



# X ED ICIÓN 202<sup>3</sup><sub>4</sub>

Trabajo finalista - Texto completo

**Revolución vial: viaducto asimétrico de flujo continuo**

**Autores**

**Lorenzo Gerardo Martínez Ponce**

**Álvaro Ramírez Reina**

**Jesús Alderete Zapata**

**Óscar Piña Rivera**

**SUPERFLUX**

**MÉXICO**

## **Revolución vial: Viaducto Asimétrico de Flujo Continuo**

### **I. Resumen ejecutivo**

El Viaducto Asimétrico de Flujo Continuo presentado en este documento significa una revolución en el diseño de infraestructura vial, destinada a transformar la experiencia de conducción en entornos urbanos congestionados.

Las ciudades modernas enfrentan desafíos cada vez mayores en la gestión del tráfico debido a la creciente densidad vehicular. Las intersecciones semaforizadas, aunque necesarias, limitan la eficiencia del flujo vehicular al gestionar solo uno de los cuatro flujos posibles en un cruce, resultando en tiempos de espera prolongados y aumentando las emisiones de gases contaminantes. Esta situación no solo afecta la movilidad y la eficiencia del transporte urbano, sino que también tiene repercusiones económicas y ambientales significativas.

La ingeniería vial ha hecho frente a esta situación mediante el diseño de estructuras que priorizan, de acuerdo al flujo vehicular, el paso de calles y avenidas mediante desniveles. Existe toda una gama de estructuras de distribución vial, que permiten el intercambio de tráfico entre diferentes vías a distintos niveles, que buscan mejorar el tráfico priorizando los flujos principales mientras los secundarios se dosifican mediante semaforización.

En este estudio, nos enfocaremos en una variante específica de distribución de tráfico: El viaducto convencional es una solución de infraestructura diseñada para mejorar el flujo de tráfico en áreas urbanas congestionadas, son vías elevadas que permiten el paso sobre intersecciones y otras obstrucciones (Blockley, 2014). A diferencia de un puente o paso a desnivel, que generalmente cruza un único obstáculo, un viaducto se extiende por distancias considerables, elevándose sobre una serie de calles, caminos o vías férreas y sus consecuentes intersecciones. Este tipo de infraestructura busca aliviar entornos urbanos densamente poblados donde las intersecciones a nivel pueden causar significativos cuellos de botella y retrasos. El viaducto, por lo tanto, debería fungir como una solución eficiente para gestionar el tráfico al librar las intersecciones, reduciendo el tiempo de viaje y mejorando la conectividad entre diferentes zonas de una ciudad.

Sin embargo, el punto débil de esta solución radica en la priorización, ya que la semaforización de los restantes flujos invariablemente entorpecerá el tráfico en horas pico y conforme el aforo vehicular crezca, lo parará también la congestión.

La razón es simple: si se tienen puntos de conflicto en una vía y para remediarlos, se decide elevarla, lo único que se logra es llevar los puntos de conflicto a ese nivel.

El Viaducto Asimétrico de Flujo Continuo presentado en este estudio propone una solución disruptiva en la planificación vial, diseñada para superar estas limitaciones mediante una serie de innovaciones clave:

**Estructura Asimétrica Elevada:** Se ha desarrollado un viaducto que eleva solo uno de los sentidos de la vía principal, permitiendo un flujo continuo sin interrupciones por semáforos. Esta configuración asimétrica optimiza el uso del espacio y reduce los costos de construcción.

**Gasas de Desincorporación:** La integración de gasas de desincorporación estratégicamente ubicadas permite que las vueltas a la izquierda y a la derecha se realicen sin interferir con el flujo principal del tráfico. Estas gasas pueden ser tanto elevadas como deprimidas, adaptándose a las necesidades específicas del entorno.

**Flujo Continuo a Nivel de Suelo:** En el sentido contrario, el tráfico se mantiene a nivel del suelo, permitiendo tanto vueltas a la derecha como a la izquierda de manera eficiente, sin necesidad de semáforos.

**Principios de Diseño Geométrico:** El diseño geométrico del viaducto se basa en tres principios fundamentales: la eliminación de cruces a nivel, la homologación de velocidades y la regulación de cambios de carril, todos ellos enfocados en reducir la congestión y mejorar la seguridad vial.

## **II. Introducción**

La movilidad urbana es un desafío creciente en las ciudades, donde el aumento de la densidad vehicular y la complejidad de las redes de transporte han llevado a una mayor congestión y a tiempos de viaje prolongados. Estas dificultades no solo afectan la eficiencia del transporte y la calidad de vida de los ciudadanos, sino que también tienen implicaciones económicas y ambientales significativas.

