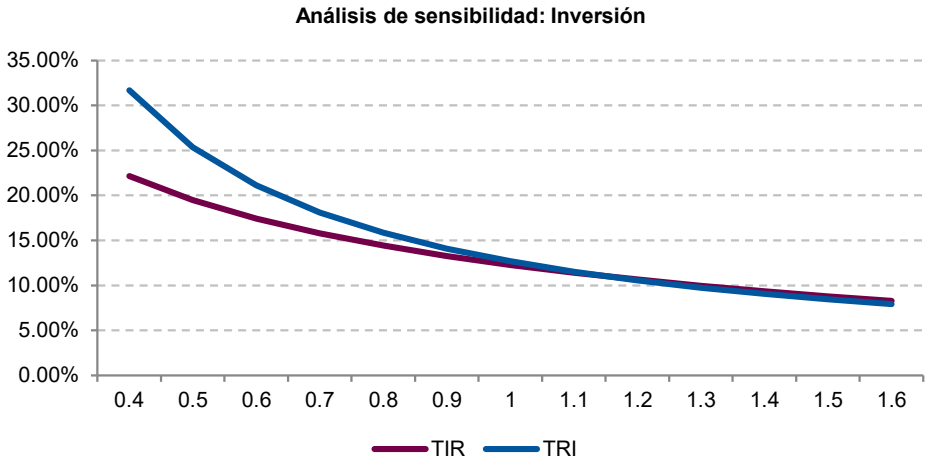
En este apartado se presentan las tablas de sensibilidad de los estimadores de rentabilidad ante cambios en los costos de inversión y costos de operación y mantenimiento. En general un aumento en los costos baja la rentabilidad del proyecto y viceversa. En este caso se encuentra dicho efecto, pero en diferentes medidas ya que se encuentra que el impacto de la inversión inicial es mayor que el impacto de los costos de operación y mantenimiento.

Tabla 5-25 Análisis de sensibilidad a la inversión

Sensibilidad	VPN	B/C	TIR	TRI	Inv (t=0)	Año 1 Oper
0.4	$ 4,693,326,716	2.17	22.15%	31.68%	$ 3,299,054,405	$ 1,045,175,168
0.5	$ 4,168,022,204	1.92	19.49%	25.34%	$ 4,123,818,007	$ 1,045,175,168
0.6	$ 3,642,717,691	1.72	17.43%	21.12%	$ 4,948,581,608	$ 1,045,175,168
0.7	$ 3,117,413,179	1.56	15.78%	18.10%	$ 5,773,345,210	$ 1,045,175,168
0.8	$ 2,592,108,667	1.42	14.42%	15.84%	$ 6,598,108,811	$ 1,045,175,168
0.9	$ 2,066,804,155	1.31	13.27%	14.08%	$ 7,422,872,412	$ 1,045,175,168
1	$ 1,541,499,643	1.22	12.27%	12.67%	$ 8,247,636,014	$ 1,045,175,168
1.1	$ 1,016,195,130	1.13	11.41%	11.52%	$ 9,072,399,615	$ 1,045,175,168
1.2	$ 490,890,618	1.06	10.64%	10.56%	$ 9,897,163,216	$ 1,045,175,168
1.3	-$ 34,413,894	1.00	9.96%	9.75%	$ 10,721,926,818	$ 1,045,175,168
1.4	-$ 559,718,406	0.94	9.34%	9.05%	$ 11,546,690,419	$ 1,045,175,168
1.5	-$ 1,085,022,918	0.89	8.78%	8.45%	$ 12,371,454,020	$ 1,045,175,168
1.6	-$ 1,610,327,431	0.84	8.27%	7.92%	$ 13,196,217,622	$ 1,045,175,168

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-7 Sensibilidad a la inversión



