UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE INGENIERÍA

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FERROVIARIO EN EL BOULEVARD KUKULKÁN, CANCÚN, QUINTANA ROO

POR:

ING. RICARDO ROJAS FABRO

TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA EN VIAS TERRESTRES

CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO **ABRIL 2022**

Propuesta para la implementación de un sistema ferroviario en el Boulevard Kukulkán, Cancún-Quintana Roo. Tesis presentada por el Ing. Ricardo Rojas Fabro, para obtener el grado de Maestro en Ingeniería en Vías Terrestres, ha sido aprobado y aceptado por:

M.I. Javier González Cantú
Director de la Facultad de Ingeniería

Dr. Alejandro Villalobos Aragón
Secretario de Investigación y Posgrado

M.A. María Lourdes Flores Portillo
Coordinadora Académica

Dra. Daphne Espejel García
Directora de Tesis

Abril 2022

Fecha

COMITÉ
Dra. Daphne Espejel García
Dr. Alejandro Villalobos Aragón
Dra. Vanessa Verónica Espejel García
M.I. José Antonio Portillo Oceguera

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

05 de abril de 2022.

ING. RICARDO ROJAS FABRO
Presente.

En atención a su solicitud relativa al trabajo de tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería en Vías Terrestres, nos es grato transcribirle el tema aprobado por esta Dirección, propuesto y dirigido por la directora **Dra. Daphne Espejel García** para que lo desarrolle como tesis, con el título **"PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FERROVIARIO EN EL BOULEVARD KUKULKÁN, CANCÚN, QUINTANA ROO"**.

Índice de Contenido

Agradecimientos

Resumen

Índice de contenido

Índice de tablas

Índice de figuras

1. Introducción
2. Marco teórico
    2.1. Antecedentes
    2.2. Clasificación de transportes ferroviarios
    2.3. Monorriel
    2.4. Nivel de servicio
    2.5. Aforos
3. Metodología
    3.1. Trabajo de campo para determinación de parámetros
    3.2. Congestionamiento
    3.3. Monorriel metodología
4. Análisis de resultados
    4.1. Geometría de la vialidad
    4.2. Aforo vehicular en el boulevard Kukulkán, Cancún, Quintana Roo

FACULTAD DE INGENIERÍA
Circuito No.1, Campus Universitario 2
Chihuahua, Chih., México. C.P. 31125
Tel. (614) 442-95-00
www.fing.uach.mx

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

4.3. Aforo de transferencia de pasajeros en las rutas del transporte público

4.4. Encuesta con relación a la calidad del transporte público

4.5. Nivel de servicio

4.6. Monorriel

5. Conclusiones y recomendaciones
6. Referencias

6.1. Páginas web consultadas

Solicitamos a Usted tomar nota de que el título del trabajo se imprima en lugar visible de los ejemplares del documento terminal.

A T E N T A M E N T E

"Naturam subiecit aliis"

EL DIRECTOR

M.I. JAVIER GONZÁLEZ CANTÚ

SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

DR. ALEJANDRO VILLALOBOS ARAGÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA
Circuito No.1, Campus Universitario 2
Chihuahua, Chih., México. C.P. 31125
Tel. (614) 442-95-00
www.fing.uach.mx

Dedicatoria

A mis padres, Elvira y Ricardo *por que el ingeniero y persona que soy hoy en día es el reflejo de sus enseñanzas, por qué siempre estuvieron para apoyarme y motivarme a ser mejor persona, deportista, estudiante y profesionista.*

A mis hermanas *que siguiendo los pasos de sus éxitos y logros entendí que somos capaces de cumplir nuestras metas:* ***Teya*** *por ser una amiga, confidente y madre, eres mi ejemplo como persona e ingeniero, de ti aprendí la dedicación, el esfuerzo y la disciplina.* ***Kela****, por ser amiga y soporte, por escucharme, aconsejarme y motivarme a lo largo de este camino. A* ***Teté****, por ser amiga, confidente, guía y motivación para cumplir con mis sueños.*

A ***Amner,*** *por tus consejos, apoyo, confianza y motivación a lo largo de esta etapa.*

A mis ***Sobrinas****,* ***Alexandra y Ainara,*** *por su cariño y motivación, si tienen sus metas claras ningún obstáculo será lo suficientemente difícil para superarlo, aplica en la escuela, en el deporte y en la vida.*

A la Dra. Daphne Espejel *por su amistad, apoyo, confianza, paciencia y dedicación a lo largo de la maestría y en especial durante la tesis.*

Agradecimientos

Agradezco a la **Universidad Autónoma de Chihuahua** y a la **Facultad de Ingeniería** por la oportunidad otorgada de formar parte del programa de Maestría en Ingeniería en Vías Terrestres, permitiéndome adquirir nuevos conocimientos y experiencia que me servirá a lo largo de mi camino como profesionista.

Agradezco a mi Directora de tesis, la **Dra. Daphne Espejel García**, por la confianza y guía que me proporcionó en este trabajo de investigación, ya que gracias a sus consejos, conocimientos y dedicación culmine con esta importante etapa.

Al **Dr. Alejandro Villalobos**, por su amistad, apoyo, confianza y disposición a lo largo de la maestría, así como de este trabajo de investigación.

A la **Dra. Vanessa Espejel**, por su compromiso, apoyo, conocimientos y disposición en las diferentes etapas de este trabajo de investigación

Al **Maestro José Portillo**, por su disposición y confianza a lo largo de esta investigación.

A la **Maestra Lourdes Flores** por su invaluable atención y apoyo que me brindó desde el primer día.

Resumen

El crecimiento urbano en una ciudad representa diversas problemáticas en cuestión de movilidad, reflejándose principalmente en el incremento del número de personas y vehículos que se desplazan, la ciudad de Cancún, Quintana Roo, es un ejemplo claro, debido a que año con año incrementa el número de habitantes y turistas que arriban a la ciudad en busca de trabajo o zonas de turísticas. En la ciudad de Cancún se encuentra el boulevard Kukulkán, más conocido como la zona hotelera de Cancún, la cual representa una de las vialidades de mayor importancia dentro de la ciudad y en el estado, a través de vialidad se desplazan un gran número de trabajadores y turistas diariamente. La presente investigación elaboró una metodología para evaluar el comportamiento vehicular y proponer un sistema férreo de tipo Monorriel como transporte urbano, con la finalidad de reducir el congestionamiento dentro del Boulevard Kukulkán y reducir los tiempos de recorrido dentro la vialidad. Para desarrollar dicha metodología, esta fue dividida en la recolección de datos en campo con la finalidad de conocer las características de la vialidad y el comportamiento vehicular, para posteriormente capturar y evaluar la información obtenida para finalmente evaluar la propuesta de un Monorriel como transporte urbano. Este trabajo fue desarrollado en 3 fases, la primera compuesta por: 1. La generación de información mediante trabajos de campo para determinar la geometría de la vialidad. 2. El análisis, clasificación, comparación y proyección futura de los vehículos que transitan sobre el boulevard Kukulkán, obtenido a través de un aforo por medio de mangueras neumáticas. 3. El aforo de transferencia de pasajeros, realizado a través de una encuesta para delimitar las zonas de mayor concurrencia tanto dentro de la ciudad como del Boulevard Kukulkán. 4. La encuesta con relación a la calidad del transporte público dentro del Boulevard Kukulkán para evaluar las ventajas y desventajas del transporte actual. 5. El Monitoreo origen destino realizado por medio de una encuesta en las zonas de mayor concentración dentro de la vialidad para conocer su origen y destino de los usuarios del transporte público. La segunda fase consistió en el análisis y evaluación del nivel de servicio obtenido por medio de la metodología del *Highway Capacity Manual 2010* (HCM 2010), información que se obtuvo a través del aforo vehicular y de la geometría de la vialidad. Y finalmente la tercera fase que consistió en la propuesta del monorriel, contemplando estaciones, velocidad, número de trenes y tiempos de espera y recorrido por sentido para evaluar su eficiencia. Los resultados obtenidos en esta investigación resaltan los diversos conflictos que presenta el boulevard Kukulkán en las horas de máxima demanda, con tiempos de espera que se aproximaron a los 60 minutos y velocidades menores a 30 km/h, ofreciendo un nivel de servicio poco favorable y que representa estar próximo a su máxima capacidad, lo que representa una deficiencia en materia de movilidad tanto para los usuarios del transporte público, como para los usuarios de vehículos particulares que hacen uso diario de esta vialidad. Por lo que la propuesta de un monorriel como sistema de transporte urbano, busca ofrecer una solución rentable, accesible, rápida y segura para los usuarios del Boulevard Kukulkán, sin olvidar que es una opción amigable con el medio ambiente, por lo que su implementación representaría una reducción en los tiempos de recorrido a lo largo de la vialidad, las cuales oscilarían entre los 9 minutos a los 11 minutos dependiendo de la velocidad de proyecto.

Índice de Contenido

Agradecimientos x
Resumen xi
Índice de Contenido xii
Índice de Tablas xiii
Índice de Figuras xiv
1. Introducción 1
2. Marco Teórico 3
    2.1 Antecedentes 3
    2.2 Clasificación de transportes ferroviarios 4
    2.3 Monorriel 9
    2.4 Nivel de Servicio 15
    2.5 Aforos 17
3. Metodología 19
    3.1 Trabajo de campo para determinación de parámetros 19
    3.2 Congestionamiento 29
    3.3 Monorriel Metodología 35
4. Análisis de Resultados 37
    4.1 Geometría de la vialidad 37
    4.2 Aforo vehicular en el boulevard Kukulkán, Cancún, Quintana Roo 38
    4.3 Aforo de transferencia de pasajeros en las rutas de transporte colectivo 41
    4.4 Encuesta con relación a la calidad del transporte público 43
    4.5 Nivel de Servicio 44
    4.6 Monorriel 46
5. Conclusiones y recomendaciones 49
6. Referencias 51
    6.1 Páginas web consultadas 52
Curriculum Vitae 54

Índice de Tablas

Tabla 1. Monorrieles en diversas ciudades del mundo (referencia). 13
Tabla 2. Características de Monorrieles en el Mundo (referencia). 14
Tabla 3. Distribución de ascenso al transporte público. 22
Tabla 4. Distribución de zonas de descenso dentro del Boulevard Kukulkán. 23
Tabla 5. Datos de entrada y valores para segmentos básicos de autopistas (HCM, 2010). 30
Tabla 6. Factor de ajuste por carril y ancho de hombro (HCM, 2010). 31
Tabla 7. Factor de ajuste para densidad de punto de acceso (HCM, 2010). 31
Tabla 8. Factor de ajuste para velocidad media de viaje vehículos pesados y recreativos (HCM, 2010). 32
Tabla 9. Factor de ajuste para velocidad media de viaje en un terreno a nivel (HCM, 2010) 32
Tabla 10. Factor de ajuste de ATS para zonas de no acceso (HCM, 2010). 33
Tabla 11. Coeficiente de PTSF para la ecuación 3 (HCM, 2010). 34
Tabla 12. Factor de ajuste para zonas de no rebase para determinar porcentaje de tiempo estimado en la dirección de análisis (HCM, 2010). 34
Tabla 13. Nivel de servicio para carreteras de dos carriles (HCM, 2010). 35
Tabla 14. Dimensiones. 37
Tabla 15. Método de Incrementos parciales para obtención de la tasa de crecimiento. 40
Tabla 16. Proyección Futura al año 2035. 40
Tabla 17. Porcentaje por zona de ascenso. 42
Tabla 18. Porcentaje por zona de descenso. 42
Tabla 19. Características de la vía. 45
Tabla 20. Nivel de Servicio para los dos segmentos del Boulevard Kukulkán. 45
Tabla 21. Clasificación y Porcentaje Vehicular. 47
Tabla 22. Tiempo por viaje de monorriel a diferentes velocidades. 48

Índice de Figuras

Figura 1. El Wuppertaler Schwebebahn, en Wuppertal, Alemania 10
Figura 2. El monorriel de Tokio 11
Figura 3. Monorriel en Alejandría en Egipto 12
Figura 4. Monorriel en Kuala Lumpur 13
Figura 5. Monorriel Okinawa. 14
Figura 6. Monorriel de las Vegas. 14
Figura 7. Línea 15- Plata Sao Paulo. 15
Figura 8. Monorriel de Seattle. 15
Figura 9. Niveles de Servicio en una Vialidad. 16
Figura 10. Marcas de Posición Georreferenciadas en Google Earth 2021. 20
Figura 11. Aforadores Automáticos, del tipo de mangueras neumáticas. 21
Figura 12 Zonas por color. 22
Figura 13. Distribución de Zonas por color 23
Figura 14. Aplicación de Encuesta en el Boulevard Kukulkán 25
Figura 15. Sección uno de la Encuesta 26
Figura 16. Sección dos de la Encuesta. 27
Figura 17. Encuesta en Transporte Público. 28
Figura 18. Distribución del boulevard Kukulkán. 36
Figura 19. Sección del boulevard Kukulkán 37
Figura 20. Aforo Vehicular 2019. 38
Figura 21. Porcentaje de clasificación vehicular. 39
Figura 22. Incremento Futuro del TDPA. 41
Figura 23. Zonas de descenso dentro del Boulevard Kukulkán. 41
Figura 24. Zonas de descenso dentro del Boulevard Kukulkán. 42
Figura 25. Distribución de usuarios. 43
Figura 26. Calificación proporcionada por los usuarios del transporte público. 44
Figura 27. Distribución de superestructura del monorriel sobre camellón central del Boulevard Kukulkán 46
Figura 28. Vista de planta del monorriel y su vía 48

1. Introducción

La principal finalidad de los Sistemas de Transporte es conectar dos o más puntos para transportar personas y mercancías, de tal forma que, se encuentre la manera más eficiente, segura y rápida para lograrlo. Por lo anterior, se ha llevado a crear diferentes vías de comunicación por los que transitan camiones de carga y pasajeros, que actualmente implican un problema para el medio ambiente por sus constantes emisiones de CO_2 a la atmósfera. Aun con más de 200 años de haberse creado, los sistemas de transporte ferroviario siguen siendo una opción viable para solucionar problemas de volumen y velocidad de transporte de mercancía y pasajeros. No sólo no funcionan a base de combustibles fósiles, también presentan motores híbridos y eléctricos, reduciendo costos de operación, y en comparación con los vehículos, no generan congestión en sus rutas (Islas Rivera & Lelis Zaragoza, 2007).

Los sistemas ferroviarios son un tema de interés, y dan pauta a un debate significativo sobre su uso. En México existen aún algunas líneas ferroviarias en funcionamiento: líneas Coahuila-Durango, Tijuana-Tecate, Puebla-Cholula, Chihuahua-Pacifico, Tequila-José Cuervo, La bestia, Chiapas-Ciudad de México, Ciudad de México-Veracruz (Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario, 2019), entre otras.

En México existen o se encuentran 26,914 kilómetros de vías, de las cuales se consideran 3,525 kilómetros fuera de operación (Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario, 2019). Al año 2017 el sector ferroviario movió 77.1 millones de toneladas de carga y se transportaron 56.7 millones de pasajeros (Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario, 2019).

El sistema ferroviario es un servicio de alta calidad para los usuarios, sin embargo, es necesaria la ampliación de su infraestructura y cobertura, así como su modernización, para cumplir con sus objetivos. De igual manera, se debe ejercer un plan de operación para los sistemas ferroviarios, ya que los mismos juegan un papel fundamental en la solución de problemas, mejorando la optimización en su circulación, satisfaciendo el requisito del nivel de servicio, buena adaptación y reducción de costo operativo (Wang *et al*., 2018).