Tradicionalmente, las soluciones para mitigar la congestión han incluido la construcción de puentes y distribuidores viales elevados que permiten el paso continuo del tráfico en vías principales, relegando las vueltas y cruces a nivel del suelo mediante semaforización. Sin embargo, estas soluciones presentan limitaciones notables. Las intersecciones semaforizadas, aunque necesarias para gestionar el flujo de tráfico en múltiples direcciones, solo permiten el movimiento de uno de los cuatro flujos posibles en un cruce en cualquier momento dado, lo que resulta en una eficiencia del 25%. Además, la necesidad de soportar la elevación de múltiples carriles incrementa significativamente los costos de construcción y el impacto ambiental.

En respuesta a estos desafíos, se ha desarrollado el Viaducto Asimétrico de Flujo Continuo, una innovadora solución de infraestructura vial que promete transformar la gestión del tráfico urbano. Este proyecto introduce una serie de innovaciones clave que abordan las causas fundamentales de la congestión de manera efectiva y sostenible. La propuesta incluye una estructura asimétrica elevada que permite un flujo continuo en uno de los sentidos de la vía principal sin interrupciones por semáforos, mientras que el flujo en el sentido contrario se mantiene a nivel del suelo, facilitando las vueltas a la derecha y a la izquierda de manera eficiente.

El diseño del Viaducto Asimétrico de Flujo Continuo se basa en nuevos principios de diseño geométrico, que, tras haber identificado las causas raíz del problema de la congestión, buscan eliminarlas procurando flujo continuo para todos los usuarios, movimientos direccionales y destinos del punto de conflicto vial. Esta solución no solo optimiza el uso del espacio y reduce los costos de construcción, sino que también mejora la sostenibilidad y la seguridad vial, reduciendo las emisiones contaminantes y los riesgos de accidentes.

La implementación propuesta para este nuevo concepto de viaducto en el caso de estudio presentado en este documento en la ciudad de San Luis Potosí ejemplifica su potencial para mejorar significativamente la movilidad urbana. El proyecto, que aún en fase de diseño y cotización, ha generado un considerable interés debido a sus beneficios anticipados. La presentación de esta propuesta en el contexto del concurso internacional de innovación en carreteras busca destacar su viabilidad y su capacidad para establecer un nuevo estándar en la infraestructura vial.

Este documento explorará en detalle el concepto y diseño del Viaducto Asimétrico de Flujo Continuo, evaluará su viabilidad y proyectará su impacto en la mejora del tráfico urbano. A través de un análisis exhaustivo, se demostrará cómo esta innovación puede contribuir a resolver los problemas actuales de congestión vial, mejorando la eficiencia del transporte y promoviendo un entorno urbano más sostenible y seguro.



Fig. 1: Vista aérea del viaducto asimétrico

### III. Metodología de Diseño

La metodología de diseño del Viaducto Asimétrico de Flujo Continuo se sustenta en una combinación de principios innovadores y enfoques técnicos avanzados que garantizan la eficiencia y efectividad del proyecto. Esta metodología incluye el uso de varios principios de diseño, modelado y simulación rigurosos, así como evaluaciones económicas y ambientales. Cabe señalar que el enfoque metodológico de este proyecto ha sido concebido desde otros ámbitos de la ingeniería, con lo que se han generado propuestas y soluciones disruptivas.

#### 1. Identificación de causas raíz de los conflictos viales

Antes de aplicar los principios de diseño para la solución de un problema, se deben identificar sus causas raíz. De no comenzar de esta forma, las soluciones propuestas y elegidas probablemente sean solo paliativas y no resuelvan del todo la problemática. Este proyecto

nació de la identificación y conocimiento profundo de las causas de las causas de la congestión vial, tras 10 años de estudio riguroso y experimentación y creación constante.

Un análisis detallado de la relación entre los vehículos que circulan en una carretera permite identificar los principales factores que generan el fenómeno de la congestión vial. En este sentido, se han determinado cinco condiciones diferentes.

Dichas condiciones, presentadas a continuación, presentan similitudes con conceptos tradicionales, tales como el flujo uniforme, análisis de cambios de velocidad, maniobras de desincorporación y conflictos de intersección, desde un enfoque de ingeniería paralelo que, desde el ámbito de la mecánica de fluidos y la automatización de flujos, buscar dar la máxima importancia a mantener el flujo continuo en el tráfico para maximizar la eficiencia y minimizar la congestión.

Condición 1: Circulación paralela. Cuando los vehículos circulan por carreteras paralelas en la misma dirección con velocidades similares.



Fig. 2. Condición de circulación paralela. Liga directa a YouTube:  
<https://youtu.be/zeNTRVbloZ0?si=bkcPJJGWU2zmdiYT>

Condición 2: Desplazamiento paralelo. Si uno de cada dos vehículos cambia de velocidad, ambos se desplazan. La diferencia de velocidad se identifica como un factor no influyente cuando la circulación es paralela, pero puede establecer influencia cuando esta relación cambia.