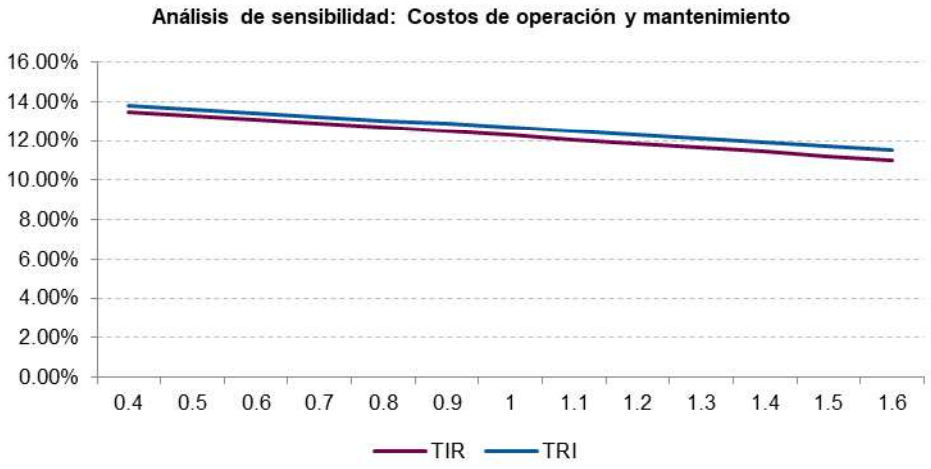
Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-26 Análisis de sensibilidad a los costos de operación y mantenimiento

Sensibilidad	VPN	B/C	TIR	TRI	Inv (t=0)	Año 1 Oper
0.4	$ 2,424,652,359	1.39	13.46%	13.80%	$ 8,247,636,014	$ 1,138,103,168
0.5	$ 2,277,460,239	1.35	13.27%	13.61%	$ 8,247,636,014	$ 1,122,615,168
0.6	$ 2,130,268,120	1.32	13.08%	13.42%	$ 8,247,636,014	$ 1,107,127,168
0.7	$ 1,983,076,001	1.29	12.88%	13.24%	$ 8,247,636,014	$ 1,091,639,168
0.8	$ 1,835,883,881	1.27	12.68%	13.05%	$ 8,247,636,014	$ 1,076,151,168
0.9	$ 1,688,691,762	1.24	12.48%	12.86%	$ 8,247,636,014	$ 1,060,663,168
1	$ 1,541,499,643	1.22	12.27%	12.67%	$ 8,247,636,014	$ 1,045,175,168
1.1	$ 1,394,307,523	1.19	12.07%	12.48%	$ 8,247,636,014	$ 1,029,687,168
1.2	$ 1,247,115,404	1.17	11.86%	12.30%	$ 8,247,636,014	$ 1,014,199,168
1.3	$ 1,099,923,285	1.14	11.65%	12.11%	$ 8,247,636,014	$ 998,711,168
1.4	$ 952,731,165	1.12	11.44%	11.92%	$ 8,247,636,014	$ 983,223,168
1.5	$ 805,539,046	1.10	11.22%	11.73%	$ 8,247,636,014	$ 967,735,168
1.6	$ 658,346,927	1.08	11.00%	11.55%	$ 8,247,636,014	$ 952,247,168

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-8 Análisis de sensibilidad a los costos de operación y mantenimiento