En México y en el mundo existe una preocupación constante por el medio ambiente y las medidas de mitigación para reducir la contaminación. Uno de los principales contaminantes son los vehículos automotores, lo que ha llevado a soluciones como carros

híbridos y eléctricos (Irurzun & García Rosillo, 2009). Los vehículos del transporte público en México son parte fundamental en la vida cotidiana de los ciudadanos. Pero también mientras más uso tiene, generan más emisiones a la atmósfera, por lo que buscar nuevas soluciones se ha vuelto trascendental. Los ferrocarriles son una alternativa viable, por su capacidad de transportar grandes cantidades de pasajeros y mercancía en condiciones seguras y eficientes. Es necesario promover los sistemas ferroviarios en el país, en especial en zonas fronterizas y puertos donde el transporte de mercancías se haría más eficiente gracias a los corredores intermodales (Camacho Ledesma & Rico Nieto, 2015). En materia de turismo, los transportes de tipo ferroviario son de los más recurridos en ciudades con altos números de turistas. El enfoque de este estudio es la ciudad turística de Cancún, la cual representa uno de los puntos de mayores ingresos económicos a nivel estatal y nacional, por su gran variedad de hoteles, playas, plazas comerciales y parques turísticos. Tan sólo en el periodo enero-octubre del 2018 la visitaron 6.53 millones de turistas procedentes del extranjero, superando los números del 2017 (en el mismo periodo) con 6.28 millones de visitantes (Vázquez, 2019).

En esta zona existe un movimiento constante tanto de día como de noche, por los trabajadores de la industria hotelera y, por los mismos turistas. Un monorriel en esta ciudad es un proyecto innovador para el estado y para la misma zona, pues genera un impulso económico, turístico y social, sin dejar atrás el ámbito ambiental, al reducir el tránsito de los camiones de transporte público en esta zona y, ser sustituidos por un monorriel, aliviando a la vialidad (ya saturada) del Boulevard Kukulkán, que se considera la principal avenida que atraviesa la zona hotelera.

La presente investigación desarrolló un diagnóstico actual del comportamiento en el Boulevard Kukulkán en cuestión de flujo vehicular, así como evaluó la demanda del transporte público.

Dentro de los objetivos generales se propuso un sistema de transporte ferroviario, tipo monorriel con la finalidad de agilizar el flujo vehicular de la vialidad Kukulkán, los objetivos particulares fueron fundamentales para el cumplimiento del objetivo general, donde la demostración de la problemática, el análisis de las fortalezas y debilidades de transporte público, la evaluación del cambio del transporte público por un monorriel como posible solución a la problemática, fueron parte de los mismos.

2. Marco Teórico

2.1 Antecedentes

El transporte se define como un conjunto de actividades económicas que se encarga del traslado de mercancías e individuos, con la finalidad de conectar dos o más puntos (de Rus, Campos, & Nombela, 2003). Los proyectos de transporte masivo poseen impacto en el ámbito social y económico, debido a que mueven diferentes cantidades de personas a diversos puntos de una ciudad o centro poblacional. Actualmente se ha optado por impulsar este tipo de transporte, sin dejar de mencionar que para que se pueda dar el financiamiento de un transporte público masivo, se debe cumplir con la demanda mínima, estándares de calidad y que sea contemplado como una estrategia de Desarrollo Orientado al Transporte (DOT), esto para garantizar su éxito (Medina Ramírez & Veloz Rosas, 2013).

Según estadísticas internacionales, los sistemas ferroviarios son el medio de transporte terrestre más seguro y, presenta ventajas de importancia en cuanto a la superficie necesaria para la implementación de una infraestructura ferroviaria, pues la superficie del transporte ferroviario es aproximadamente un tercio de lo requerido en una carretera o autopista. Estos sistemas ferroviarios realizan operaciones cuantitativas mayores referentes a los vehículos automotores, garantizando tiempos de viaje, menores impactos o efectos externos al medio ambiente y a la sociedad (Bolívar Castillo & Rojas Moreira, 2008).

Los estudios económicos realizados en ciudades del siglo XIX reconocieron que la influencia del ferrocarril en el crecimiento urbano proporcionó ventajas comparativas a las industrias y a las producciones agrícolas, en comparación con las ciudades que no lo implementaron (Capel, 2007).

La implementación de los ferrocarriles en México influyó de manera considerable a la economía del país y a su estructura social. Los FF.CC. llegaron a México, antes de la Guerra de Reforma, pues el primer tramo ferroviario en el país fue inaugurado en 1850, y comunicaba al puerto de Veracruz con El Molino, en la cercanía del río San Juan (Martínez, 2005). Fue hasta el mandato del presidente Porfirio Díaz, que se impulsó el desarrollo de toda esta infraestructura, que posteriormente en la Revolución Mexicana, jugó un papel muy importante en cuanto al transporte de pertrechos y tropas.

Los sistemas ferroviarios se componen de una superestructura compuesta por rieles guía, a diferencia, una carretera cuenta con una superficie asfaltada de rodamiento y las

ruedas de acero del sistema ferroviario sustituyen a los neumáticos de los autotransportes (Togno, 1982).

México cuenta con 17,360 km de vía principal y secundaria concesionada, 4,474 km de vía auxiliar que lo componen patios y laderos y 1,555 km de vías particulares, los cuales sumados son un total de 23,389 km de vía operada (Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario, 2019).

Los ferrocarriles dentro de las ciudades han coexistido desde hace un siglo y medio, a partir de la aparición de las líneas ferroviarias en el siglo XIX se crearon aportaciones para el desarrollo. A partir de estos, se construyeron rápidamente las vías, considerando el futuro de la ciudad y el resultado hoy en día es la unión en un ambiente indispensable para el transporte (Robertino, 2008).

Los sistemas ferroviarios son sistemas complejos, por lo que invertir en su infraestructura es costoso, pues su dimensionamiento y construcción requiere de un amplio conocimiento de operación y visión de demanda futura. Sin embargo, se tiene la percepción de que el desarrollo global va aumentando a gran velocidad y por consecuente las vialidades ya no son suficientes para el tránsito efectivo de los vehículos. La planeación y ejecución de sistemas ferroviarios en las metrópolis hace eficiente el transporte urbano, por lo tanto, la cantidad de sistemas colectivos de transporte urbano se reducen (Lindfeldt, 2010).

2.2 Clasificación de transportes ferroviarios

Los proyectos de transporte ferroviario se pueden clasificar en tres categorías para los efectos de diseño (Bolivar Castillo & Rojas Moreira, 2008):

2.2.1 Proyectos de Transporte de Cargas:

- **Sistemas Generales.** Ferrocarriles de servicio público, que habitualmente realizan transporte de carga de terceros en carros especializados para cada tipo, operan en grandes extensiones de red, donde el parámetro de importancia para el diseño de este es el volumen de cara transportado por kilómetro de vía MTB (media de toneladas brutas);
- **Sistemas Dedicados.** Principalmente son ferrocarriles particulares, por actividades industriales, forestales o mineras, con equipos propios de cada compañía, con rutas

de origen destino fijo, donde las características a examinar en su construcción son el tipo de material a transportar, volumen, origen y destino, así como instalaciones necesarias para su manejo, y;

- **Sistemas Especializados.** Estos sistemas ferroviarios realizan transportes de corto recorrido en instalaciones industriales y mineras, mismos que pueden ser a algunos metros entre horno o áreas de desecho, dentro de esta clasificación pueden incluirse los patios de clasificación, zonas de carga y descarga.

2.2.2 Proyectos de Transporte de Pasajeros

Los proyectos de pasajeros son numerosos y se puede asegurar que no existen dos proyectos iguales, no obstante, se consideran factores como son la distancia, frecuencia, propósito de viaje y estos proyectos pueden clasificarse en los siguientes tipos:

- **Sistemas de Larga Distancia (*Intercity*).** Actualmente el concepto de larga distancia ha evolucionado debido a los trenes de alta velocidad, donde el rango óptimo de distancia oscila entre los 500 km y para distancias más cortas se recurre a trenes convencionales que se desplazan a velocidades de 160-180 km/h, los cuales no justifican las elevadas inversiones, ya que para mayores distancias el transporte aéreo sigue siendo más factible (Bolívar Castillo & Rojas Moreira, 2008).

  En Francia existe el Tren de Gran Velocidad (TGV), el cual se desplaza por todo el país, en la zona norte existen conexiones internacionales con Bélgica y Luxemburgo, al este con Alemania y al sur con países como Italia y Barcelona. El tren se desplaza a velocidades de alrededor de 320 km/h y tiene el récord de mayor velocidad desplazándose a 574,8 km/h en condiciones especiales (Prats Herrera, 2018)

- **Sistemas de Distancia Media.** Estos están definidos cuyo recorrido comprende entre los 150 y 400 km (Bolívar Castillo & Rojas Moreira, 2008).

  Avant se conoce como un sistema ferroviario de media a alta velocidad de Renfe, en España, capaz de alcanzar una velocidad máxima de hasta 250 km/h, cubriendo rutas inferiores a los 200 kilómetros (Bustos, 2020).

- **Sistemas de Cercanía.** Estos sistemas ofrecen un servicio de transporte con un volumen alto, donde su objetivo principal es unir ciudades con centros urbanos

medios o pequeños, los sistemas de cercanía se desplazan en distancias inferiores a los 150 km y su tiempo de viaje máximo es de aproximadamente una hora (Bolívar Castillo & Rojas Moreira, 2008).

En México el tren interurbano México-Toluca es un proyecto de larga distancia con una velocidad media el cual conecta dos áreas urbanas que en los últimos 20 años han tenido un desarrollo notable, con diferencias en el progreso y la densidad urbana, con una longitud de 57.87 kilómetros, una velocidad máx. De 160 km/h y una velocidad comercial de 90 km/h, tiempos de recorrido máximos de 39 min y un aforo de 234 mil pasajeros por día (Tren Interurbano México-Toluca, 2021).

- **Sistemas Suburbanos.** Sus características son similares a los trenes de cercanía y a los sistemas de metro, su objetivo principal es conectar diferentes puntos de las grandes ciudades y sus tiempos de viaje pueden ser similares a los trenes de cercanía sin embargo debido a la frecuencia de las estaciones de parada pueden variar.

  En México existe la presencia del tren suburbano, el cual redujo tiempos de transporte de 2.5 horas a un máximo de 25 minutos, con un total de 79 kilómetros de longitud y frecuencias de cada 8 minutos en horas pico (Bolívar Castillo & Rojas Moreira, 2008). Dentro de las características técnicas del tren están una longitud de 205.54 metros con 8 choches, velocidad máxima de 130 km/h y una velocidad comercial de 65 km/h, capacidad de 460 pasajeros sentados y 1,816 pasajeros de pie (Ferrocarriles Suburbanos - El proyecto, s. f.).
- **Otros sistemas.** Estos son sistemas de pasajeros que no pueden ser ubicados en las clasificaciones anteriores, en esta clase se encuentran trenes de tipo turístico que pueden tener características variadas, en general las distancias de recorrido son menores y la alta velocidad no es un factor de relevancia.

2.2.3 Proyectos de Tráfico Mixto

Se trata de sistemas ferroviarios que desplazan tanto pasajeros como carga y los mismos deben conformarse de las características de ambos tipos de trenes. Estos suelen ser más frecuentes en Trenes de cercanía, media y larga distancia y en trenes de pasajeros como los de tipo suburbano la coexistencia de trenes de carga se dificulta debido a que los mismos no disponen de la infraestructura apta para las cargas (Bolívar Castillo & Rojas Moreira,

2008). Los elementos ferroviarios resaltan como lo más factible en zonas de alta densidad, los autobuses en lugares de baja densidad y en densidades medias el BRT, tranvías o trenes ligeros (Vázquez Corte & Morín Maya, 2018).

A continuación, se describen las diferencias en los tipos de trenes y sistemas de transporte público colectivo (Vázquez Corte & Morín Maya, 2018):

- **Tren ligero:** Este tipo de tren se compone de un sistema eléctrico, compuesto por vagones únicos o trenes cortos, a lo largo de una vía, estaciones y terminales exclusivas para ascenso y descenso de pasajeros;
- **Trolebús:** Es un sistema de transporte que cuenta con una conexión de cableado, el cual está conectado directamente con una red eléctrica, por lo que depende de instalaciones de subestaciones eléctricas y carriles confinados en todo su recorrido;
- **Bus articulado sin carril exclusivo:** Estos autobuses cuentan con múltiples puertas y sin pago del pasaje a bordo, manejan una operación ordenada, paradas fijas y establecidas, con carril preferente en convivencia con el tránsito general;
- **Metro:** Tren pesado subterráneo, el metro es el sistema de transporte público masivo por excelencia, por su capacidad depende de la longitud y ancho de los carros y de su número que componen al mismo. Este tipo de transporte es operado por vías a nivel, elevadas o comúnmente subterráneas;
- **Tren suburbano:** Trenes de pasajeros los cuales operan en la mayoría de los casos con vía doble electrificada, aprovechando los derechos de vías existentes de los ferrocarriles, conectando zonas centrales con suburbios o localidades cercanas;
- **BRT (Autobús de Transito Rápido):** Pueden describirse como una combinación de instalaciones, servicios y vehículos que convierten los autobuses convencionales en un sistema de tránsito masivo, aumentando la eficiencia y eficacia para los usuarios de este, y;
- **Monorriel:** Los monorrieles son un sistema de transporte que se desplaza por un solo carril y que a diferencia de otros sistemas de transporte se encuentra elevado. Los monorrieles están divididos en monorrieles sobre viga (elevados) y bajo la viga (suspendidos), siendo los primeros el más común para su implementación. Los mismos funcionan sobre una viga de hasta 1 metro de ancho elaborada con concreto reforzado, sobre la cual se desplaza un tren de un solo riel con neumáticos de caucho.

Estos sistemas son conocidos por haber sido construidos en diversas partes del mundo donde existen áreas concurridas, que de no haber optado por esta opción las soluciones requerían de costosas construcciones subterráneas o de considerable espacio superficial para ampliaciones, vialidades alternas y sistemas de transporte con áreas exclusivas.

Las estaciones de un monorriel son contempladas como conexiones para el tren, asimismo estas son utilizadas como puntos de interés e importancia, debido a que pueden ser construidas dentro de distintos edificios, creando interacción con tiendas, hoteles, centros comerciales y más, ofreciendo un impulso comercial, social, económico y cultural (El Adawy, 2017).

Debido a las diversas necesidades en cuanto a clima, costumbres, demanda, proyección futura y más, las estaciones deben ser implementadas de manera exclusiva y especifica dependiendo de la zona. Subsiguientemente, se presentan los componentes esenciales para su correcto funcionamiento:

- Vestíbulo o Estación principal, área donde se presenta la interacción entre pasajeros y comerciantes;
- Zona de ascenso y descenso del sistema de monorriel y andén que conecta con la estación principal;
- Oficinas, almacenes, patios de mantenimiento para los trenes y vías, y;
- Plazas de transición donde existe el movimiento e intercambio de pasajeros y maniobra de los trenes.

Es necesario mencionar que, dentro del análisis de las estaciones para los sistemas ferroviarios, también se contempla que cada pasajero puede representar a 2 personas (considerados acompañantes, no viajeros), salas de espera y vagones clasificados por la diferencia de precios del servicio, así como servicios de comedor, sanitarios y guarda equipajes (Togno, 1982).

Los sistemas férreos representan un papel notable en el transporte público urbano, debido a que millones de personas los utilizan para transportarse diariamente (Wang, et al., 2018). Los pasajeros que utilizan estos sistemas de transporte constantemente demandan por un mejoramiento en los mismos, y esto pasa en grandes ciudades como Beijín, Shanghái, Tokio, New York y París donde los tiempos de espera son menores a 10 minutos y cercanos a los 2 min en zonas de mayor demanda (Wang, *et al.*, 2018).