Fig 3. Condición 2, Desplazamiento paralelo. Liga directa a YouTube:

<https://youtu.be/yLtSw5irjFA?si=RSga6d6Vlh3XlzBr>

Condición 3: Desincorporación paralela. Cuando un vehículo se separa del flujo sin invasión de carril, tanto a la izquierda como a la derecha cambia.



Fig. 4. Condición 3, Desincorporación paralela. Liga directa a YouTube:  
[https://youtu.be/B\\_bqtHJLG0U?si=2\\_YQFZUXBGvel28s](https://youtu.be/B_bqtHJLG0U?si=2_YQFZUXBGvel28s)

Condición 4: Medio cruce. Un vehículo se separa invadiendo otro carril transversalmente, de derecha a izquierda o de izquierda a derecha, comienza el conflicto vial.



Fig. 5. Condición de circulación 4, medio cruce. Liga directa a YouTube:

<https://youtu.be/tHI8Pdt7WSE?si=KRqDLnD2yLlwToKX>

Condición 5: Cruce completo. Doble desincorporación de carriles por vehículos o flujos vehiculares transversalmente de derecha a izquierda e izquierda a derecha. Esta condición implica un alto grado de conflicto vial.



Fig. 6. Condición de circulación 5, doble cruce. Liga directa a YouTube:

[https://youtu.be/xT4mO78qS8s?si=cbJA\\_2C-tPmJmBR4](https://youtu.be/xT4mO78qS8s?si=cbJA_2C-tPmJmBR4)

El conflicto vial comienza cuando los vehículos realizan medios cruces o cruces completos. Si estos fenómenos ocurren entre flujos vehiculares, habrá congestión. Después de analizar estas cinco condiciones, se definió que el flujo vehicular debe mantenerse lo más alejado posible de la quinta condición, cruce completo, y acercarse a la primera: circulación paralela. Cuanto más cerca de la condición uno, más eficiente el diseño de la carretera, cuanto más cerca de la condición cinco, más ineficiente.

Un proceso de observación realizado durante más de 10 años ha permitido enumerar las principales causas de la congestión vial, así como identificar aquellas que reflejan una alta incidencia en el conflicto.

Factores	Incidencia (%)	Ponderación (%)
Cruce en el mismo nivel	100	199
Cambio aleatorio de carril	100	90
Diferencia de velocidad	95	90
Diferencia en estilos de manejo	100	25
Desconocer   Desobedecer reglamentos	90	0
Ola de vehículos	75	0
Conducción de retraso	72	0
Falta de consideración de conductores	68	0
No marcar señales de cambio de carril	60	0
Conducción bajo estrés	60	0
Frenar sin razón	60	0
Accidentes	60	0
Maniobras por falta de carril	50	0
Conducción con celular en mano	37	0
Distracción al conducir	25	0
Desobediencia al semáforo	3	0
Falta de señalización	2	0
Daños en el camino	1	0
Conducción en estado inconveniente	1	0
Falla mecánica	0.5	0
Piso mojado	0.2	0
Ponchadura de neumático	0.1	0
Problema de salud	0.01	0

Tabla de causas de conflicto vial.

Aplicando el principio de Pareto, se aislaron los factores enumerados en la Figura 13 que afectan al 100% de los conductores el 100% del tiempo. Estos factores son:

1. **Cruce en el mismo nivel.** Cuando se realiza un medio cruce o cruce completo en otro flujo vehicular.

2. **Diferencial de velocidad.** Este factor influye cuando la circulación deja de ser paralela, es decir, cuando hay una incorporación a un flujo o se requiere hacer un cruce. Dichos cambios sólo se pueden realizar en forma segura cuando la velocidad es homóloga. Cuando existe un diferencial significativo, dichas maniobras se complican, lo que aumenta el riesgo de conflicto o accidente.
3. **Cambio aleatorio de carril.** Este fenómeno se da cuando hay medios cruces y cruces completos en un flujo, en forma aleatoria y desordenada, causando conflicto y congestión fantasma; es decir, aparentemente no hay una razón para que el flujo se detenga o congestione, como un accidente o una obstrucción permanente de un carril. Sin embargo, el frenado momentáneo que causan los cambios permitidos por vialidades de varios carriles es suficiente para causar un efecto en cadena que genera congestión.

Un diseño de vialidad eficiente debe cumplir estrictamente con estas características: realizar el cruce entre vehículos a diferentes niveles, homologar la velocidad de circulación y promover el orden en el cambio de carril. En esta propuesta de diseño para viaducto de flujo continuo, se resuelven estos tres requisitos mediante la asimetría. Esta nueva filosofía de diseño busca acercarse lo más posible a la circulación paralela regulando la velocidad, manteniendo el orden y eliminando el cruce a nivel.