Fuente: Elaboración propia

5.4.2 Análisis de sensibilidad a los beneficios

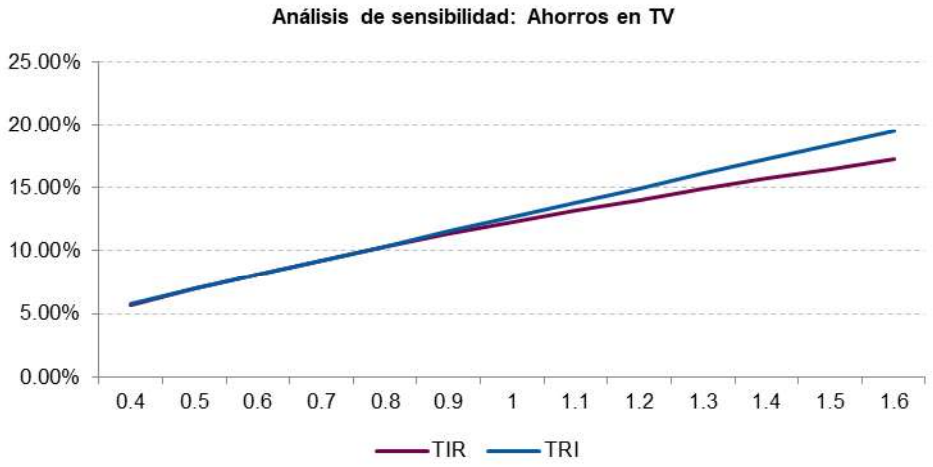
En esta sección se presentan las tablas de sensibilidad a los cambios en los beneficios del proyecto. En concreto al ahorro en valor del tiempo, ahorro en costos de operación vehicular y ahorro en costos generalizados de viaje. En general se encuentra una relación directa entre los indicadores de rentabilidad y los beneficios.

Tabla 5-27 Análisis de sensibilidad al ahorro en tiempo de viaje

Sensibilidad	VPN	B/C	TIR	TRI	Inv (t=0)	Año 1 Oper
0.4	-$ 2,460,620,346	0.66	5.69%	5.80%	$ 8,247,636,014	$ 478,535,888
0.5	-$ 1,793,600,348	0.75	6.96%	6.95%	$ 8,247,636,014	$ 572,975,768
0.6	-$ 1,126,580,350	0.84	8.15%	8.09%	$ 8,247,636,014	$ 667,415,648
0.7	-$ 459,560,352	0.94	9.27%	9.24%	$ 8,247,636,014	$ 761,855,528
0.8	$ 207,459,646	1.03	10.32%	10.38%	$ 8,247,636,014	$ 856,295,408
0.9	$ 874,479,644	1.12	11.32%	11.53%	$ 8,247,636,014	$ 950,735,288
1	$ 1,541,499,643	1.22	12.27%	12.67%	$ 8,247,636,014	$ 1,045,175,168
1.1	$ 2,208,519,641	1.31	13.18%	13.82%	$ 8,247,636,014	$ 1,139,615,048
1.2	$ 2,875,539,639	1.40	14.06%	14.96%	$ 8,247,636,014	$ 1,234,054,927
1.3	$ 3,542,559,637	1.49	14.90%	16.11%	$ 8,247,636,014	$ 1,328,494,807
1.4	$ 4,209,579,635	1.59	15.71%	17.25%	$ 8,247,636,014	$ 1,422,934,687
1.5	$ 4,876,599,633	1.68	16.49%	18.40%	$ 8,247,636,014	$ 1,517,374,567
1.6	$ 5,543,619,631	1.77	17.25%	19.54%	$ 8,247,636,014	$ 1,611,814,447

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-9 Análisis de sensibilidad a los ahorros en tiempo de viaje



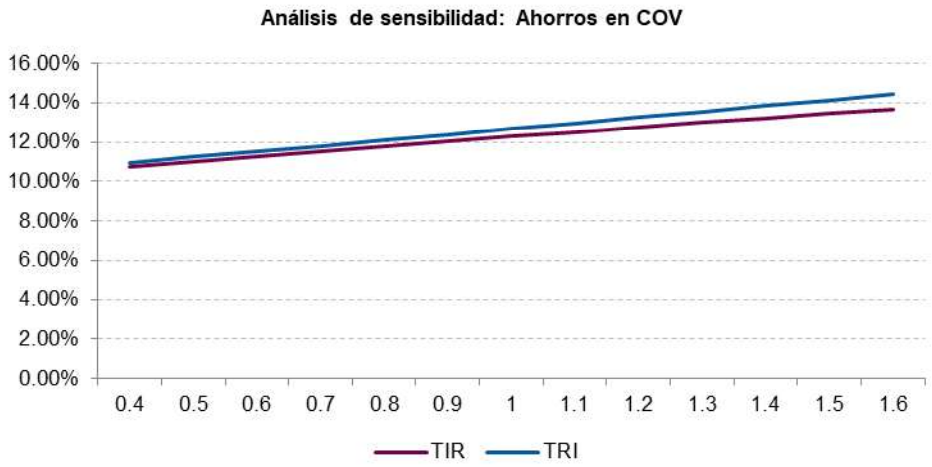
Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-28 Análisis de sensibilidad a los costos de operación vehicular