Los sistemas de movilidad buscan mejorar el desarrollo y la calidad de vida, por medio del conocimiento de la estructura de una ciudad y su funcionamiento, esto es necesario para una correcta distribución del espacio que ocupa el transporte público masivo.
Los sistemas de transporte público deben ofrecer servicios amigables para el transporte de los ciudadanos, como comodidad, seguridad, tiempo, accesibilidad y tarifas viables.

El crecimiento de tráfico urbano ha puesto en la mira a diversos tipos de sistemas ferroviarios, los cuales han sido bien recibidos por resolver los problemas de congestión vehicular. Un monorriel es una solución tecnológica, amigable con el ambiente (tanto atmosférica como acústica) menor radio de retorno, menor costo de construcción y menor periodo de construcción comparado con el Metro y el Tren Ligero. El uso de estos sistemas es eficiente tanto en ciudades de alta, mediana y baja densidad (Chengbiao, *et al.,* 2018).

En 2017, Yuichiro evaluó los impactos de la implementación de un monorriel en comparación a una autopista, evaluando las emisiones de CO_2 considerando diversas velocidades y tiempos de viaje. Los resultados demostraron que con una velocidad promedio de 40 km/h en una distancia de 26.8 km se optimizaría la inversión, contribuiría a la reducción de tiempos de traslado de los pasajeros y reducción en un 42% las emisiones de CO_2.

El sector del transporte consume una gran parte del presupuesto de carbono, especialmente en ciudades grandes donde la expansión urbana está en crecimiento.

La deficiencia del tránsito está dividida en accidentes y congestionamiento, este segundo se puede medir comparando los movimientos en condiciones ideales, por medio de la velocidad y el retardo.

2.3 Monorriel

A finales del siglo XIX se comenzó a innovar con ferrocarriles poco convencionales, esto con la finalidad de lograr más eficiencia, velocidad y menor costo. Así nacieron sistemas tecnológicos mejores como son el sistema de transporte eléctrico, debido a la constante demanda de eficiencia en la movilidad (Moreno Carrillo & Rengifo Lozano, 2017). Los monorrieles utilizan motores eléctricos, los cuales funcionan por rieles duales, cables de contacto o canales electrificados sujetos o encerrados en las vigas de guía. Al ser el monorriel un proyecto con diferentes variables es complicado definir un costo por kilómetro general, sin contar con un estudio detallado previo.

El *Wuppertaler Schwebebahn* (Figura 1) es el único monorriel conservado, con un sistema en el que una rueda de acero de doble brida opera sobre un único riel, inaugurado en 1901 Wuppertal, Alemania, se desplaza por una vía de 13.3 km a 60 km/h y el viaje completo dura alrededor de 30 minutos, aunque la velocidad promedio es de 27 km/h (Schwebebahn de Wuppertal, el tren monorriel colgante más antiguo del mundo, 2018).

Figura 1. *El Wuppertaler Schwebebahn, en Wuppertal, Alemania*, Fuente: (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wuppertal-100522-13449-Sonnborn.jpg#/media/Archivo:Wuppertal-100522-13449-Sonnborn.jpg)

En 1956 se probaron los primeros monorrieles en Estados Unidos, los cuales fueron instalados en los parques Disneyland de Florida y California, así como en Seattle. El monorriel de Tokio (Figura 2) comenzó a circular en 1964 y es llamada también la línea del aeropuerto de Haneda - Tokio, este monorriel tiene un costo de 490 ¥ (adulto) / 250 ¥ (niño), que son 95.87 pesos mexicanos/ 48.91 pesos mexicanos, respectivamente (Monorriel de Tokio: Del Aeropuerto de Haneda al centro de Tokio, 2019). En 1980 la implementación de sistemas de monorriel obtuvo un impulso, debido al incremento de tráfico y el desarrollo urbano. Japón tiene uno de los monorrieles con mayor tiempo circulando, siendo este el monorriel de Tokio, inaugurado en 1964 y que transporta 127,000 pasajeros diarios.

Figura 2. El monorriel de Tokio, fuente: https://www.japonalternativo.com/wp-content/uploads/2018/11/horario-monorail-tokyo.jpg

Chai Hua, 2017 menciona el impulso otorgado a los monorrieles en la ciudad de Yinchuan en China, con el SkyRail desplazado sobre 5.67 km con 8 estaciones, con una capacidad de transportar 170 pasajeros a una velocidad de 80 km/h y la inversión total fue de 600 millones de yuanes ~ 1,899’706,200.00 de pesos (Hua, 2017).

En Julio del 2017 el monorriel, tren ligero y autobuses rápidos fueron considerados como opciones sustentables y eficientes, según un estudio de transporte masivo en Cambridge (Thomas, 2017). En el 2017 Panamá licitaba la línea 3 del metro, misma que sería un monorriel de 27 kilómetros, con 14 estaciones, el cual sería atendido por trenes con seis vagones capaz de mover 40 mil personas por hora (Global Construction Review, 2017).

En septiembre del 2017 el diario el economista publicó una propuesta de monorriel en la capital de Querétaro como una alternativa de movilidad y para el impulso futuro de la ciudad.

También en el año 2017, pero en la ciudad de Alejandría, en Egipto (Figura 3), se evaluó la implementación de un sistema de monorriel como solución a sus problemas de congestión vehicular y contaminación de aire, siendo esta la segunda ciudad más poblada, la más larga y el principal puerto del país.

Figura 3. Monorriel en Alejandría en Egipto, fuente: https://thumbs.dreamstime.com/b/un-nuevo-tren-monorra%C3%ADl-el%C3%A9ctrico-instalado-en-su-v%C3%ADa-de-metro-elevada-el-primer-egipto-sistema-tr%C3%A1nsito-ferroviario-234300028.jpg

El Adawy (2017) menciona que, para revertir daños, mejorar la calidad del aire, reducir la congestión vehicular e impulsar la mejora de calidad en una ciudad es necesario promover el uso de diferentes tipos de transporte público y de esta forma promover entre las personas a disminuir el uso de vehículos particulares.

En México se han presentado propuestas de monorriel antes, sin embargo, no se han llevado a cabo los proyectos, uno de los casos es el monorriel propuesto del Aeropuerto Felipe Ángeles al Observatorio, proyecto de 32 kilómetros que pretende recorrerlos en 40 minutos (Xakata México, 2018). Así mismo la ciudad fronteriza de Tijuana propuso un sistema de monorriel de poco más de 10 kilómetros para agilizar el desplazamiento de peatones en la frontera con Estados Unidos (Ortega, 2020).

2.3.1 Costos del monorriel

Para conocer el costo exacto de un monorriel se deben tomar en cuenta variables como la longitud de este, topografía de la zona, ubicación, número de pasajeros, tamaño del tren y número de vehículos, velocidad, distancias a recorrer, número de estaciones, tipo de estructura, servicios tales como luz, agua, drenaje, entre otros e impacto ambiental.

En la Tabla 1 se presentan monorrieles ubicados en diversas partes del mundo, así como sus características principales, donde resaltan el año en el que fueron puestos en operación, la longitud del sistema, el precio por kilómetro y su capacidad.

Tabla 1. Monorrieles en diversas ciudades del mundo.

UBICACIÓN	AÑO	COSTO POR KM	LONGITUD	CAPACIDAD
Tokio, Japón	1964	US$ 15 millones/km	17.8 km	76 pasajeros
Kuala Lumpur, Malasia	2003	US$ 36 millones/km	8.6 km	48 asientos y 196 pasajeros de pie
Mumbai, India	2008	US$ 27.25 millones/ km	19.54 km	80 asientos y 488 pasajeros de pie
Seattle Center Monorail	1962	3.5 millones	1.5 km	250 pasajeros por tren

Tal es el caso del monorriel llamado Kuala Lumpur (Figura 4), el cual es un monorriel eléctrico urbano /interurbano, el cual cuenta con 11 estaciones ubicadas entre 0.5 km a 1.0 km cada una, a lo largo de sus 8.6 km, el inicio de su construcción fue en 1997. Sin embargo, su apertura fue hasta el año 2003. El sistema opera a una velocidad máxima de 80 km/h y los trenes tienen un diseño similar al ALWEG Monorail de Seattle, los cuales miden 20 metros de largo y 3 metros de ancho (Railway Technology, s.f.).

Figura 4. Monorriel en Kuala Lumpur, fuente: https://maravillasmodernas.files.wordpress.com/2008/04/monoriel-kuala-lumpur-7.jpg

La Tabla 2 presenta particularidades como son el numero de habitantes de las diversas ciudades que tienen como sistema de transporte urbano un monorriel, la longitud del mismo, el número de pasajeros que trasladan por día, el número de estaciones, la velocidad a la que se desplaza cada monorriel y el precio del servicio para los diversos monorrieles tales como el monorriel Kuala Lumpur (Figura 4), el de Okinawa (Figura 5), el de Las Vegas (Figura 6), el de Sao Paulo (Figura 7) y el de Seattle (Figura 8).

Tabla 2. Características de Monorrieles en el Mundo.

CARACTERÍSTICAS	YUI RAIL MONORRIEL DE OKINAWA	ROBERT N. BROADBENT LAS VEGAS MONORAIL	LÍNEA 15 - PLATA	SEATTLE CENTER MONORAIL
Ubicación	Naha, Okinawa-Japón	Las Vegas Strip, Nevada, Estados Unidos	São Paulo, Brasil	Seattle, Estados Unidos
Población	319.435 (2015)	634.773 (2019)	12.33 millones (2020)	724.305 (2019)
Longitud	12.8 km	6.3 km	2.9 km	1.54 km
Velocidad	65 km/h	80 km/h	80 km/h	72.4 km/h
Estaciones	15	7	11	2
Precio	290 Yenes~52.79 pesos	5 Dólares~ 100.4 pesos	1.25 Dólares~ 25.12 pesos	3 Dólares~ 60.28 pesos
Capacidad	350,000 pasajeros al día	12,000 pasajeros al día	500 mil pasajeros al día	7,000 pasajeros al día
Imagen	Figura 5	Figura 6	Figura 7	Figura 8
Referencia	(Masadas, 2020)	(Las Vegas Monorail, 2022)	(Asociación Latinoamericana de Metros y Subterráneos, 2019)	(Seattle Center Monorail, 2020)

Figura 5. Monorriel Okinawa (Masakazu, 2020).

Figura 6. Monorriel de las Vegas, (Las Vegas Monorail, 2022).

Figura 7. Línea 15- Plata Sao Paulo, (Asociación Latinoamericana de Metros y Subterráneos, 2019).

Figura 8. Monorriel de Seattle, (Seattle Center Monorail, 2020).

2.4 Nivel de Servicio

Según (Cal y Mayor, 1982) el concepto nivel de servicio es utilizado para medir la calidad del flujo vehicular, de una manera cualitativa la cual describe las condiciones de operación vehicular, la percepción de los conductores y pasajeros. Dichos factores son velocidad, tiempo de recorrido, libertad de maniobras, comodidad, conveniencia y seguridad vial.

Asimismo, el nivel de servicio es una medida de desempeño (Chávez Loaiza, 2005), la cual representa la calidad del desplazamiento de los usuarios sobre un tramo carretero donde para la clasificación se han establecido 6 niveles de servicio los cuales están denominados con las letras; A, B, C, D, E, F, que van del más eficiente al más deficiente (véase Figura 9).

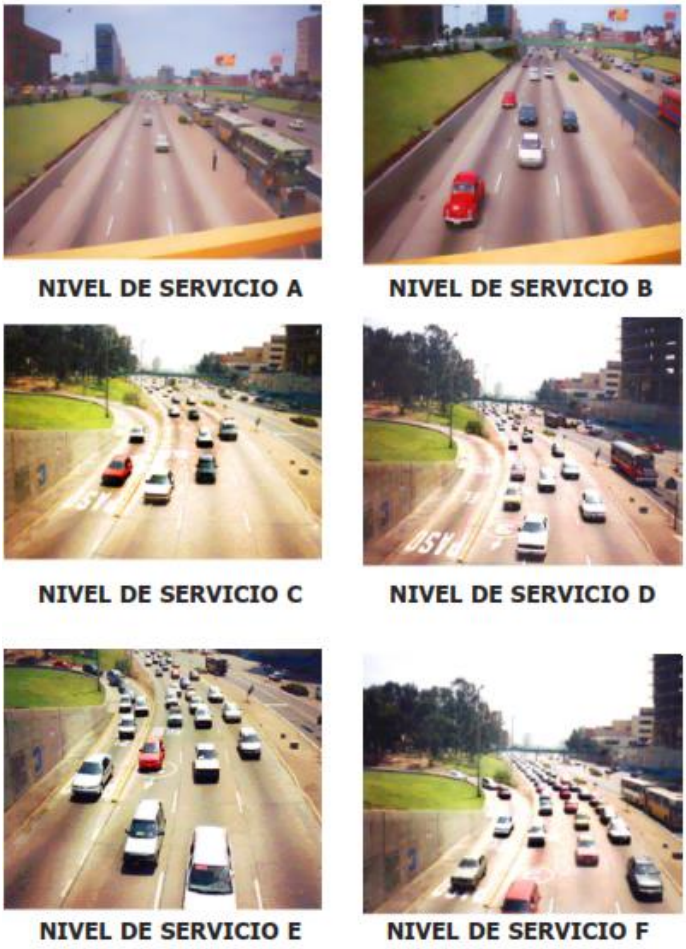


Figura 9. Niveles de Servicio en una Vialidad (Chávez Loaiza, 2005).

- **Nivel de servicio "A".** Representa una circulación donde los usuarios transitan de forma libre, exentos de la presencia de otros vehículos en la circulación. Seleccionan sus velocidades y maniobras dentro del tránsito, aportando al este nivel comodidad y conveniencia
- **Nivel de servicio** "**B".** Este pertenece al rango del flujo estable, aunque se resalta la presencia de otros vehículos en la circulación. La velocidad en dicha circulación aun es seleccionada libremente por sus usuarios. La libertad de maniobra, el nivel de comodidad y la conveniencia es algo inferior al Nivel de servicio A, debido a que la presencia de otros vehículos representa una influencia en el comportamiento individual de cada uno.
- **Nivel de servició "C".** Está dentro del rango de flujo estable, aunque se marca de manera significativa el efecto que provoca la interacción de un mayor número de usuarios. La

selección de la velocidad, la comodidad y la conveniencia se ve afectada y restringida por la presencia de otros vehículos.

- **Nivel de Servicio "D".** La circulación de los vehículos es estable, aunque la densidad elevada. La velocidad y libertad de maniobra se ven seriamente restringidas, los niveles de comodidad y conveniencia son bajos para el conductor y peatón.
- **Nivel de Servicio "E".** La velocidad de los vehículos se ve deficiente, el funcionamiento está cerca del límite de su capacidad. La libertad de maniobra es difícil, los niveles de comodidad son extremadamente bajos, provocando molestia en los conductores, los cuales se ven forzados a "ceder el paso" y el mínimo imprevisto o aumento de flujo, provoca colapso y deficiencia en la circulación. El nivel de servicio E representa inestabilidad en la circulación y en la libertad de selección de velocidades.
- **Nivel de servicio "F".** Las condiciones de flujo son forzadas, la cantidad de tránsito excede el volumen que puede pasar sobre una vialidad. Se ven formadas colas donde se caracteriza la existencia de parada y arranque, extremadamente inestable.

2.5 Aforos

En el Cepep 2018 menciona que los aforos son estudios realizados en campo, los cuales pueden ser ejecutados automática o manualmente para el conteo y clasificación de automóviles o peatones. Estos estudios son realizados para la evaluación del comportamiento del transporte público, así como sus variaciones dentro del horario de servicio de este (Vázquez Corte & Morín Maya, 2018).