## 2. Identificación de líneas de flujo

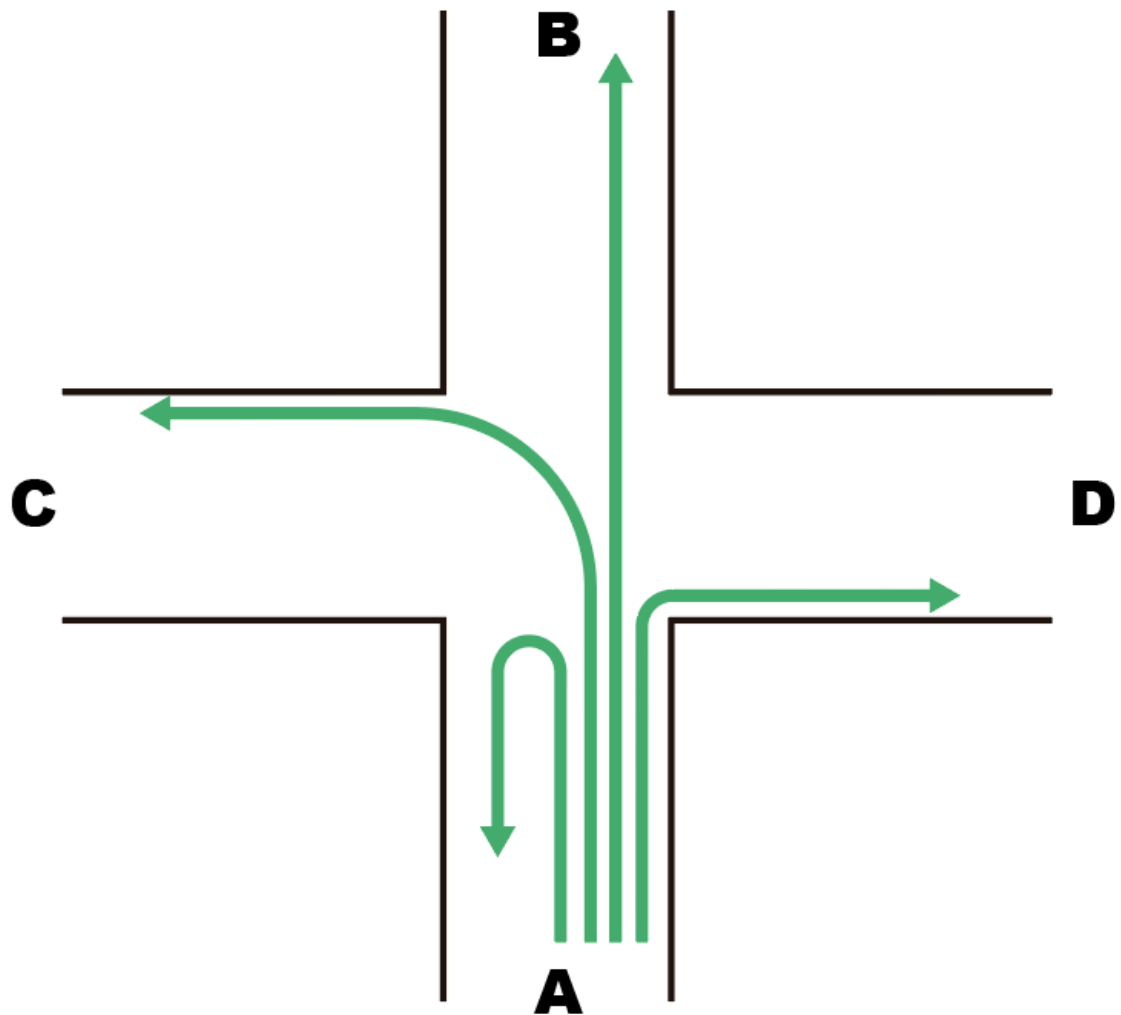


Fig. 7. Líneas de flujo.

Para dar fluidez a una carretera y sus intersecciones, es necesario tener una idea precisa de hacia dónde van los vehículos y todas las rutas posibles en cada carretera (Figura 7). Es esencial para alcanzar la solución más eficiente identificar y dibujar todas las líneas de flujo y resolver cada una de ellas de la manera más eficiente.

Las Líneas de Flujo también son consideradas como *movimientos direccionales*, y se refieren a los desplazamientos de los vehículos en una intersección o en una vía en función de la dirección en que estos vehículos se mueven. Los *movimientos direccionales* se clasifican principalmente en tres tipos:

### **Movimientos Direccionales:**

**Giro a la derecha:** Movimiento de un vehículo que gira a la derecha en una intersección.

**Giro a la izquierda:** Movimiento de un vehículo que gira a la izquierda en una intersección.

**Movimiento directo:** Movimiento de un vehículo que sigue recto a través de la intersección.

**Movimiento de retorno:** Movimiento de un vehículo que vuelve por donde venía.

Para efectos de éste estudio aquí presentado, se denominará Líneas de Flujo a los movimientos direccionales, haciendo énfasis en que cuando alguna de estas líneas de flujo es intersecada por otra, es un probable punto de conflicto vial.