Sensibilidad	VPN	B/C	TIR	TRI	Inv (t=0)	Año 1 Oper
0.4	$ 488,629,495	1.07	10.75%	10.93%	$ 8,247,636,014	$ 901,474,526
0.5	$ 664,107,853	1.09	11.01%	11.22%	$ 8,247,636,014	$ 925,424,633
0.6	$ 839,586,211	1.12	11.27%	11.51%	$ 8,247,636,014	$ 949,374,740
0.7	$ 1,015,064,569	1.14	11.53%	11.80%	$ 8,247,636,014	$ 973,324,847
0.8	$ 1,190,542,927	1.17	11.78%	12.09%	$ 8,247,636,014	$ 997,274,954
0.9	$ 1,366,021,285	1.19	12.03%	12.38%	$ 8,247,636,014	$ 1,021,225,061
1	$ 1,541,499,643	1.22	12.27%	12.67%	$ 8,247,636,014	$ 1,045,175,168
1.1	$ 1,716,978,001	1.24	12.52%	12.96%	$ 8,247,636,014	$ 1,069,125,275
1.2	$ 1,892,456,358	1.26	12.75%	13.25%	$ 8,247,636,014	$ 1,093,075,381
1.3	$ 2,067,934,716	1.29	12.99%	13.54%	$ 8,247,636,014	$ 1,117,025,488
1.4	$ 2,243,413,074	1.31	13.22%	13.83%	$ 8,247,636,014	$ 1,140,975,595
1.5	$ 2,418,891,432	1.34	13.46%	14.12%	$ 8,247,636,014	$ 1,164,925,702
1.6	$ 2,594,369,790	1.36	13.68%	14.41%	$ 8,247,636,014	$ 1,188,875,809

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-10 Análisis de sensibilidad a COV



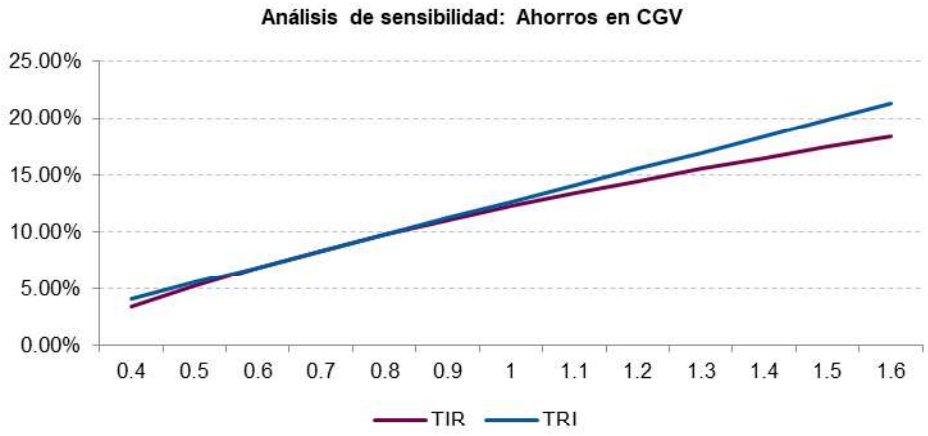
Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-29 Análisis de sensibilidad a los Costos Generalizados de Viaje