2.5.1. Aforo Vehicular

Este tipo de aforo cuantifica y clasifica el número de vehículos que se desplazan diariamente por una zona, conocido como el Transito Diario Promedio Anual (TDPA). El formato utilizado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) se compone por una simbolización denominada como: (M) Motocicletas, (A) Vehículos ligeros y pick up, (C) Camino unitario y (CA) Camión articulado. De igual manera para el registro del TDPA se subdivide una hora en períodos de 15 minutos.

Los aforos vehiculares son realizados en días típicos y atípicos, durante 24 horas del día, esto con la finalidad de obtener un resultado con mayor exactitud referente al

comportamiento vehicular de la vialidad en estudio. Es importante seccionar la vialidad dependiendo de la demanda dentro de la misma, así como por intersecciones señalizadas o semaforizadas, incorporaciones o salidas vehiculares.

Una vez obtenido el resultado de los aforos deberán ser clasificados los vehículos y cuantificados, para estimar los costos generalizados de viaje, los horarios de máxima congestión vehicular y los horarios de flujo constante, para los usuarios de las distintas vialidades.

3. Metodología

3.1 Trabajo de campo para determinación de parámetros

La presente investigación tuvo como enfoque inicial la obtención de información mediante estudios realizados en campo, con la finalidad de conocer parámetros de importancia acerca del Boulevard Kukulkán, mismos que representen el comportamiento y clasificación vehicular, así como zonas de importancia dentro de la vialidad, horas de máxima demanda y opiniones de gente que frecuenta esta zona.

Posteriormente, la información recolectada se empleó para adquirir la geometría de la vialidad, realizando una comparación técnica a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y mediciones realizadas *in situ*. Información que se empleó para el análisis de nivel de servicio y por último para evaluar la propuesta de un Sistema de Transporte Urbano de tipo Monorriel.

3.1.1 Geometría de la Vialidad

El Boulevard Kukulkán es la avenida de mayor importancia dentro de la ciudad de Cancún, con una extensión de 28 kilómetros que conecta directamente con el aeropuerto de Cancún, atravesando la zona hotelera.

Para obtener la geometría del Boulevard Kukulkán se procedió a realizar mediciones *in situ* a lo largo de la misma, contemplando los anchos de carril por cada sentido, ancho y largo de los paraderos del transporte público, anchos de camellones laterales y centrales los cuales fueron medidos aleatoriamente, según las variaciones que se presentaban a lo largo de la vialidad.

Subsiguientemente para rectificar la información obtenida a través de las mediciones físicas, se procedió a descargar las áreas geoestadísticas municipales del estado de Quintana Roo a través de la página del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Con la obtención de los archivos obtenidos del INEGI se procedió a importarlos en un Sistema de información Geográfica (SIG) de nombre QGis, mismo que sirvió para filtrar la información del municipio de Benito Juárez, donde se encuentra la ciudad de Cancún y por consecuente el boulevard Kukulkán, la información obtenida se encuentra dividida en 3 secciones, que son municipio, áreas geoestadísticas básicas AGEPS y manzanas.

Entre las manzanas se buscó la vialidad y delimitó su longitud en kilómetros, los anchos de carril en metros al igual que los anchos del camellón central y laterales, para la delimitación de cada km se recurrió a los softwares de Google Earth y Google Maps, donde se exportaron las coordenadas de cada kilómetro en un archivo (.kml).

Para obtener la geometría de la zona se descargó la información de la ciudad a través de la página del INEGI, que junto con Google Earth se obtuvo el mapa municipal, colonias, calles, anchos de carril y camellones, georreferenciados y divididos por kilómetro (Figura 10).

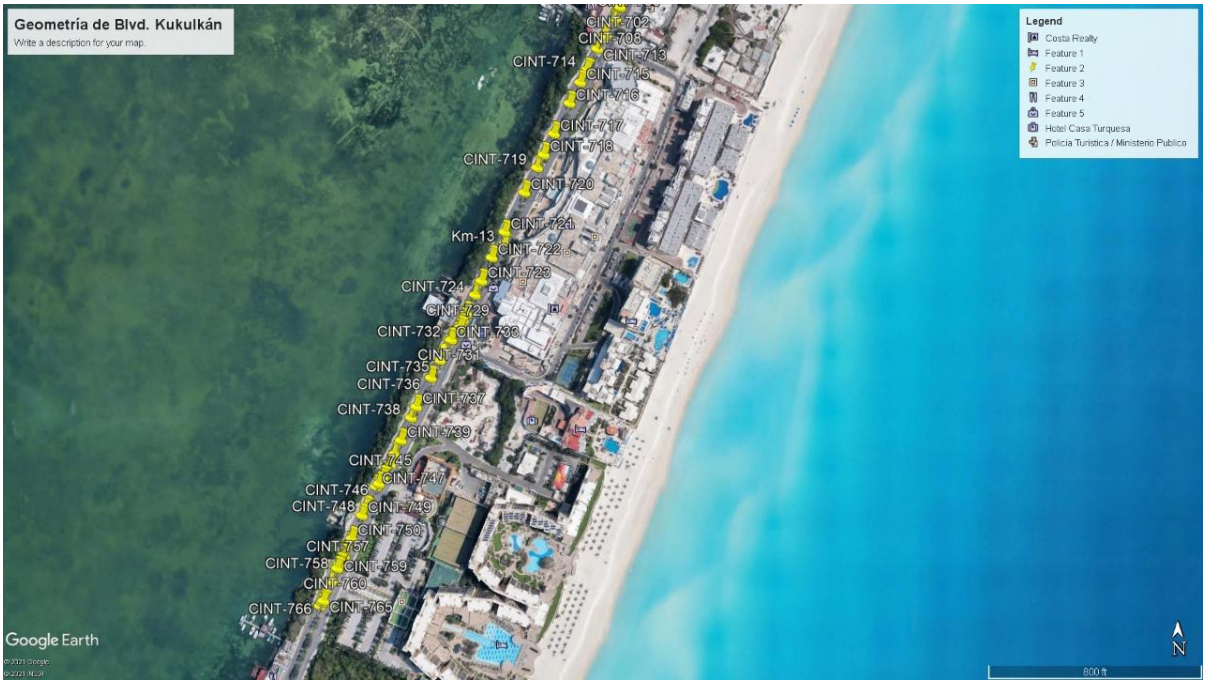


Figura 10. Marcas de Posición Georreferenciadas en Google Earth 2021.

3.1.2 Aforo vehicular sobre el boulevard Kukulkán, Cancún, Quintana Roo

La segunda etapa de esta investigación consistió en la clasificación vehicular, comparación y proyección futura, información obtenida a través de un aforo vehicular por medio de mangueras neumáticas (Figura 11), mismas que detectan el paso de los vehículos a través de sensores, donde según el peso y frecuencia de los ejes de los vehículos mide el flujo y clasifica el tipo de este de acuerdo con las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Figura 11. Aforadores Automáticos, del tipo de mangueras neumáticas.

Los dispositivos empleados para medir se instalaron durante 24 horas a lo largo de una semana en diversas zonas o de la vialidad, distribuidas dos por sentido para posteriormente identificar la mayor demanda horaria.

El aforo consistió en la generación de información con respecto al número de vehículos que transitan en la vialidad en estudio, misma que permitió aplicar metodologías para obtener volúmenes, flujos vehiculares y niveles de servicio. A través de la Unidad General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) se obtuvo el historial de los aforos vehiculares realizados en el año 2019 y previos al mismo, con la finalidad de obtener información que refleje información con respecto a los aforos previos y así obtener el tránsito diario promedio anual del 2020, así como el comportamiento a presentar a futuro.

3.1.3 Aforo de transferencia de pasajeros en las rutas de transporte colectivo

El aforo de transferencia de pasajeros se realizó simultáneamente con la encuesta para la calidad del transporte público. Para su realización se contemplaron dos preguntas en la encuesta referentes a la zona de la ciudad en la que toman el transporte público y en qué área del boulevard descienden del mismo.

La ciudad de Cancún fue dividida en 12 zonas o áreas (Figura 12 y Tabla 3), con la finalidad de facilitar a los usuarios la selección de ascenso al transporte público, las mismas

bridaron conocimiento del número de camiones que empleaban para llegar a boulevard Kukulkán.

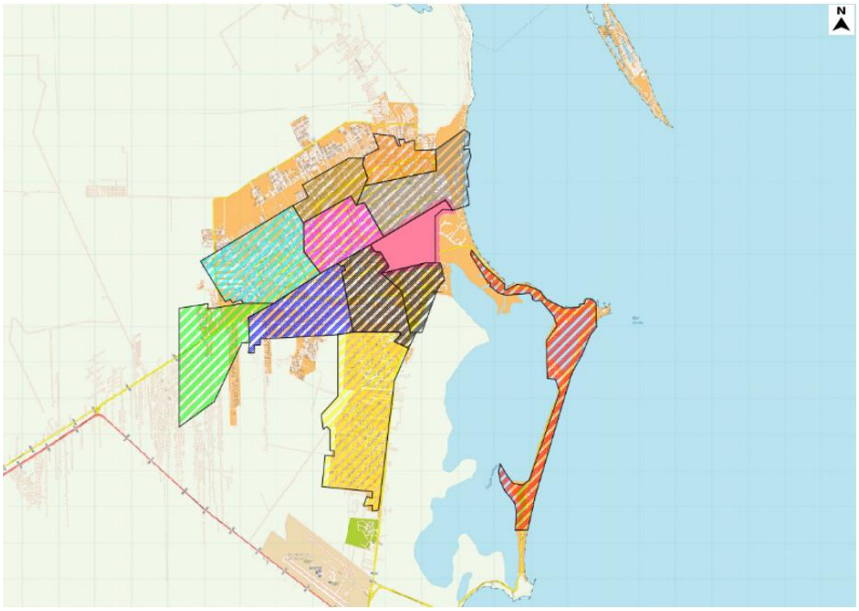


Figura 12 Zonas por color.

Tabla 3. Distribución de ascenso al transporte público.

DISTRIBUCIÓN DE ZONAS DE ASCENSO AL TRANSPORTE PÚBLICO			
ZONA	**REFERENCIA 1**	**REFERENCIA 2**	**REFERENCIA DE COLOR**
1	Zona Hotelera		Rojo
2	Alfredo V. Bonfil		Amarillo
3	Villas Otoch Paraíso	Ciudad de la Alegría	Verde
4	Real del Caribe	Multiplaza Arco Norte	Azul cielo
5	Gran Santa Fe		Azul Marino
6	Multiplaza Kabha Cancún	Chedraui Cancún Talleres	Morado
7	Parque Urbano Kabah	Tecnológico de Cancún	Blanco
8	Estadio Cancún 86	Parque Chichen Itza	Gris
9	Centro	Plaza Las Americas	Negro
10	Mercado Soriana -Rancho Viejo	Plaza Cancún Mall	Naranja
11	Plaza Los Héroes		Café
12	Centro	Mercado 28	Rosa

De igual forma, el Boulevard Kukulkán fue seccionado para facilitar la selección del descenso de los usuarios (Figura 13), a fin de conocer las áreas de mayor afluencia dentro de la misma vialidad. Para esto se dividió en 13 zonas abarcando puntos de mayor interés como serían, centros comerciales, playas, clubes nocturnos, hoteles, restaurantes, parques de diversión, entre otros (Tabla 4).

Figura 13. Distribución de Zonas por color

Tabla 4. Distribución de zonas de descenso dentro del Boulevard Kukulkán.

DISTRIBUCIÓN DE ZONAS DE DESCENSO DEL TRANSPORTE PÚBLICO				
ZONA	**UBICACIÓN**	**REFERENCIA 1**	**REFERENCIA 2**	**REFERENCIA DE COLOR**
1	Km 0+000 - 3+000	Puerto Cancún	Playa Las Perlas	Magenta
2	Km 3+000 - 3+500	Cancún Bay Resort	Marina Chac Chi	Blanco
3	Km 3+500 - 4+000	Playa Tortugas	Aquamarina Beach Hotel	Azul celeste
4	Km 4+000 - 5+000	Zona Naval	Hotel Calypso	Azul celeste
5	Km 5+000 6+000	Casa Maya	Riu Palace	Rosa
6	Km 7+000	Pok Ta Pok		Azul marino
7	Km 8+000	Hotel Oasis		Amarillo
8	Km 9+000	Mercado Coral Negro	Coco Bongo	Verde
9	Km 10+000	Hotel Le Blanc	Playa Blanca Cancún	Naranja
10	Km 11+000 - 12+000	Plaza La Isla	Hotel Flamingo	Rojo
11	Km 13+000 - 15+000	Luxury Avenue	Aqua World	Púrpura
12	Km 16+000 - 17+000	Pyramid Grand Oasis	Zona arqueológica San Miguelito	Negro
ZONA 13	KM 18+000- 20+000	Playa Delfines (Mirador)	Royal Solaris Cancún	Café

Dentro de la zonificación de las áreas de descenso fueron excluidos los dos últimos kilómetros de la vialidad, debido a la ruta establecida por las compañías de transporte público, las cuales no recorren por completo el Boulevard Kukulkán.

Las encuestas se iniciaron el día 14 de abril del 2021, las cuales se aplicaron en 3 horarios diferentes, esto para obtener una visión amplia de los encuestados, la primera ronda de encuestas inició de 7:00 a.m. a 9:00 a.m. donde se abordaron los camiones de transporte público y se le informó tanto a los usuarios, como al conductor la finalidad de la encuesta y la libre decisión de responderla. Las siguientes rondas de las encuestas fueron aplicadas tanto en el transporte público como en zonas consideradas de importancia para la vialidad, tales como plazas y playas. La aplicación de estas fue en los horarios de 12:00 p.m. a 02:00 p.m. y de 05:00 p.m. a 7:00 p.m., siguiendo el mismo procedimiento inicial donde se les explicó a cada encuestado la finalidad de la investigación y su libre decisión de responderla.

Una vez aplicada la encuesta, se procedió a procesar las respuestas de los encuestados mediante la herramienta Excel 2010. Durante la captura de la información recolectada en campo, se procesó la respuesta de cada encuestado en una tabla de cálculo, donde según la zona de ascenso y descenso que escogían, se modificaban los porcentajes en una gráfica misma que sirvió para conocer las zonas dentro de la vialidad con mayor afluencia. La información sirvió para conocer y proponer la distribución de los paraderos del monorriel.

3.1.4 Encuesta con relación a calidad del transporte público

Esta etapa se llevó a cabo por medio de Google Forms, con encuesta descriptiva compuesta de 4 preguntas, con la finalidad de conocer la opinión de los usuarios locales que hacen uso del transporte público, así como de los turistas.

En dicha encuesta se incluyeron, preguntas referentes al estado del transporte público colectivo con la finalidad de conocer la opinión de los usuarios acerca del mismo, donde con una clasificación del 1 al 5, siendo 1 Pésimo y 5 excelente, los usuarios podrían calificar al mismo (Figuras 14 a 16). Para facilitar el acceso a la encuesta y siguiendo las recomendaciones de la secretaria de salud referentes a los cuidados debidos al Covid-19, se procedió a crear un código QR por medio de la página CodeQr Monkey, para qué con ayuda del celular de cada pasajero, escanearan dicho código, en caso de que el encuestado tuviera alguna dificultad con el escaneo de este, se les otorgaba una encuesta física.

Posteriormente, se procedió a la aplicación sobre el Boulevard Kukulkán, con el apoyo de dos ayudantes. La encuesta fue aplicada en diferentes puntos a lo largo de la vialidad y a usuarios escogidos aleatoriamente a bordo del transporte público que transitaba

sobre el boulevard. Por otra parte, se procedió a encuestar una parte de la población que frecuentan lugares de importancia, como son playas, centros comerciales, hoteles y restaurantes, para tener una visión más amplia de las opiniones de los usuarios del transporte público. Finalmente, una vez obtenida la información recolectada en campo, se separaron los datos que serían utilizados para el aforo de transferencia de pasajeros y la encuesta con relación a la calidad del transporte público, donde al igual que los otros datos obtenidos, esta información se graficó para facilitar la comprensión de esta.