Como ejemplo, calcularemos las Líneas de Flujo en una intersección de dos vías con dos sentidos cada una.

$$LF = n^2$$

Donde:

**n:** Representa el número de direcciones de entrada en una intersección.

**n<sup>2</sup>:** Calcula el número total de Líneas de Flujo posibles, donde cada dirección de entrada puede conectarse a cada dirección de salida, incluyendo la misma dirección de entrada como una opción de retorno.

En este caso,  $LF=n^2=4^2=16$

La intersección cuenta con 16 Líneas de Flujo.

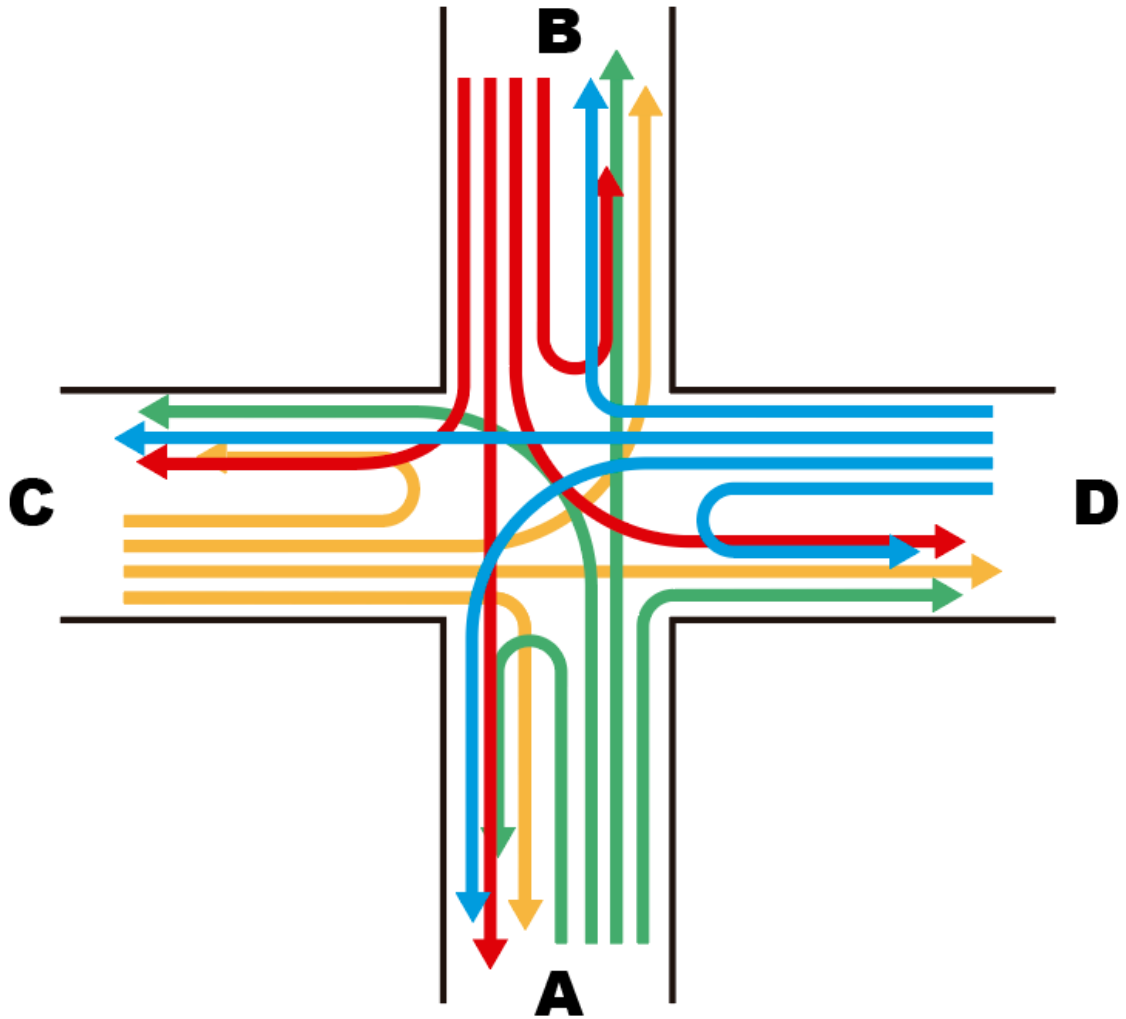


Fig. 8. Líneas de Flujo totales en una intersección de dos vías con dos sentidos cada una: 16

Consideramos cada cruce de Líneas de Flujo como un posible punto de conflicto que debe ser solucionado. Consideramos que un proyecto vial queda resuelto cuando cada uno de sus puntos de conflicto es eliminado, generando cruces a niveles diferentes, entrecruces regulados y circulación con velocidad homologada que nos acerque a la condición de manejo 1 (Fig. 2).