Sensibilidad	VPN	B/C	TIR	TRI	Inv (t=0)	Año 1 Oper
0.4	-$ 3,513,490,494	0.51	3.41%	4.06%	$ 8,247,636,014	$ 334,835,247
0.5	-$ 2,670,992,138	0.63	5.24%	5.50%	$ 8,247,636,014	$ 453,225,234
0.6	-$ 1,828,493,782	0.74	6.89%	6.93%	$ 8,247,636,014	$ 571,615,220
0.7	-$ 985,995,426	0.86	8.39%	8.37%	$ 8,247,636,014	$ 690,005,207
0.8	-$ 143,497,070	0.98	9.77%	9.80%	$ 8,247,636,014	$ 808,395,194
0.9	$ 699,001,287	1.10	11.06%	11.24%	$ 8,247,636,014	$ 926,785,181
1	$ 1,541,499,643	1.22	12.27%	12.67%	$ 8,247,636,014	$ 1,045,175,168
1.1	$ 2,383,997,999	1.33	13.42%	14.11%	$ 8,247,636,014	$ 1,163,565,154
1.2	$ 3,226,496,355	1.45	14.50%	15.54%	$ 8,247,636,014	$ 1,281,955,141
1.3	$ 4,068,994,711	1.57	15.53%	16.98%	$ 8,247,636,014	$ 1,400,345,128
1.4	$ 4,911,493,067	1.69	16.52%	18.41%	$ 8,247,636,014	$ 1,518,735,115
1.5	$ 5,753,991,423	1.80	17.47%	19.85%	$ 8,247,636,014	$ 1,637,125,102
1.6	$ 6,596,489,779	1.92	18.38%	21.29%	$ 8,247,636,014	$ 1,755,515,088

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-11 Análisis de sensibilidad a los Costos Generalizados de Viaje



Fuente: Elaboración propia

5.5 Riesgos

A partir de los análisis realizados, a continuación, se presentan los principales riesgos asociados al proyecto, identificados en las etapas de construcción y operación, así como una breve descripción de cada uno de estos.

Tabla 5-30 Relación de riesgos

ID_CAT	Categoría de riesgo	Etapa	Riesgo	Descripción	Efecto	Impacto	Cuantificable/No cuantificable	Medida de mitigación
1	Riesgo de implementación	Etapa de licitación	Riesgo de retraso en la adquisición de terrenos (Derecho de vía)	Dificultad en la entrega de terrenos en concordancia con un programa previamente definido: • Terrenos comunales • Terrenos ejidales • Terrenos privados • Terrenos estatales	Sobre plazo que llevaría a sobrecosto en la construcción	Moderado	Cuantificable	La dependencia deberá tener aprobado e identificado completamente el trazo. Asimismo, deberá contar con recursos económicos suficientes y disponibles para pagar a tiempo el valor comercial de los avalúos. Contar con los datos catastrales, ejidales y con sus levantamientos topográficos, deslindes, escrituras. Contratar a una empresa de reconocido prestigio para negociar en tiempo y forma. Contemplar, de ser necesario la expropiación de los terrenos. Evaluar otras alternativas de trazo
2	Riesgo de implementación	Etapa de licitación	Permisos, licencias o autorizaciones provenientes de la autoridad estatal	Estos permisos incluyen: Permisos ambientales (MIA), permisos de las compañías de servicio público	Sobre plazo que llevaría a sobrecosto en la construcción	Menor	Cuantificable	La dependencia deberá contar con un plan de trabajo en el cual se establezcan todos los tramites que debe realizar, así como las fechas límites para concluirlos
3	Riesgo de construcción	Etapa de diseño	Riesgo de retraso en la ejecución del proyecto ejecutivo	Condiciones climáticas desfavorables para la elaboración de levantamientos	Sobre plazo en la construcción	Menor	Cuantificable	Desde el proceso de licitación deberá llevar a cabo las acciones necesarias para elaborar el proyecto ejecutivo y entregarlo en tiempo y forma al Mandante. Se sugiere en medidas de mitigación incluir por parte del desarrollador, un staff de supervisión de proyecto. Que empate necesidades y capacidades del proyecto.
4	Riesgo de construcción	Etapa de diseño	Riesgo por la obtención de terrenos adicionales	La ejecución del proyecto ejecutivo revela la necesidad de obtener terrenos adicionales a los previstos por el anteproyecto	Sobrecostos en la construcción	Moderado	Cuantificable	Desde el proceso de licitación deberá conocer el área en la cual se desarrollará el trabajo e identificar los posibles terrenos adicionales que necesitará para llevar a cabo la obra
5	Riesgo de construcción	Etapa de construcción	Riesgo de acceso	Capacidad logística de trasladar elementos prefabricados a los sitios donde se lleva la construcción del proyecto	Sobre plazo que llevaría a sobrecosto en la construcción	Menor	Cuantificable	Desde el proceso de licitación deberá conocer el área en la cual se desarrollará el trabajo e identificar los posibles accesos al terreno que necesitará para llevar a cabo la obra
6	Riesgo de construcción	Etapa de construcción	Riesgo de obtención de permisos y licencias	Estos permisos incluyen: permisos de acceso y explotación de bancos de materiales (arena, grava), acuerdos con los sindicatos de transportistas, permisos estatales de construcción	Sobre plazos en la construcción	Menor	Cuantificable	Desde el proceso de licitación tendrá la responsabilidad de averiguar los permisos que se requieren. Durante el proceso de construcción deberá incluir en su plan de trabajo el momento de solicitar estos permisos y deberá tener presente cuándo se deben renovar