Figura 14. Aplicación de Encuesta en el Boulevard Kukulkán

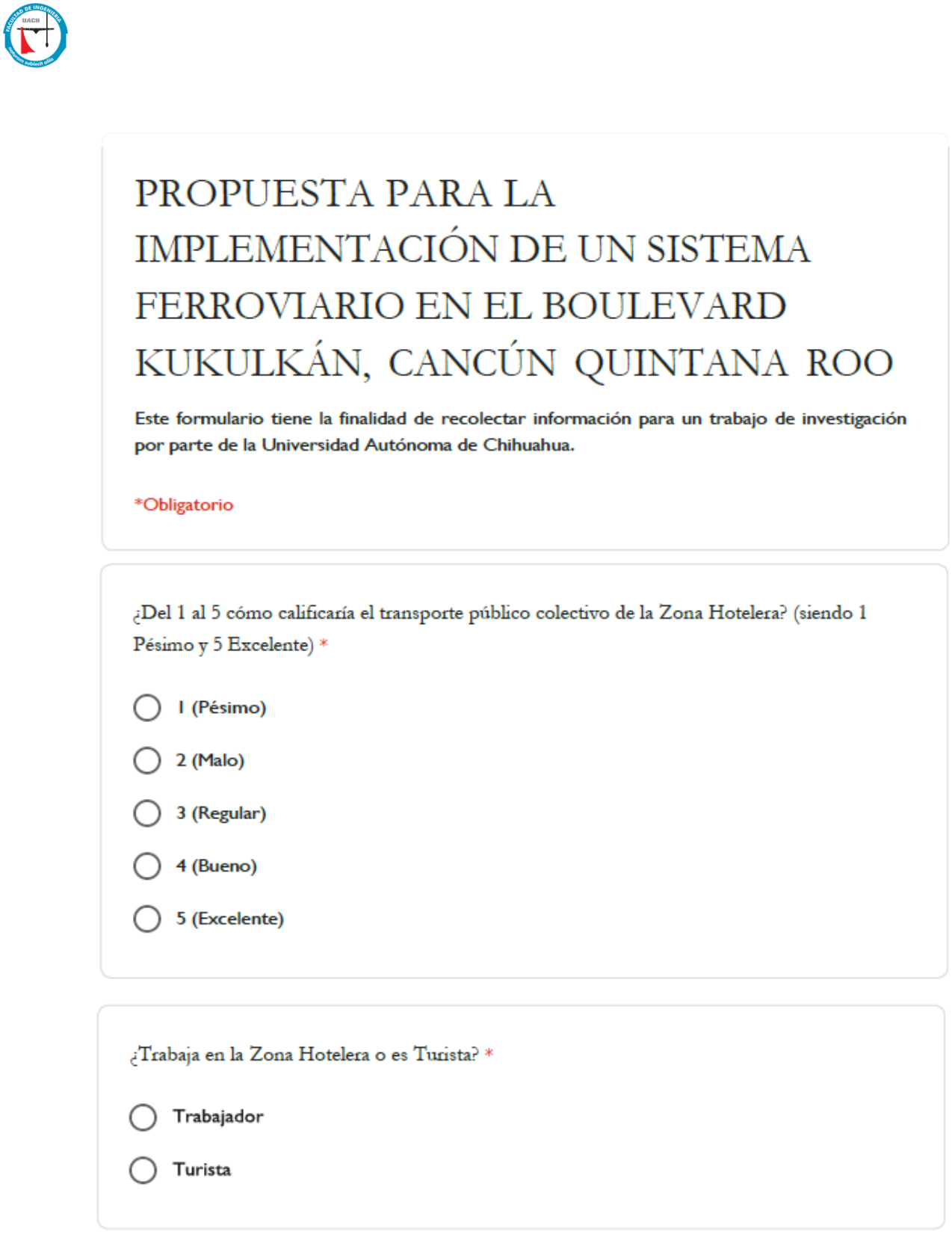


Figura 15. Sección uno de la Encuesta

¿En qué parte de la Zona Hotelera desciende? (Digite un número) (wwww.cancunmap.co

¿De qué zona de Cancún viene? (Digite un número) *

Figura 16. Sección dos de la Encuesta.

3.1.5 Monitoreo origen destino a lo largo del boulevard Kukulkán

El presente punto consiste en conocer el origen de partida del usuario y su destino, con la finalidad de conocer las zonas de mayor frecuencia por los usuarios del transporte público, el estudio es realizado sobre las rutas que es necesario analizar para la determinación de la construcción de una ruta nueva o para el mejoramiento de las ya existentes.

Existen diversos métodos de estudio para realizar la medición de origen destino, sin embargo, uno de los que destacan y el utilizado en esta investigación fue encuestar a los usuarios, preguntando el origen último y el destino inmediato, por medio de una encuesta realizada en *Google Forms*, a bordo del transporte público a diversos usuarios.

También se realizó el método de "Encuesta a domicilio" de una manera modificada donde se encuestó dentro de zonas de mayor concentración, como son hoteles, restaurantes, comercios y otras zonas de encuentro común (Figura 17). Las encuestas fueron realizadas siguiendo las recomendaciones del libro de ingeniería de tránsito entre los horarios de 7:00 a.m. a 7:00 p.m.

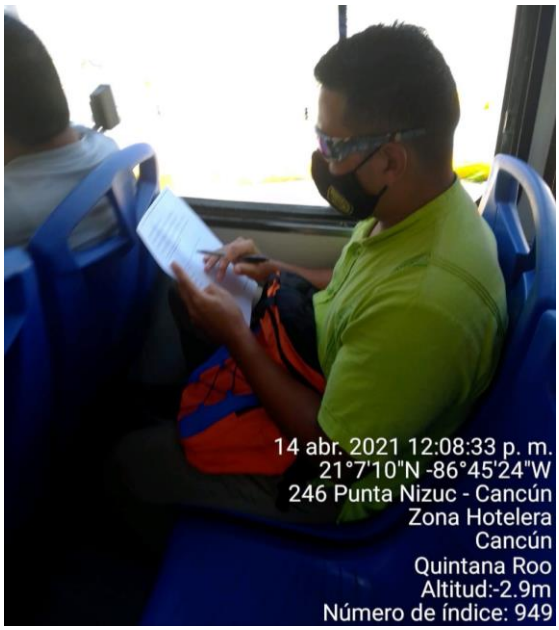


Figura 17. Encuesta en Transporte Público.

3.2 Congestionamiento

El monitoreo de origen destino se realizó siguiendo la metodología propuesta por el libro de Ingeniería de Tránsito de Rafael Cal y Mayor. La operación se realizó durante un día, con la participación de 2 ayudantes, 6 cronómetros y un vehículo. Se muestrearon diferentes vehículos a lo largo de la vialidad, para conocer el tiempo de recorrido y el tiempo de retardo.

Este proceso se realizó a bordo de un vehículo, donde cada ayudante poseía dos cronómetros, uno para el monitoreo total de viaje del vehículo y otro para los tiempos de demora en que el vehículo no estaba en movimiento, ya sean intersecciones, semáforos, pasos peatonales u otros factores, que interrumpieran el flujo continuo del usuario.

Se utilizaron dos métodos establecidos por el libro de ingeniería de tránsito de Rafael Cal y Mayor, el primer método llamado "Flotando en el Tránsito". El método consistió en formar parte de la corriente de tránsito, con un vehículo Aveo, monitoreando con dos cronómetros el tiempo de recorrido y el tiempo de retardo. El segundo método utilizado fue el de "Mediciones dentro de la corriente" donde un vehículo que forma parte de la corriente de tránsito selecciona vehículos cercanos al azar y observa los tiempos totales y de retardo, en el caso de estudio se seleccionaron 8 vehículos al azar dentro del flujo, los cuales fueron monitoreados en una distancia constante de 5 km.

3.2.1 Nivel de Servicio

Para el cálculo de nivel de servicio se utiliza la metodología del *Highway Capacity Manual 2010* (HCM 2010), el cual es un manual que analiza la operación del tráfico, diseño geométrico o planeación de transporte, para esto es necesario conocer las metodologías que se manejan en el mismo tales como:

- **Niveles de Análisis**, como operaciones, diseño, ingeniería preliminar y planeación;
- **Modos de Transporte**, tales como automóviles, peatones, Bicicletas y otros sistemas de transporte;
- **Cobertura Espacial**, Puntos, segmentos e instalaciones, y;
- **Coberturas Temporales**, condiciones insaturadas y sobresaturadas.

La metodología inicia con la obtención de las características de la vía como son su longitud la cual fue obtenida a través de la geometría del lugar. El volumen de demanda en

vehículos por hora (veh/h), obtenido a través del aforo vehicular proporcionado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). El porcentaje de la distribución direccional por cada sentido. El factor de hora pico el cual fue establecido como 0.94 por los valores por defecto según la Tabla 5. El porcentaje de no rebase fue un valor obtenido del mismo manual. El tipo de terreno seleccionado fue de tipo plano.

Tabla 5. Datos de entrada y valores para segmentos básicos de autopistas (HCM, 2010).

INFORMACIÓN REQUERIDA	VALORES PREDETERMINADOS
Número de carriles por sentido	Dato calculado
Ancho de carril (ft)	12 ft
Espacio lateral derecho	10 ft
Número de rampas por milla	Dato calculado
Porcentaje	Dato calculado
Velocidad de flujo libre	Zona urbana 70 mi/h
DATOS DE DEMANDA	
Longitud del periodo de análisis en minutos	15 minutos
PHF	0.94
Porcentaje de vehículos pesados (%)	Zona urbana (5%)
Factor de población que conduce	1

El porcentaje de vehículos fue obtenido a través del aforo vehicular mencionado previamente, los anchos de carril y acotamiento fueron medidos en la zona de estudio. En el HCM2010 se menciona que los puntos de acceso en la vialidad solo se contemplan cuando los mismos afectan al flujo vehicular (Véase Tabla 3.5), debido a la incorporación de los vehículos o por la presencia de altos y semáforos, cabe mencionar que el boulevard es una vialidad contemplada con un solo acceso para su entrada y salida, ya que no existen vialidades alternas que alimenten a la misma, por lo que se decide que este factor no aplica para el Boulevard Kukulkán.

Una vez obtenidas las características de la vialidad se deben transformar al sistema inglés, datos como la velocidad, ancho de carril y de acotamiento. Una vez modificados los datos, se procede a la estimación de la velocidad de flujo libre, calculado de la Ecuación 1, donde a la velocidad estimada inicial se le resta el factor de ancho de carril y de berma (Tabla 6), así como el factor de puntos de acceso (Tabla 7), esto para obtener el ajuste de velocidad flujo libre:

$$FFS=BFFS-f_{LS}-f_{LC}-f_M-f_A \quad \text{.....Ecuación 1}$$

Donde:

F_{LS} = Ajuste para ancho de carril y hombro (mi/h)

F_{LC} = Ajuste para visibilidad de acotamiento

F_M = Ajuste de tipo de media

F_A = Ajuste por puntos de acceso

Tabla 6. Factor de ajuste por carril y ancho de hombro (HCM, 2010).

ANCHO DE CARRIL(ft)	*ANCHO DEL HOMBRO*			
(FT)	*≥0<2*	*≥2<4*	*≥4<6*	*≥6*
≥9<10	*6.4*	*4.8*	*3.5*	*2.2*
≥10<11	*5.3*	*3.7*	*2.4*	*1.1*
≥11<12	*4.7*	*3*	*1.7*	*0.4*
≥12	*4.2*	*2.6*	*1.3*	*0*

Tabla 7. Factor de ajuste para densidad de punto de acceso (HCM, 2010).

PUNTOS DE ACCESO POR MILLA (AMBOS SENTIDOS)	**REDUCCIÓN DE FLUJO LIBRE**
0	0
10	2.5
20	5
30	7.5
40	10

Seguidamente se calcula el ajuste del volumen aforado en un valor representativo. El valor del volumen aforado es dividido por el valor de Factor de Hora Pico (PHF) el cual es 0.94, que a su vez se multiplica por un factor que depende del tipo de terreno siendo en el caso del estudio un terreno tipo plano y el factor de corrección por vehículos pesados, el cual es obtenido por la ecuación 2, donde por medio de las Tablas 8, 9 y 10 se obtienen los factores de ajuste necesarios.

$$f_{HV,ATS} = \frac{1}{1+P_T(E_T-1)+P_R(E_R-1)} \quad \text{.....Ecuación 2}$$

Donde:

$F_{HV,ATS}$ = Factor de ajuste de vehiculos pesados para la estimación de

P_T = Proporción de camiones en el flujo de tráfico

P_R = Proporción de vehículos recreativos en el flujo de tráfico

E_T = Equivalente de pasajeros por camión

E_R = Equivalente de pasajeros por vehículos recreativos

Tabla 8. Factor de ajuste para velocidad media de viaje vehículos pesados y recreativos (HCM, 2010).

TIPO DE VEHICULO	DEMANDA DE TASA DE FLUJO EN UNA DIRECCIÓN (VEH/HR)	TERRENO A NIVEL Y PENDIENTE ESPECIFICA
TRUCKS, ET	≤100	1.9
	200	1.5
	300	1.4
	400	1.3
	500	1.2
	600	1.1
	700	1.1
	800	1.1
	≥900	1.0
RVs	ALL FLOWS	1.0

Tabla 9. Factor de ajuste para velocidad media de viaje en un terreno a nivel (HCM, 2010)

DEMANDA DE FLUJO EN UNA DIRECCIÓN	TERRENO A NIVEL Y PENDIENTE ESPECIFICA
≤ 100	1.00
200	1.00
300	1.00
400	1.00
500	1.00
600	1.00
700	1.00
800	1.00
≥ 900	1.00

Tabla 10. Factor de ajuste de ATS para zonas de no acceso (HCM, 2010).

CAUDAL DE DEMANDA OPUESTO	PORCENTAJE DE ZONAS DE NO ACCESO				
	≤20	40	60	80	100
FFS= 50 mi/h					
100	0.2	0.7	1.9	2.4	2.5
200	1.2	2	3.3	3.9	4
400	1.1	1.6	2.2	2.6	2.7
600	0.6	0.9	1.4	1.7	1.9
800	0.4	0.6	0.9	1.2	1.3
1000	0.4	0.4	0.7	0.9	1.1
1200	0.4	0.4	0.7	0.8	1
1400	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8
≥1600	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5

La velocidad de viaje promedio debe ser obtenida a través de la ecuación 3,

$$ATS_d = FFS - 0.00776\left(V_{d,ATS} + V_{O,ATS}\right) - f_{np,ATS} \qquad \text{.....Ecuación 3}$$

Donde:

ATS_d = Velocidad media de desplazamiento en la dirección de análisis.

FFS= Velocidad de flujo libre.

V_{dATS}= Tasa de flujo de demanda para la determinación de ATS en la dirección de análisis.

$V_{O,\ ATS}$= Tasa de flujo de demanda para la determinación de ATS en la dirección de análisis opuesto.

$F_{np,\ ATS}$ = Factor de ajuste de ATS, para la determinación del porcentaje de zonas de no paso en la dirección de análisis obtenido del HCM2010, valor establecido como 0.4.

Donde se ingresa los valores de flujo corregido en ambos sentidos, el factor de velocidad corregido y el factor de corrección por zonas de no rebase obtenido de la Tabla 11.