### 3. Solución

Por lo anterior, se sustenta que la solución propuesta en esta tesis se basa en un nuevo sistema de diseño geométrico que aborda las tres causas principales de congestión

identificadas anteriormente: cruce a nivel, diferencia de velocidad y cambios de carril aleatorios. Este sistema se basa en los siguientes principios:

*Eliminación de cruces a nivel:* Se proponen estructuras elevadas o deprimidas para separar los flujos de tráfico en diferentes niveles, evitando así los conflictos y choques.

*Homogeneización de la velocidad:* Se establecen límites de velocidad claros y se implementan medidas para garantizar que todos los vehículos circulen a una velocidad similar, reduciendo la necesidad de aceleraciones y desaceleraciones bruscas.

*Orden en los cambios de carril:* Se establecen reglas claras para los cambios de carril, promoviendo un flujo ordenado y evitando maniobras bruscas o inesperadas.

### **Beneficios del sistema de flujo continuo**

La implementación de un sistema de flujo continuo ofrece numerosos beneficios, entre los que destacan:

- *Reducción de la congestión:* Al eliminar las principales causas de congestión, se logra un flujo de tráfico más eficiente y fluido.
- *Mayor seguridad:* La separación de los flujos de tráfico y la homogeneización de la velocidad contribuyen a reducir el riesgo de accidentes.
- *Menor contaminación:* Al reducir la congestión y las paradas en el tráfico, se disminuyen las emisiones contaminantes.
- *Mejora de la calidad de vida:* Un diseño de movilidad eficiente y seguro mejora la calidad de vida de los ciudadanos al reducir los tiempos de viaje y el estrés.

## **4. Principios de diseño empleados en este proyecto**

Para lograr la eliminación de cruces a nivel. La homologación de la velocidad y el ordenamiento de los cambios de carril, se emplearon los siguientes principios de diseño:

### **Principio del Elevador**

Este principio se basa en la lógica de priorizar el paso a los vehículos que ya están en el sistema antes de introducir nuevos. Similar a cómo uno permite que las personas salgan de un elevador antes de entrar, se asegura que los vehículos dentro de una glorieta o nodo de

intersección tengan preferencia para salir antes de que otros ingresen. Esto evita bloqueos y asegura un flujo ordenado.

### **Principio de la Ratonera**

Inspirado en el diseño de una ratonera clásica, este principio enfatiza el minimalismo y la interdependencia de cada elemento del sistema. Cada componente tiene una función específica y su ausencia o mal funcionamiento afecta el rendimiento general. Este enfoque garantiza un diseño eficiente y cohesionado.

### **Principio de Reducción a la Mínima Expresión**

Este principio busca diseñar con el menor número posible de elementos, reduciendo así los puntos de falla y optimizando el uso de recursos. Diseños con menos componentes son más económicos, ecológicos y fáciles de mantener, asegurando una mayor eficiencia y fiabilidad.

### **Observación y Mejora Continua**

La observación invariable y la identificación de la causa raíz de los problemas permiten una mejora continua a la hora del diseño. Se monitorea el comportamiento del tráfico y se ajustan los elementos del sistema en función de la retroalimentación y los datos recogidos, garantizando una adaptación y optimización constante.

## **Descripción de la Metodología**

### **1. Análisis Preliminar del Sitio**

**Evaluación del Contexto Urbano:** Análisis detallado del derecho de vía, condiciones del terreno y del entorno urbano y la infraestructura existente para identificar puntos críticos y cuellos de botella.

**Análisis de Flujos de Tráfico:** Análisis de datos históricos de tráfico y observación de flujos y registro en vídeo para comprender el comportamiento del tráfico y las necesidades específicas del sitio.

**Análisis de tipos de movilidad:** Identificación de los tipos de movilidad existentes en el entorno vial:

- Movilidad peatonal
- Movilidad autopropulsada (Bicicletas, scooters y otros)
- Movilidad motorizada: transporte urbano, vehículos de carga, pesada y ligera,

### **Análisis de itinerarios:**

Permite comprender el comportamiento y las necesidades de los vehículos a lo largo de diferentes rutas. Se clasifican en itinerarios largos y cortos.

- **Itinerarios Largos:** Generalmente se asocian con rutas interurbanas o tramos de autopistas donde los vehículos deben recorrer distancias significativas sin interrupciones frecuentes. El diseño de vialidades para estos itinerarios debe enfocarse en la continuidad del flujo vehicular, la eliminación de puntos de conflicto y la optimización de la velocidad de viaje.
- **Itinerarios Cortos:** Se encuentran comúnmente en entornos urbanos, donde la densidad de intersecciones, y accesos a complejos públicos y propiedades privadas es elevada. El diseño de vialidades de corto itinerario debe buscar también el flujo continuo en el entendido que dichos proyectos tendrán mayor exigencia en cuanto a la seguridad y accesibilidad debido a la posible integración de múltiples moviidades, listadas anteriormente.

**Factores Ambientales y Socioeconómicos:** Consideración de impactos ambientales y aspectos socioeconómicos relevantes para el proyecto.