ID_CAT	Categoría de riesgo	Etapa	Riesgo	Descripción	Efecto	Impacto	Cuantificable/No cuantificable	Medida de mitigación
7	Riesgo de construcción	Etapa de construcción	Riesgo en la calidad de los materiales	Defectos en los materiales de construcción utilizados por el desarrollador	Sobrecostos en la construcción	Moderado	Cuantificable	La dependencia podrá incluir en el contrato la obligación de que el desarrollador realice pruebas de resistencia/calidad a los materiales que utilice. Las gerencias del proyecto deberán exigir y estar al tanto de dichas pruebas.
8	Riesgo de construcción	Etapa de construcción	Riesgo de accidentes	Accidentes derivados de la construcción de la obra civil ya sea a personal que labora en la obra, a la infraestructura existente o en construcción, a terceros o a instalaciones de servicios previamente identificados	Sobrecostos en la construcción	Menor	Cuantificable	Implementar programas de aseguramiento de la calidad y seguridad como ISO-9000 u otros. Las gerencias de proyecto deberán llevar adecuadamente una supervisión. Se sugiere considerar la adquisición de las pólizas de seguros pertinentes.
9	Riesgo de construcción	Etapa de construcción	Condiciones geotécnicas y de la tierra	El subsuelo sobre el cual se desarrolle el proyecto puede tener condiciones geotécnicas que dificulten su desarrollo y representen un mayor costo	Sobrecostos en la construcción	Menor	Cuantificable	Desde el proceso de licitación deberá realizar visitas al sitio y realizar los estudios que considere necesarios para mitigar este riesgo
10	Riesgo de construcción	Etapa de construcción	Riesgo de mal clima	La existencia de mal clima puede retrasar el desarrollo del proyecto e incrementar el costo de la obra	Sobrecostos en la construcción	Menor	Cuantificable	Se puede adquirir pólizas de seguros para mitigar este riesgo. Deberá revisar su disponibilidad en el mercado
11	Riesgo de construcción	Etapa de construcción	Riesgo de atrasos de empresa constructora	Aumentos de los costos debido a atrasos en la ejecución de las actividades programadas por parte de la empresa constructora	Sobrecostos en la construcción	Moderado	Cuantificable	Se deberá contar con una adecuada Gerencia del Proyecto que reporte oportunamente los posibles retrasos y las posibles soluciones.
12	Riesgo de construcción	Etapa de construcción	Riesgo de sobrecostos en la construcción	Aumento de costos debido a la necesidad de realizar obras adicionales no previstas, incremento en precios de materiales y mano de obra y estimación errónea en los costos ofertados	Sobrecostos en la construcción	Moderado	Cuantificable	El proyecto ejecutivo deberá contar con programas de calidad, una programación confiable, liquidez económica, para cumplir con los tiempos. Asegurar los recursos económicos para la compra de materiales.
13	Riesgo de operación y mantenimiento	Etapa de explotación	Riesgo de existencia de vicios ocultos	Existencia de defectos en la construcción de la infraestructura, no observables de manera inmediata que requieran una inversión adicional no prevista para su reparación	Sobrecostos en la operación y mantenimiento	Menor	Cuantificable	Requerir en el contrato una fianza por vicios ocultos por el monto del riesgo calculado
14	Riesgo de operación y mantenimiento	Etapa de explotación	Riesgo de incremento de costos de operación y mantenimiento	Aumento no previsto de los costos de operación y/o mantenimiento del proyecto	Sobrecostos en la operación y mantenimiento	Moderado	Cuantificable	Considerar una partida de contingencias en los presupuestos anuales de costos de operación y mantenimiento. En el contrato se deberá prever el incremento en el pago al proveedor por concepto de inflación.