Para obtener este valor, se reemplazan los valores de factor de hora pico, factor de terreno y por vehículos pesados. El porcentaje de tiempo de espera para rebase, valor calculado a partir del BPTSF base, el cual tiene una ecuación que depende del punto corregido en la dirección de análisis, donde a y b son obtenidos de la Tabla 11, que de ser necesario deberá interpolarse. Sin embargo, al presentar un flujo mayor al presentado en la tabla los valores seleccionados para este caso serán, para “a” = -0.0062, y para “b” = 0.817.

Tabla 11. Coeficiente de PTSF para la ecuación 3 (HCM, 2010).

FLUJO DE DEMANDA OPUESTO	COEFICIENTE A	COEFICIENTE B
≤200	-0.0014	0.973
400	-0.0022	0.923
600	-0.0033	0.87
800	-0.0045	0.833
1000	-0.0049	0.829
1200	-0.0054	0.825
1400	-0.0058	0.821
≥1600	-0.0062	0.817

Una vez obtenido el BPTSF a través de la ecuación 3.

$$BPTSF = 100[1 - \exp(av_d^b)] \quad \text{.....Ecuación 4}$$

Y después de obtener el factor de corrección por zonas de no rebase obtenido de la Tabla 12 y se debe ingresar con la sumatoria de los flujos corregidos en ambos sentidos y el porcentaje de zonas de no rebase. Después de introducido el valor se puede calcular el PTSF con la ecuación 4

Tabla 12. Factor de ajuste para zonas de no rebase para determinar porcentaje de tiempo estimado en la dirección de análisis (HCM, 2010).

	PORCENTAJE DE NO REBASE					
	0	20	**40**	**60**	80	100
	DIVISIÓN DE DIRECCIÓN 50/50					
≤200	9	29.2	43.4	49.4	51	52.6
400	16.2	41	54.2	61.6	63.8	65.8
600	15.8	38.2	47.8	53.2	55.2	56.8
800	15.8	33.8	40.4	44	44.8	46.6
1400	12.8	20	23.8	26.2	27.4	28.6
2000	10	13.6	15.8	17.4	18.2	18.8
2600	5.5	7.7	8.7	9.5	10.1	10.3
3200	3.3	4.7	5.1	5.5	5.7	6.1

$$PTSF = BPTSF + f_{np,PTSF}\left(\frac{V_{d,PTSF}}{V_{d,PTSF}+V_{d,PTSF}}\right) \quad \text{.....Ecuación 5}$$

Donde:

PTSF = Porcentaje del tiempo de seguimiento en la dirección de análisis

BPTSF = Porcentaje base del tiempo de seguimiento de la ecuación 3

$F_{np,PTSF}$ =Ajuste del PTSF por el porcentaje de no rebase en el segmento de análisis de la tabla 12

$V_{np,PTSF}$ = Tasa de flujo en la dirección de análisis para estimar el PTSF (pc/h)

$V_{v,PTSF}$ = Tasa de flujo en la dirección opuesta para estimar el PTSF (pc/h)

Para determinar el nivel de servicio se ingresan los valores de ATS y PTSF en la tabla 13 de clasificación de niveles de servicio tomando en cuenta el tipo de carretera y según los valores de cada parámetro se proporciona el nivel de servicio, donde según el manual el nivel predominante será el mayor.

Tabla 13. Nivel de servicio para carreteras de dos carriles (HCM, 2010).

LOS	CLASE I AUTOPISTAS		CLASE II	CLASE III
	ATS	PTSF	PTSF	PTSF
A	>55	≤35	≤40	>91.7
B	>50-55	>35-50	>40-55	>83.3-91.7
C	>45-50	>50-65	>55-70	>75-83.3
D	>40-45	>65-80	>70-85	>66.7-75
E	≤40	>80	>85	≤66.7

3.3 Monorriel Metodología

Posterior a los estudios realizados en campo se evalúa y analiza la propuesta del monorriel donde a través de los resultados obtenidos se valoran los eventos que estarían presentes en la investigación.

Inicialmente la geometría proporciona las diversas dimensiones que presenta la vialidad (Figura 18) mismas que determinan la longitud y distribución del monorriel, así como la posible ubicación de las estaciones de servicio para el mismo, áreas de ascenso y áreas de descenso.

Dicha vialidad ofrece a los usuarios una velocidad de desplazamiento de 70 km/h, sin embargo, esta velocidad se ve afectada en los horarios de máxima demanda, donde los usuarios se ven afectados por embotellamientos que afectan los tiempos de recorrido, generando tiempos de espera que van desde los 5 a los 25 minutos y se han registrado embotellamientos de hasta 60 minutos.

Figura 18. Distribución del boulevard Kukulkán.

Siguiendo con las velocidades que presentan monorrieles como el de Seattle, Mumbai, Tokio y Malasia, se propusieron 3 diferentes velocidades, siendo estas de 60 km/h, 70 km/h y 80km/h, de tal forma que, para conocer los tiempos de recorrido del monorriel se establecieron 9 estaciones distribuidas a lo largo de la vialidad, en las cuales habrá un tiempo de espera para ascenso y descenso de 20 segundos.

Para definir la capacidad de pasajeros que transportará cada monorriel y el número de coches por tren, se evaluaron los diferentes monorrieles presentados en la Tabla 1 donde la media de pasajeros por tren es de 170 y la distribución de los asientos varía dependiendo del fabricante, así como el número de carros el cual varía entre 3 y 6 por monorriel.

4. Análisis de Resultados

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos tanto en campo como en gabinete, mismos que fueron empleados para la proyección de la propuesta.

4.1 Geometría de la vialidad

La geometría del Boulevard Kukulkán fue obtenida por medio de Sistemas de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en inglés) proporcionó un ancho de 3.7 metros por carril y un ancho de calzada de 7.4 metros por sentido, de igual manera se obtuvieron medidas del camellón central mismo que varía con un máximo de 25 metros y un mínimo de 2 metros (véase tabla 4.1) a lo largo de los 22 kilómetros de la vialidad.

Tabla 14. Dimensiones.

KM	ANCHO DE CARRIL (m)	ANCHO DE CALZADA (m)	ANCHO CAMELLONES LATERALES (m)	ANCHO CAMELLÓN CENTRAL (m)
2+000	3.7	7.4	1.5	2.4
7+000	3.7	7.4	1.5	3.6
12+000	3.7	7.4	1.5	5
10+000	3.7	7.4	1.5	11.5
18+000	3.7	7.4	1.5	25.7

De igual manera, la Figura 19 representa la distribución actual del la vialidad la cual cuenta con dos carriles por sentido y camellones laterales, que son constantes a lo largo de la vialidad, y un camellón central el cual varía sus anchos dependiendo su kilometraje.

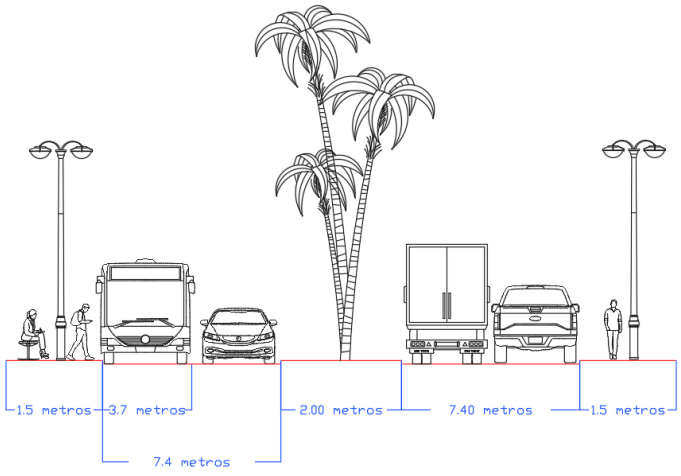
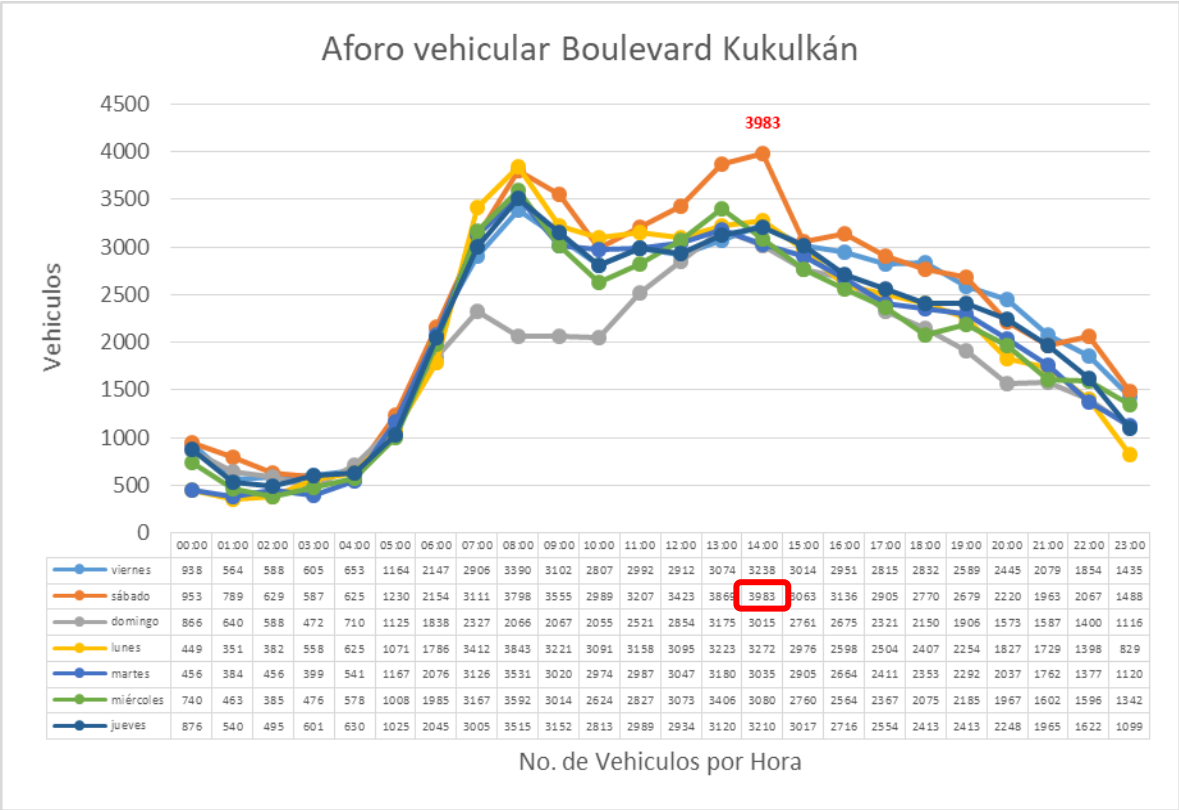


Figura 19. Sección del boulevard Kukulkán (sin escala).



	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
viernes	938	564	588	605	653	1164	2147	2906	3390	3102	2807	2992	2912	3074	3238	3014	2951	2815	2832	2589	2445	2079	1854	1435
sábado	953	789	629	587	625	1230	2154	3111	3798	3555	2989	3207	3423	3865	3983	3063	3136	2905	2770	2679	2220	1963	2067	1488
domingo	866	640	588	472	710	1125	1838	2327	2066	2067	2055	2521	2854	3175	3015	2761	2675	2321	2150	1906	1573	1587	1400	1116
lunes	449	351	382	558	625	1071	1786	3412	3843	3221	3091	3158	3095	3223	3272	2976	2598	2504	2407	2254	1827	1729	1398	829
martes	456	384	456	399	541	1167	2076	3126	3531	3020	2974	2987	3047	3180	3035	2905	2664	2411	2353	2292	2037	1762	1377	1120
miércoles	740	463	385	476	578	1008	1985	3167	3592	3014	2624	2827	3073	3406	3080	2760	2564	2367	2075	2185	1967	1602	1596	1342
jueves	876	540	495	601	630	1025	2045	3005	3515	3152	2813	2989	2934	3120	3210	3017	2716	2554	2413	2413	2248	1965	1622	1099

Figura 20. Aforo Vehicular 2019.

Con la geometría de la vialidad fue posible delimitar su kilometraje, y así poder identificar la ubicación de las zonas de mayor afluencia donde los pasajeros se desplazan diariamente. Inicialmente en las encuestas, los usuarios del transporte público seleccionaron las zonas de descenso y por medio de la geometría se logró identificar la ubicación de los paraderos más cercanos

4.2 Aforo vehicular en el boulevard Kukulkán, Cancún, Quintana Roo

Los datos fueron obtenidos durante 24 horas entre el 13 de diciembre del 2019 y el 19 de diciembre del 2019 (Figura 20) siendo estas fechas dentro de la temporada alta de Cancún. Según la información obtenida transitaban 158,091 vehículos por semana, siendo los fines de semana los días de mayor demanda y los horarios de 7:00 a.m. a 9:00 a.m. de 1:00 p.m. a 3:00 p.m. y de 6:00 p.m. a 8:00 p.m.

La clasificación vehicular en el Boulevard Kukulkán es presentada en la Figura 21 y está distribuido de la siguiente manera:

Motocicletas = 3%

Automóviles = 72%

Pick Up = 13 %

Camiones Tipo B = 12%.

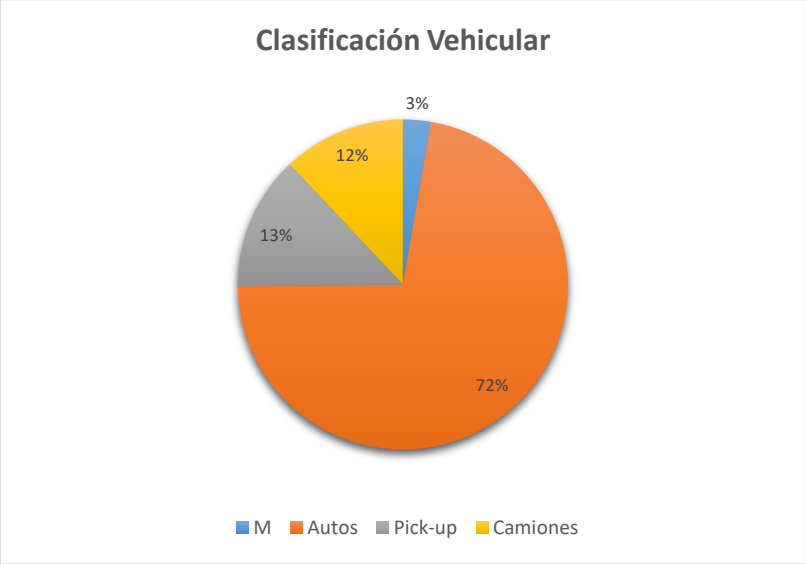


Figura 21. Porcentaje de clasificación vehicular.

El volumen de tránsito futuro fue calculado de acuerdo el método de incrementos parciales, tomando información desde el año 2014 hasta el 2019, teniendo una tasa de crecimiento del 2.467% (Véase Tabla 15) entre los años en estudio. Una vez conseguido el porcentaje anterior se proyectó el volumen vehicular anual al año 2035 (Véase Tabla 16 y Figura 22), obtenido de la suma del TDPA del año en estudio más la multiplicación de la tasa de crecimiento en decimales por el volumen vehicular del año en cuestión.

Tabla 15. Método de Incrementos parciales para obtención de la tasa de crecimiento.

METODO DE INCREMENTOS PARCIALES				
N	Año	**TDPA**		**%**
1	2014	161868	-	
2	2015	166202	4334	2.6774903
3	2016	167454	1252	0.7533002
4	2017	172751	5297	3.16325677
5	2018	171336	-1415	-0.81909801
6	2019	178352	7016	4.0948779
∑%				9.86982717
			i	**0.024675**
			i	**2.467457 %**

Tabla 16. Proyección Futura al año 2035.