## **2. Solución de Diseño Geométrico**

- **Eliminación de Cruces a Nivel:** El diseño geométrico debe solucionar cruces y entrecruzamientos mediante estructuras a desnivel y otros recursos de diseño, permitiendo un flujo continuo del tráfico, así como los diversos tipos de movilidad interactuante.
- **Homologación de la Velocidad:** El diseño asegura velocidades constantes para los vehículos, reduciendo las variaciones que provocan congestión.
- **Regulación del Cambio de Carril:** Se diseñan áreas específicas para la incorporación y desincorporación de vehículos, minimizando los cambios aleatorios de carril.

## **3. Modelado y Simulación**

- **Herramientas de Simulación de Tráfico:** Utilización de software especializado como Synchro, Vissim y otras herramientas para crear modelos detallados del tráfico y evaluar el rendimiento del proyecto vial.
- **Análisis de Escenarios:** Simulación de diferentes volúmenes de tráfico y condiciones de pico para optimizar el diseño.

- **Validación y Ajustes:** Ajustes en el diseño basados en los resultados de las simulaciones para maximizar la eficiencia y minimizar los impactos negativos.

#### 4. Evaluación de Viabilidad Económica

- **Estimación de Costos:** Análisis detallado de costos de construcción, materiales y mano de obra, con enfoque en la máxima eficiencia del derecho de vía y la máxima reducción de volumen de obra.
- **Análisis de Beneficios:** Proyección de beneficios a largo plazo, con enfoque en la reducción de tiempos de viaje y disminución de emisiones.
- **Retorno de Inversión:** Cálculo del ROI basado en ahorros proyectados y mejora en la eficiencia del tráfico.

#### 5. Consideraciones Ambientales y de Sostenibilidad

- **Cambio en el paradigma de la semaforización tradicional:** Desde la perspectiva de esta metodología de diseño, los semáforos tradicionales, fungen como acumuladores de vehículos, que solamente regulan el caos vial, que lo dosifican con una eficiencia normalmente de un 25%, debido a que detienen el flujo vehicular a tres de las cuatro vías de una intersección, significando un 75% de vehículos detenidos en todo momento dado, para dar paso a la vía con luz verde; un 25%.

Esta situación genera que una cantidad significativa de vehículos pasen también el 75% de cada ciclo semafórico detenidos con motor en marcha, en espera que se les de paso. Como es sabido, el motor en marcha a velocidad cero es un estado altamente ineficiente y contaminante. Esta situación sigue siendo una realidad que se irá mitigando poco a poco a medida que el parque vehicular sea reemplazado por vehículos equipados con tecnología auto Start-Stop o bien, con propulsión eléctrica. Hasta que el cambio sea completo en todo el mundo, esta situación seguirá generando un considerable volumen de emisiones contaminantes que podrían ser significativamente reducidas si al menos las intersecciones semaforizadas de mayor demanda fueran rediseñadas y reemplazadas por soluciones de flujo continuo donde las señales de tráfico estuvieran presentes ya no como reguladoras de flujo, sino como homologadoras de velocidad. Estos dispositivos deberían enfocarse en mantener la uniformidad en la velocidad de los vehículos y generar otro tipo de mensajes, como alertas de reducción de velocidad, información sobre condiciones del tráfico en tiempo real, o incluso la implementación de fotomultas para quienes incumplan las velocidades establecidas. Así, se lograría una gestión del tráfico más eficiente y sostenible, contribuyendo a la reducción de emisiones y mejorando la calidad del aire en áreas urbanas.

- **Reducción de Emisiones:** La reorientación del uso de las señales de tráfico y la implementación del flujo continuo, por lo tanto, contribuyen significativamente a la reducción de emisiones contaminantes.
- **Uso de Materiales Sostenibles:** Selección de materiales de bajo impacto ambiental y alta durabilidad, como concretos permeables.
- **Mitigación del Impacto Ambiental:** Desarrollo de una solución geométrica que logre la máxima eficiencia del proyecto al tiempo que se reduzca al mínimo volumen de obra. Implementación de medidas para minimizar el impacto durante la construcción y operación del proyecto vial.