ID_CAT	Categoría de riesgo	Etapa	Riesgo	Descripción	Efecto	Impacto	Cuantificable/No cuantificable	Medida de mitigación
15	Riesgo de operación y mantenimiento	Etapa de explotación	Baja calidad del servicio	No se logra alcanzar un nivel y calidad de servicio para el proyecto acorde con las especificaciones contractuales	Incumplimiento de estándares fijados contractualmente que llevarían a penalizaciones para el desarrollador	Menor	Cuantificable	Realizar una adecuada supervisión y gerencia del proyecto durante la vida completa del mismo,
16	Riesgo de operación y mantenimiento	Etapa de explotación	Riesgo de disponibilidad del servicio	Interrupción parcial o total por causas atribuibles al desarrollador	Incumplimiento de estándares fijados contractualmente que llevarían a penalizaciones para el desarrollador	Menor	Cuantificable	Realizar una adecuada supervisión y gerencia del proyecto durante la vida completa del mismo
17	Riesgo de operación y mantenimiento	Etapa de explotación	Riesgo de daño a la infraestructura	Durante la operación del proyecto, la infraestructura u otros elementos se daña diversas causas	Sobrecostos en la operación y mantenimiento	Menor	Cuantificable	El desarrollador puede adquirir pólizas de seguros y tendrá que buscar que la parte culpable remedie el daño.
18	Riesgo de fuerza mayor	Todas las etapas del proyecto	Riesgos de catástrofes naturales asegurables	Riesgos de afectaciones a la construcción y operación debido a fenómenos meteorológicos como sismos, entre otros	Sobrecostos en la operación y mantenimiento	Menor	Cuantificable	Contratación de las pólizas de seguros necesarias
20	Riesgo de mercado	Etapa de explotación	Riesgo de incremento en el precio de los insumos	El precio de los componentes valuado en moneda extranjera se incrementos cambiaros	Sobrecostos en la operación y mantenimiento	Moderado	Cuantificable	Crear un fondo de reserva para este tipo de eventualidad

Fuente: Elaboración propia

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio de evaluación socioeconómica, en su modalidad de **Análisis Costo Beneficio del proyecto de construcción e implementación de un sistema de transporte por cable en la ciudad de Puebla de Zaragoza**, indica que el proyecto de infraestructura de transporte es rentable en términos sociales y económicos, ya que los beneficios generados propiamente por reducción en TV, ahorros en COV, disminución de gases contaminantes y valor de rescate de la infraestructura; son superiores a los costos de inversión (incluyendo los costos por molestias durante el periodo de construcción), reinversiones, costos de operación y mantenimiento necesarios a lo largo del horizonte de evaluación del proyecto; por lo tanto, se recomienda su construcción bajo las condiciones y características mencionadas en el presente estudio.