PROYECCIÓN FUTURA	
AÑO	**TDPA**
2019	178,352
2020	182,753
2021	187,262
2022	191,883
2023	196,617
2024	201,469
2025	206,440
2026	211,534
2027	216,753
2028	222,102
2029	227,582
2030	233,197
2031	238,951
2032	244,847
2033	250,889
2034	257,079
2035	263,423

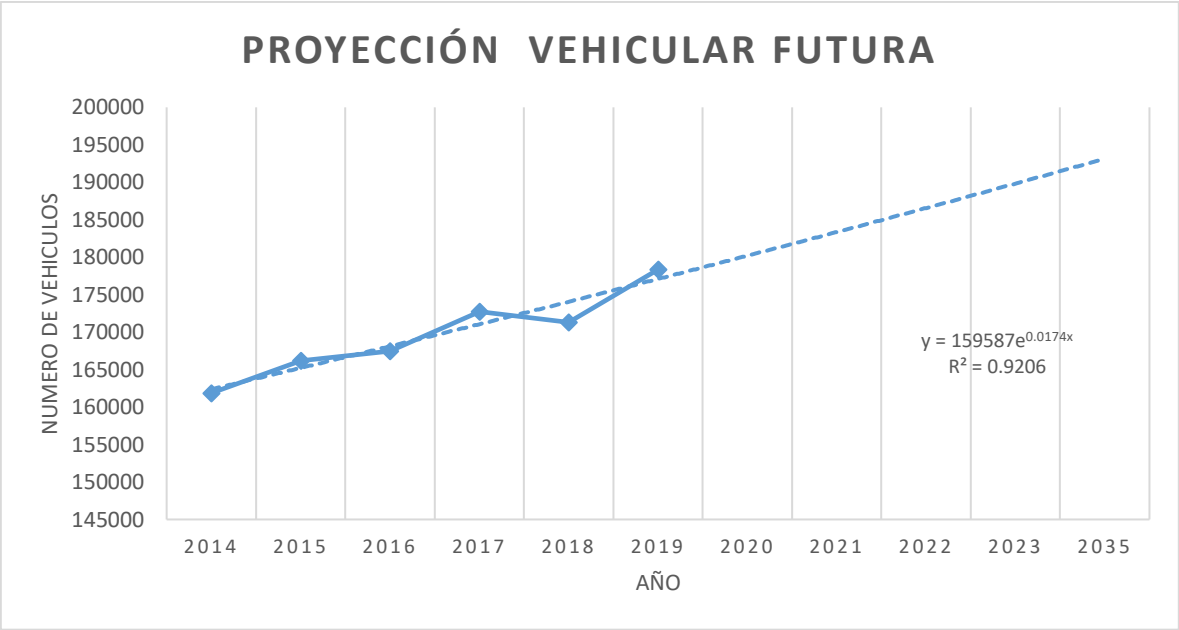


Figura 22. Incremento Futuro del TDPA.

4.3 Aforo de transferencia de pasajeros en las rutas de transporte colectivo

Este punto reveló datos referentes a las zonas de mayor concurrencia dentro del Boulevard Kukulkán. El aforo de transferencia de pasajeros proporcionó información útil para conocer las zonas donde los usuarios ascendían y descendían a lo largo de la vialidad, facilitando la ubicación de los paraderos propuestos para el monorriel (Figura 23).

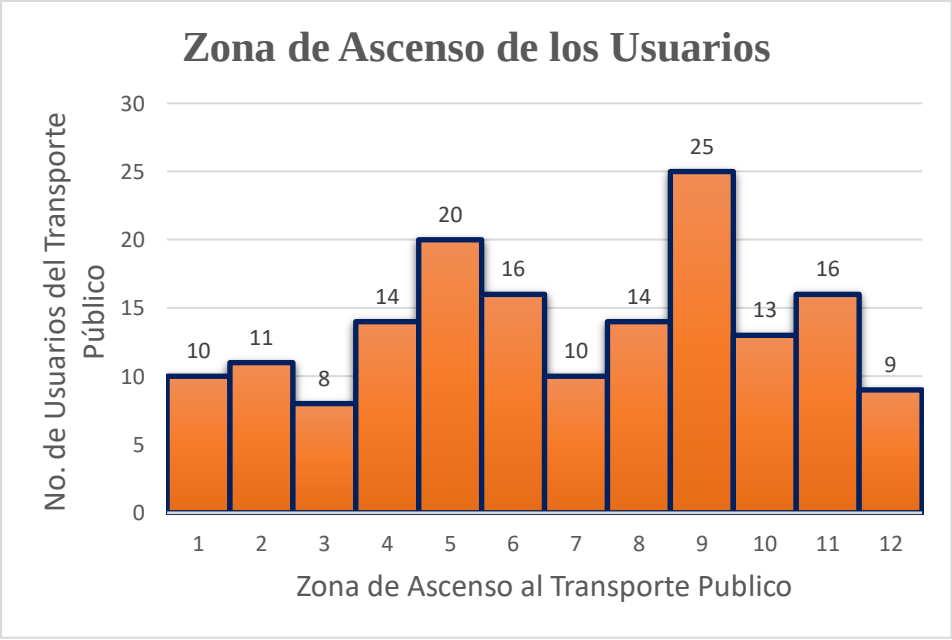


Figura 23. Zonas de descenso dentro del Boulevard Kukulkán.

El 27% de los encuestados señaló que, para transportarse al Boulevard Kukulkán, partían de la zona centro o dentro de la misma vialidad, utilizando un camión para llegar a su destino. El 73% de los usuarios encuestados expresó que requiere de transbordar dos camiones para desplazarse hacia su destino dentro de la vialidad en estudio (Tabla 17).

Tabla 17. Porcentaje por zona de ascenso.

ZONA DE ASCENSO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PORCENTAJE	6%	7%	5%	8%	12%	10%	6%	8%	15%	8%	10%	5%

Los resultados obtenidos de la encuesta referente al descenso hacia los usuarios del transporte público, presentó una diferencia notable en zonas donde existe la presencia de centros comerciales, centros nocturnos y algunas playas, siendo de los 168 usuarios encuestados y de las 13 zonas dentro de la vialidad, la zona 10 resulta presentar una mayor demanda de descensos (Tabla 18 y Figura 24).

Tabla 18. Porcentaje por zona de descenso.

ZONA DE DESCENSO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
PORCENTAJE	5%	6%	4%	5%	8%	7%	5%	11%	5%	17%	5%	14%	9%

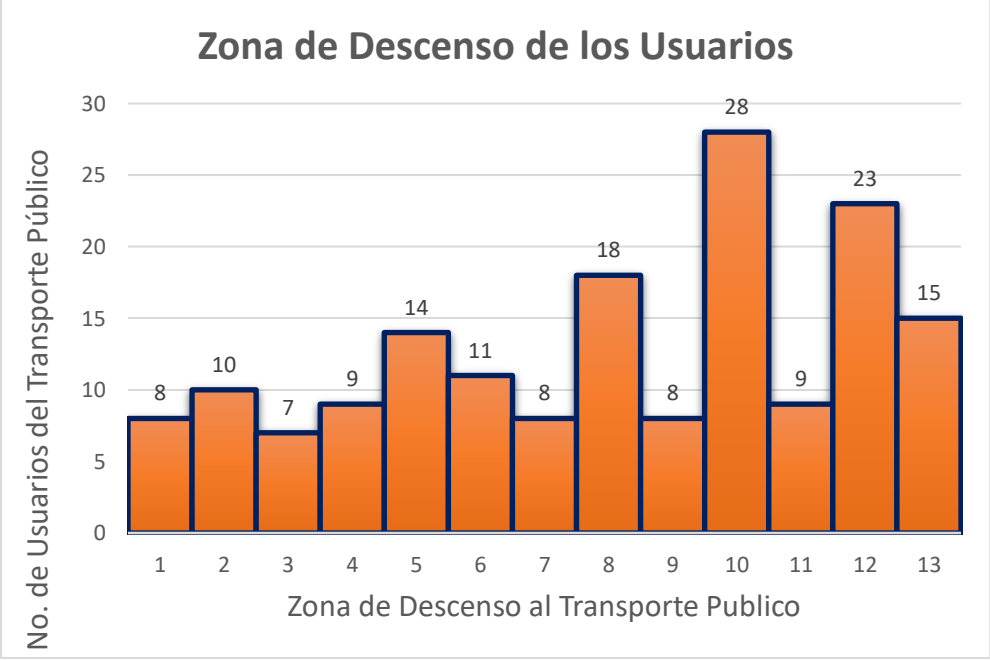


Figura 24. Zonas de descenso dentro del Boulevard Kukulkán.

Sin embargo, según generalidades de este sistema se proponen paraderos entre 500 metros y el kilómetro, no obstante, por cuestión de esta investigación se propusieron paraderos a cada 500 metros.

4.4 Encuesta con relación a la calidad del transporte público

Con los resultados obtenidos de la encuesta realizada en campo, se obtuvo información referente a la opinión de los usuarios que se mueven diariamente en el transporte público, así como de los turistas entrevistados que en la presente investigación constituyen un 32 % (Figura 25).

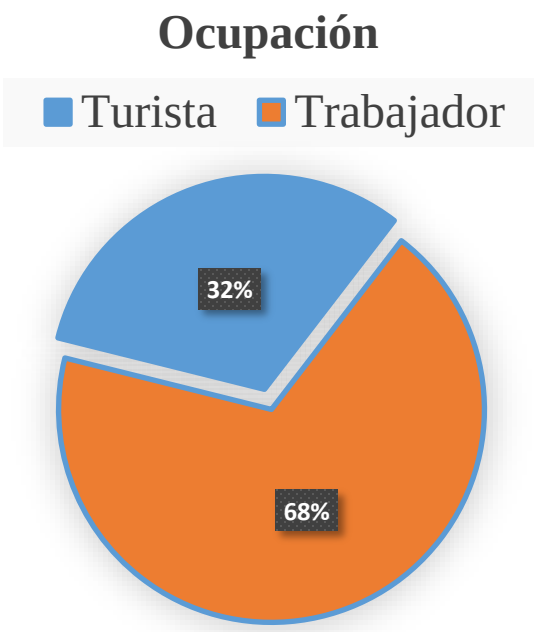


Figura 25. Distribución de usuarios.

El 32% de los encuestados indicaron que el transporte público es bueno y el 68% restante de los encuestados reafirmaron su inconformidad en cuanto al funcionamiento del transporte público debido a las demoras que presenta en horas pico, igualmente señalaron que debido a que no existe otro medio para desplazarse los camiones son la única opción para llegar a sus destinos (Figura 26).

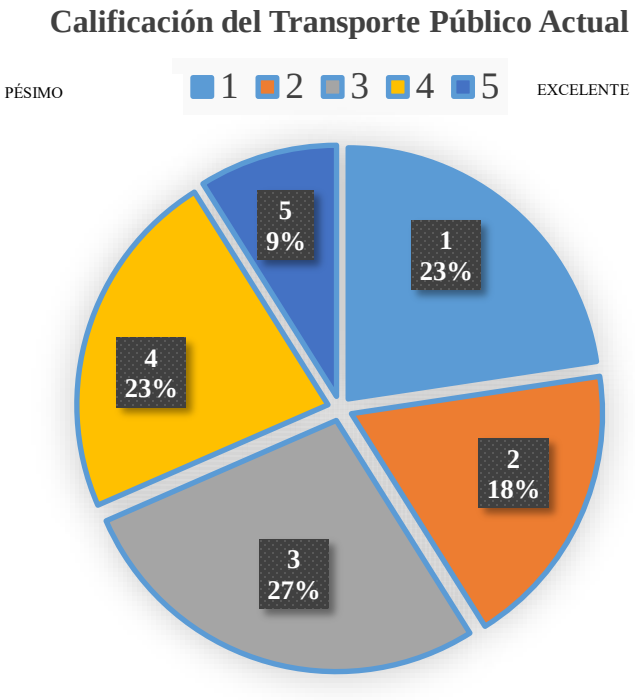


Figura 26. Calificación proporcionada por los usuarios del transporte público.

La respuesta general a la implementación de otro sistema de transporte fue positiva, ya que son conscientes del crecimiento que tiene el Boulevard Kukulkán. En la Ilustración 4.7 se puede observar la calificación obtenida al índice percibido de calidad del transporte público por los usuarios.

4.5 Nivel de Servicio

Con un Tránsito Diario Promedio Anual de 158,091 vehículos y una máxima demanda horaria de 3,983 vehículos a la 1:00 de la tarde (siendo este el máximo volumen horario para el análisis de nivel de servicio) el boulevard Kukulkán presenta un nivel de servicio E, por lo que se encuentra próximo a su máxima capacidad vial.

El nivel de servicio fue obtenido mediante el HCM 2010 donde mediante las características de la vialidad (véase Tabla 19) y el número de vehículos que transitan diariamente sobre la misma se conoció el comportamiento a diferentes horas del día y a diferentes volúmenes vehiculares.

Tabla 19. Características de la vía.

Características DE LA VÍA		
	SM	**SI**
Segmento	7 km	4.35
Vol. demanda	3983	
Distribución	50/50	
PHF	0.94	
% No Rebase	50	
Tipo de Terreno	Plano	
Camiones	10.425	
Vehículos	89.425	
Ancho Carril	3.7	12.14
Ancho Acotamiento	0.4	1.31
Puntos de Acceso	no aplica	no aplica
FFS	80 km/h	49.7097

La clasificación vehicular de esta vialidad estuvo compuesta por motos en un 3%, automóviles 72%, vehículos tipo pick up 13% y camiones 12%. La estimación de flujo libre correspondió a 45 mi/h resultado obtenido a través de la ecuación 1, que representa un ajuste en la velocidad de flujo libre inicial de 49.7 mi/h ≈ 50 mi/h.

El nivel de servicio E corresponde a estar cerca del límite de su capacidad, en los horarios de máxima demanda tanto los usuarios de transporte público como los de vehículos particulares tienen tiempos de espera de más de 30 min, por lo que la vialidad presenta un flujo inestable, así como velocidades que dependen de los demás usuarios, y del número de vehículos presentes.

Tabla 20. Nivel de Servicio para los dos segmentos del Boulevard Kukulkán.

SEGMENTO 1		LOS
ATS	19.54368	E
PSF	94.63	E

SEGMENTO 2		LOS
ATS	27.45888	E
PSF	86.96666331	E

4.6 Monorriel

Debido a que el Boulevard Kukulkán presenta un ancho considerable dentro de su camellón central, se evaluó que la estructura del monorriel se distribuyera a lo largo del mismo (Figura 27).

Figura 27. Distribución de superestructura del monorriel sobre camellón central del Boulevard Kukulkán

Subsiguientemente las encuestas realizadas proporcionaron una perspectiva de los usuarios, referente al estado del transporte público, con la finalidad de ofrecer un sistema de transporte eficiente, seguro y cómodo, de igual manera el análisis de transferencia de pasajeros facilitó la decisión de las zonas donde existe mayor demanda dentro de la vialidad, siendo estas las zonas 5, 8, 10, 12 y 13 (Figura 16). Por lo que, su concurrencia se ve influenciada por la presencia de centros comerciales, parques acuáticos, clubes nocturnos, playas, cruces de Ferry, lanchas y barcos.

El nivel de servicio calculado sirvió como punto de referencia para justificar la propuesta de un monorriel dentro del boulevard Kukulkán ya que al evaluar la capacidad vehicular actual dentro la vialidad, se conocieron los horarios máximos de congestión, los puntos de conflicto y la calidad de servicio que ofrece dicha vialidad, la cual, con un TDPA de 158,091 vehículos, presenta un Nivel de servicio E, lo que representa que se encuentra próximo a su máxima capacidad.

El porcentaje de vehículos, camiones y motos que transitan sobre la vialidad fue obtenido a través del aforo vehicular (Véase Tabla 21), de esta forma ese estimó el número de camiones que se desplazan dentro del boulevard diariamente, dato que permite calcular

un aproximado de usuarios que hacen uso de este medio y así proponer un numero de carros que compondrían el monorriel.