De igual forma y de acuerdo con los indicadores de rentabilidad estimados, utilizando una tasa de descuento del 10%, se concluye lo siguiente:

- Invirtiendo **$ 6,753,607,338 pesos con IVA**[11] en los años 2025 a 2029, se obtiene un **VPN** de **$1,521,499,643** pesos del 2025 sin IVA, y una **TIR** del **12.27%.**

- Considerando los costos y beneficios, el año óptimo para operar el proyecto es 2030, ya que la **TRI** es de **12.67%**, la cual es mayor a la tasa social de descuento.

[11] A dicho monto se le tiene que suman el costo por la liberación del derecho de vía y medidas de mitigación ambiental, el cual se estima en este momento es de $212.03 millones de pesos con IVA.

7 BIBLIOGRAFÍA

- **Secretaría de Hacienda y Crédito Público**. Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo beneficio de los programas y proyectos de inversión. Diario Oficial de la Federación.
- **Cruz, G., Hernández, S., & Arroyo, J. A.** (2025). *Estimación del valor del tiempo de los usuarios que circulan por la red carretera de México, 2025*. Instituto Mexicano del Transporte. https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=628&IdBoletin=214imt.mx+2imt.mx+2imt.mx+2
- **World Bank**. (2024). *States and trade of carboning pricing* https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17035
- **Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos** (1917). Artículo 4, 25, 27, 73.XXIX-C, 115.V. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/549587/Constitucion_Politica_de_los_Estados_Unidos_Mexicanos.pdf
- **Gobierno del Estado de Puebla. (2019).** *Plan Estatal de Desarrollo 2019–2024*. https://planeader.puebla.gob.mx/ped
- **México. (1917)**. *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Recuperado de https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf
- **México. (2016).** *Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano*. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Recuperado de https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGAHOTDU.pdf
- Plan Nacional de Desarrollo 2025 – 2030. Gobierno de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/981072/PND_2025-2030_v250226_14.pdf
- **Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU).** (2023). *Estrategia Nacional de Movilidad y Seguridad Vial 2023–2042*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/927027/Estrategia_Nacional_de_Movilidad_y_Seguridad_Vial_2023-2042..pdf
- **Gobierno del Estado de Puebla.** (2024). *Plan Estatal de Desarrollo 2024–2030*. Sistema Estatal de Planeación Democrática. https://ped2024-2030.puebla.gob.mx/
- Plan Municipal de Desarrollo (2024-2027) https://implan.pueblacapital.gob.mx/images/PMD_2024_Capital_Imparable_220124_CORR_compressed.pdf
- Transporte público, planeación, diseño, operación y administración. Ángel Molinero, Ignacio Sánchez Arellano. Cuarta edición. Derechos reservados, 2002.
- Ingeniería de tránsito y carreteras. Nicolás J. Garber, Lester a. Hoel. Tercera edición. Ed. Thomson.
- Lineamientos para el registro en la Cartera que integra y administra la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, de las Obras contempladas en el Presupuesto de Egresos de la Ciudad de

México a ser financiadas con endeudamiento autorizado por el artículo 3° de la Ley de Ingresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal de 2019 emitidos por la UI-SHCP.

- Manual de Evaluación Económica de Proyectos de Transporte. Banco Interamericano de Desarrollo, Washington, D. C. 2006.
- Metodología General para la Evaluación de Proyectos, CEPEP Secretaría de Hacienda y Crédito Público, México, D. F. 2008.
- Programa de asistencia técnica en transporte urbano para las ciudades medias mexicanas. Manual normativo Tomo VII. Manual de evaluación socioeconómica.
- Metodología para la evaluación socioeconómica de proyectos de transporte masivo. CEPEP. 2018.
- Ley del Impuesto al Valor Agregado, DOF, 30 de noviembre de 2016.
- ¿Los teleféricos como alternativa de transporte urbano? Ahorro de tiempo en el sistema de teleférico urbano más grande del mundo: La Paz-El Alto. Banco Interactivo de Desarrollo (BID). 2017.