Tabla 21. Clasificación y Porcentaje Vehicular.

CLASIFICACIÓN	PORCENTAJE	VEHÍCULOS
Motos	0.03	4742.73
Automóviles	0.72	113825.52
Pick Up	0.13	20551.83
Camiones tipo B	0.12	18970.92
Total	**1.00**	**158,091**

Las estaciones de ascenso y descenso para el monorriel fueron seleccionadas a través de la encuesta realizada, donde se propuso dos terminales ubicadas en el Km 0+000 siendo terminal de entrada y la terminal de salida en el Km 20+000, y 7 terminales intermedias las cuales están distribuidas a 2.5 km de distancia cada una, ubicadas en los puntos de mayor afluencia de pasajeros dentro de la vialidad.

Para definir el número de carros y la capacidad de pasajeros que transporta cada tren, se propusieron tres carros por monorriel y se estimó un promedio de 150 pasajeros por tren, sin embargo, un solo sistema de este tipo no sería suficiente para abastecer la demanda de la vialidad, debido a que el tiempo de recorrido por viaje sería mayor a 15 min (véase Tabla 22). Y los tiempos de retorno representan un tiempo de espera de más de 30 minutos, es por esto mismo que se contempló la presencia de 4 trenes para reducir los tiempos de espera entre cada viaje.

Tabla 22. Tiempo por viaje de monorriel a diferentes velocidades.

NOMBRE	KILOMETRAJE	ESTACIÓN	TIEMPO DE ESPERA POR ESTACIÓN (seg)	DISTANCIA (km)	VELOCIDAD (km/h)			VELOCIDAD (km/h)		
					60	70	80	60	70	80
					TIEMPO DE ESPERA (min)			TIEMPO TOTAL DE RECORRIDO (min)		
	km 0+000	Estación 1	0.25	0	0	0	0	0.25	0.25	0.25
Las Perlas	km 2+500	Estación 2	0.25	2.5	2.50	2.14	1.88	3.00	2.64	2.38
Musa	km 5+000	Estación 3	0.25	5	5.00	4.29	3.75	5.75	5.04	4.50
Pok ta Pok	km 7+500	Estación 4	0.25	7.5	7.50	6.43	5.63	8.50	7.43	6.63
Playa Blanca	km 10+000	Estación 5	0.25	10	10.00	8.57	7.50	11.25	9.82	8.75
La Isla	km 12+500	Estación 6	0.25	12.5	12.50	10.71	9.38	14.00	12.21	10.88
	km 15+000	Estación 7	0.25	15	15.00	12.86	11.25	16.75	14.61	13.00
Mirador	km 17+500	Estación 8	0.25	17.5	17.50	15.00	13.13	19.50	17.00	15.13
	km 20+000	Estación 9	0.25	20	20.00	17.14	15.00	22.25	19.39	17.25

Con la presencia de dos vías y 2 trenes por sentido en circulación, los tiempos se verían reducidos a la mitad (figura 28), por lo que a 60 km/h los tiempos de espera son de 11 min, a 70 km/h los tiempos de espera serían de menos de 10 minutos y a 80 km/h los tiempos de espera serían de menos de 9 minutos.

Figura 28. Vista de planta del monorriel y su vía

5. Conclusiones y recomendaciones

La mayor concentración vehicular dentro del Boulevard Kukulkán se presentó de 6:00 p.m. a las 9:00 p.m. Los tiempos de recorrido dentro de la vialidad en horas pico fueron mayores a 60 min y la velocidad máxima osciló entre los 30 km/h y 50 km/h, con tramos de hasta 12 km/h.

A través del aforo vehicular se observó que el porcentaje de camiones no implicaba la mayor problemática para la congestión vehicular, sin embargo, las paradas continuas representan obstrucción en el libre flujo. El aforo de transferencia de pasajeros demostró que a pesar de que existe una alta demanda del transporte público dentro de la vialidad, también presenta deficiencias que se hacen presentes en las horas pico, donde a pesar de haber un gran número de camiones, la congestión vehicular no permite el libre desplazamiento de los automotores.

La encuesta realizada a los usuarios del transporte público, turistas y trabajadores permitió evaluar y definir las zonas de mayor concurrencia dentro de la vialidad, esto con la finalidad de establecer estaciones fijas a cada 2.5 km para la propuesta del monorriel como sistema de transporte urbano.

El resultado obtenido a través de la proyección futura y el crecimiento exponencial que presenta esta vialidad exige una solución para la congestión vehicular y un monorriel cumple con este requisito, promoviendo el desarrollo sostenible, y son considerados impulso económico y social.

El monorriel como sistema de transporte urbano, representa la optimización del movimiento tanto de trabajadores de la industria hotelera, como de turistas nacionales e internacionales dentro de la vialidad, ofreciendo un modo de transporte público que funciona a base de energías renovables y que está diseñado para mitigar el impacto ambiental, ventaja sobre las diversas soluciones de transporte que funcionan a base de combustibles fósiles.

Los sistemas de transporte elevado son implementados en zonas donde los volúmenes de demanda de pasajeros son altos, pueden transportar más de 100,000 pasajeros al día y con velocidades promedio que van desde los 40 km/h, hasta 80 km/h reducen los tiempos de recorrido.

La implementación de un sistema de tipo monorriel beneficia a la ciudad de Cancún y al Boulevard Kukulkán reduciendo el número de camiones que transitarían sobre la

vialidad, al ofrecer un sistema elevado que se desplaza a mayor velocidad, proporcionaría una reducción en el número de vehículos que circulan, así como captación de nuevos usuarios por el interés e innovación.

La construcción de un sistema urbano de tipo monorriel es rápida, debido a que la superestructura es prefabricada en otro lugar y posteriormente son montados *in situ*, por lo que los costos se ven reducidos en gran magnitud, en comparación de diversas soluciones.

El monorriel tiene la capacidad de adaptarse a cualquier terreno y el diseño de su único riel disminuye la posibilidad de un descarrilamiento, de igual manera este sistema anula la posibilidad coaliciones con otros vehículos y reduce el riesgo de accidentes con los usuarios.

6. Referencias

Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario, 2019. *Gobierno de México.* [En línea] Available at: https://www.gob.mx/artf/articulos/infraestructura-ferroviaria-191183?idiom=es [Último acceso: 12 Julio 2020].

Bolivar Castillo, M. A. & Rojas Moreira, R. A., 2008. *Metodología para el Estimado de los Costos de Inversión de un Sistema Ferroviario.* Caracas: Universidad Catolica Andrés Bello.

Cal y Mayor, R., 1982. *Ingenieria de Transito.* Sexta Edición ed. México: Presentacones y Servicios de Ingenieria, S.A..

Camacho Ledesma, M. E. & Rico Nieto, T. E., 2015. *Transporte de Carga Ferroviario en México: Perspectivas y Realidades,* México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.

Capel, H., 2007. *Ferrocarril, Territorio y Ciudades,* Barcelona: Universidad de Barcelona.

Chávez Loaiza, V., 2005. *Manual de Diseño Geometrico de Vías Urbanas.* 2004 ed. Lima: VCHI S.A..

Chengbiao , C. y otros, 2018. Dynamic interaction of suspension-type monorail vehicle and bridge: Numerical simulation and experiment. *Elsevier; Mechanical Systems and Signal Processing,* 118(2019)(388-407), p. 20.

de Rus, G., Campos, J. & Nombela, G., 2003. *Economía del transporte,* España: s.n.

El Adawy, A. M., 2017. Monorail System as Ubarban Sustainable Transit in Alexandria. *Engineering Research Journal Faculty of Engineering Menoufia University,* 40(4), p. 9.

Ferroviario, A. R. d. T., 2019. *Gobierno de México.* [En línea] Available at: https://www.gob.mx/artf/articulos/infraestructura-ferroviaria-191183?idiom=es [Último acceso: 04 04 2021].

INEGI, 2020. *INEGI.* [En línea] Available at: https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=23#tabMCcollapse-Indicadores [Último acceso: 06 04 2021].

Irurzun, R. & García Rosillo, F., 2009. *Ecologistas en Acción.* [En línea] Available at: https://www.ecologistasenaccion.org/20334/ [Último acceso: 12 Julio 2020].

Islas Rivera, V. & Lelis Zaragoza, M., 2007. *Análisis de los Sistemas de Transporte,* Queretaro: Sanfandila.

Lindfeldt, O., 2010. *Railway Operation Analysis,* Stockholm: KTH Architecture and the Built Enviroment.

Martínez, T. M., 2005. *Los archivos de ferrocarriles nacionales,* México: s.n.

Medina Ramírez, S. & Veloz Rosas, J., 2013. *Desarrollo Orientado al Transporte.* México: Cítrico Grafico.

Moreno Carrillo, M. C. & Rengifo Lozano, J. A., 2017. *Monorriel como Alternativa de Interconexión entre los Aeropuertos el Dorado I y II y el Centro Internacional de Bogotá,* Bogotá: Universidad la Gran Colombia.

Prats Herrera, Y., 2018. *Excelencias del Motor.* [En línea] Available at: https://www.excelenciasdelmotor.com/otras-secciones/ferrocarriles/la-alta-velocidad-en-francia-se-llama-tgv [Último acceso: 14 06 2021].

Railway Technology, s.f. *Railway Technology.* [En línea] Available at: https://www.railway-technology.com/projets/kualalumpurmonorail/ [Último acceso: 06 Agosto 2021].

Robertino, C., 2008. *Railways in the Urban Context,* Napoli: Universidad Tecnológica de Delft.

Togno, F., 1982. *Ferrocarriles.* Segunda Edición ed. México: Representaciones y Servicios de Ingenieria, S.A..

Vázquez Corte, C. & Morín Maya, E., 2018. *Metodología para la Evaluación Socioeconómica de Proyectos de Transporte Masivo,* México: Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación de Proyectos.

Vázquez, J., 2019. *El Economista.* [En línea] Available at: https://www.eleconomista.com.mx/estados/Quintana-Roo-supera-volumen-de-turistas-extranjeros-20190108-0003.html [Último acceso: 13 julio 2020].

Wang, Y., Liao, Z., Tang, T. & Ning, B., 2018. Train scheduling and circulation planning in urban rail transit lines. *Control Engineering practice,* Volumen 61, p. 12.

Yuichiro, Y., 2017. Environmental impact and travel time savings of a new. *Transportation Research Part D,* 51 (2017)(122-128), p. 7.

6.1 Páginas web consultadas

Asociación Latinoamericana de Metros y Subterráneos. (2019, 14 abril). Metro de Sao Paulo firma contratos para retomar obras y ampliar la línea 15 plata (monorriel). Alamys. Recuperado 9 de febrero de 2022, de https://www.alamys.org/es/noticias/metro-sao-paulo-firma-contratos-para-retomar-obras-y-ampliar-la-linea-15-plata-monorriel/

Bustos, M. (2020, 6 noviembre). Estos son los 10 trenes de alta velocidad que tiene Renfe. Trenvista. https://www.trenvista.net/a-fondo/los-10-trenes-de-alta-velocidad-de-renfe/

Ferrocarriles Suburbanos - El proyecto. (S. f.). Ferrocarriles Suburbanos. Recuperado 14 de junio de 2021, de http://fsuburbanos.com/secciones/la_empresa/proyecto.php

Global Construction Review. (2017, 2 October). Seven teams compete for $2.6bn Panama monorail - News - GCR. Chartered Institute of Building. https://www.globalconstructionreview.com/news/seven-teams-compete-26bn-panama-monorail/

Hua, C. (2017, 2 September). BYD powers into monorail business - Business - Chinadaily.com.cn. China Daily. http://www.chinadaily.com.cn/bizchina/motoring/2017-09/02/content_31451447.htm

Las Vegas Monorail. (2022, 3 febrero). Las Vegas Monorail Fun Facts and Operational Information. Recuperado 9 de febrero de 2022, de https://www.lvmonorail.com/operations/

Masakazu, K. (2020, 30 mayo). Okinawa's Yui Rail: Bigger and Better. Nippon.Com. Recuperado 9 de febrero de 2022, de https://www.nippon.com/en/guide-to-japan/gu900135/okinawa%E2%80%99s-yui-rail-bigger-and-better.html

Monorail de Tokio: Del Aeropuerto de Haneda al centro de Tokio. (2019, 19 febrero). JRailPass. https://www.jrailpass.com/blog/es/monorrail-de-tokio

Ortega, R. I. (2020, 7 agosto). Tijuana podría tener primer monorriel para potencializar turismo. Periódico Viaje. Recuperado 10 de enero de 2022, de https://periodicoviaje.com/transporte/tijuana-podria-tener-primer-monorriel-para-potencializar-turismo/

Schwebebahn de Wuppertal, el tren monorriel colgante más antiguo del mundo. (2018, 17 mayo). Diario del Viajero. https://www.diariodelviajero.com/europa/schwebebahn-de-wuppertal-el-tren-monorriel-colgante-mas-antiguo-del-mundo

Seattle Center Monorail. (2020, 25 Marzo). About the Monorail | Seattle Center Monorail. Seattle Monorail. https://www.seattlemonorail.com/about-seattle-monorail/about/

Thomas, J. (2017, 20 Julio). Monorail and futuristic 120mph buses back on the cards for Cambridge. CambridgeshireLive. https://www.cambridge-news.co.uk/news/cambridge-news/monorail-futuristic-120mph-buses-back-13358677

Tren Interurbano México-Toluca. (2021, 3 marzo). Gobierno de México; Secretaría de Comunicaciones y Transportes. http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/transporte-ferroviario-y-multimodal/tren-interurbano-mexico-toluca/

Xakata México. (2018, 19 febrero). En Ciudad de México proponen la construcción de un monorriel: del nuevo aeropuerto a Observatorio en 40. . . Xataka México. Recuperado 10 de enero de 2022, de https://www.xataka.com.mx/otros-1/en-ciudad-de-mexico-proponen-la-construccion-de-un-monorriel-del-nuevo-aeropuerto-a-observatorio-en-40-minutos

Curriculum Vitae

ING. RICARDO ROJAS FABRO

Chetumal, Q. Roo. México. Fecha de Nacimiento el 23 de Abril de 1996
Licenciado en Ingeniería Civil por el Instituto Tecnológico de Chetumal, en 2019.
Maestría en Vías Terrestres, por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua en 2022

EXPERIENCIA LABORAL

De octubre 2020 a enero 2021, Auxiliar de la unidad de autocontrol y gestión medioambiental en el Libramiento Oriente Chihuahua, con la Constructora Construcar & de la Garza, desempeñándome como auditor de la correcta ejecución de los trabajos de mantenimiento, conservación, operación y cumplimiento de las normas de seguridad, higiene y medioambientales.

De septiembre 2019 a marzo del 2020, Sub-residente de la constructora MERP edificaciones y terracerías, coordinando y supervisando las cuadrillas y los trabajos desarrollados en la construcción de la gasa vial universitaria.

De junio 2017 a marzo del 2019, Residente de conservación en la empresa RF&AS coordinando las cuadrillas para el suministro y colocación de vialetas reflejantes y pintura de tráfico base agua de la red federal del estado de Quintana Roo.

Publicaciones

- Revista del Colegio de Ingenieros Civiles de Chihuahua A.C. - Junio 2020, nombre del artículo: Consideraciones para evaluar el costo de operación de los vehículos en carreteras.
- Revista del Congreso Ingeco - Noviembre 2021, nombre del artículo: Diagnostico Vial y proyecto de monorriel Boulevard Kukulkán, Cancún Quintana Roo

Domicilio Permanente: Marciano González 195, Col. Sahop
Chetumal, Quintana Roo, 77017

Esta tesis fue mecanografiada por el Ing. Ricardo Rojas Fabro.