### **Descripción Técnica del Viaducto Asimétrico de Flujo Continuo**

- **Concepto de estructura asimétrica elevada**  
Es una solución disruptiva para esta problemática, pero a la vez sencilla y eficiente, El rompimiento de la simetría, elevando sólo uno de los sentidos de la vía. Esto permite lograr solucionar las vueltas a derecha e izquierda de cada sentido en un nivel diferente.
- **Detalles de desincorporaciones a la izquierda y gestión de flujos**  
Uno de los principales retos en cualquier proyecto vial, y especialmente en pasos a desnivel o viaductos, es resolver las vueltas a la izquierda, que suelen generar múltiples puntos de conflicto y tienen importantes demoras en el tiempo de llegada a sus destinos. En el caso del Viaducto Asimétrico, las desincorporaciones a la izquierda se resuelven de manera eficiente. En una dirección, los giros a la izquierda se realizan de forma directa, ya que la asimetría elimina la presencia de vías paralelas al mismo nivel que puedan obstruir estos giros. En el sentido a desnivel, ya sea en un paso elevado o deprimido, se emplean gasas de desincorporación, que permiten el giro descendiendo hasta el nivel de piso después de haber cruzado sobre o bajo el cuerpo principal de la vía. Esto facilita un entrecruzamiento ordenado, diseñado para homologar velocidades, y asegura una correcta incorporación al flujo principal en carriles dedicados, permitiendo entrecruzamientos controlados que evitan cambios aleatorios de carril.
- **Diagramas y planos**

### **Plano de la zona**

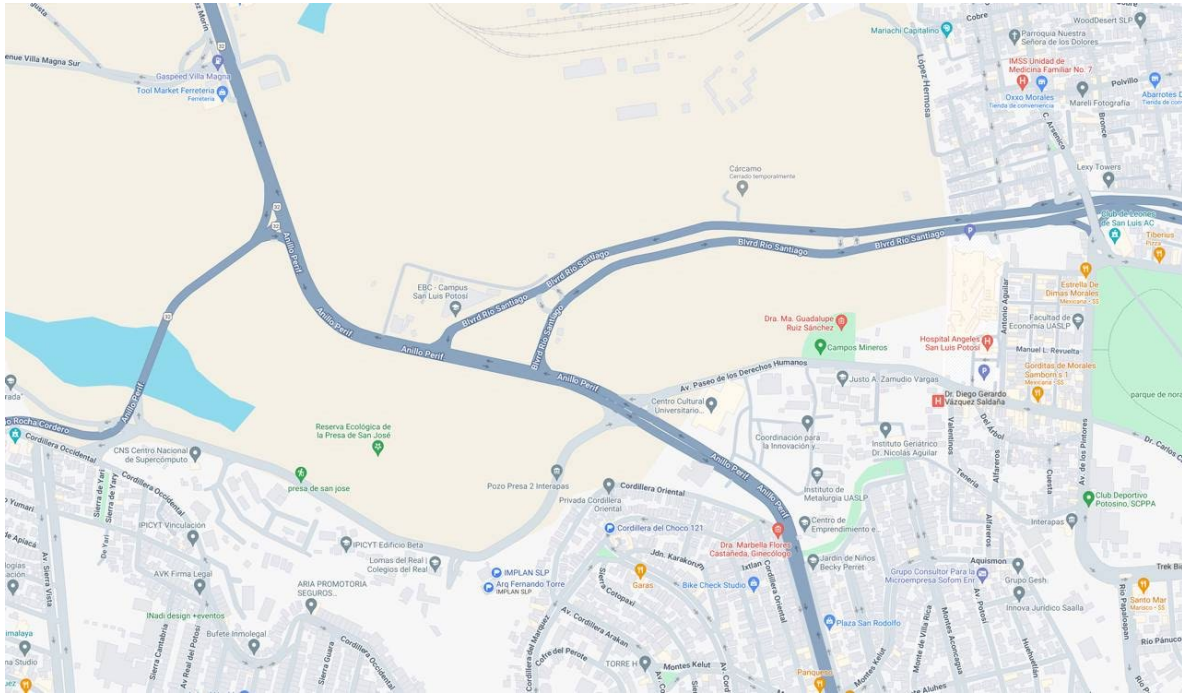


Fig. 9. Plano de la Zona

**Plano de la zona. Vista Satelital.**



Fig. 10. Plano de la zona. Vista Satelital

En las Figuras 9 y 10 podemos apreciar la zona donde se ubica el proyecto, en la zona poniente de la ciudad de San Luis Potosí, México.

El sistema vial en esta zona está compuesto por las siguientes vías:

- Anillo Periférico. Parte del anillo de circunvalación de la ciudad, con circulación en ambos sentidos. Es el arroyo principal donde se ubica el viaducto.
- En la sección Norte del área a resolver, encontramos la intersección del Anillo Periférico con el Anillo Periférico Occidental.
- En la sección central del área a resolver, encontramos el Boulevard Río Santiago, una importante vía que conecta y da acceso en forma transversal a toda la parte Centro-Oeste de la ciudad, que interseca en su nacimiento con el anillo Periférico, en la parte central de la zona a resolver, en dirección Centro-Oeste, con circulación en ambos sentidos.
- En la sección Este de la zona a resolver, el Anillo Periférico es intersecado por el camino a la Presa de San José, que, al cruce del periférico, se convierte en la...
- Avenida Paseo de los derechos Humanos, que corre en forma paralela como una vía alterna al Boulevard Río Santiago.

- En total, por lo tanto, encontramos cuatro diferentes puntos de intersección a resolver en el recorrido del proyecto.

### Picos de tráfico

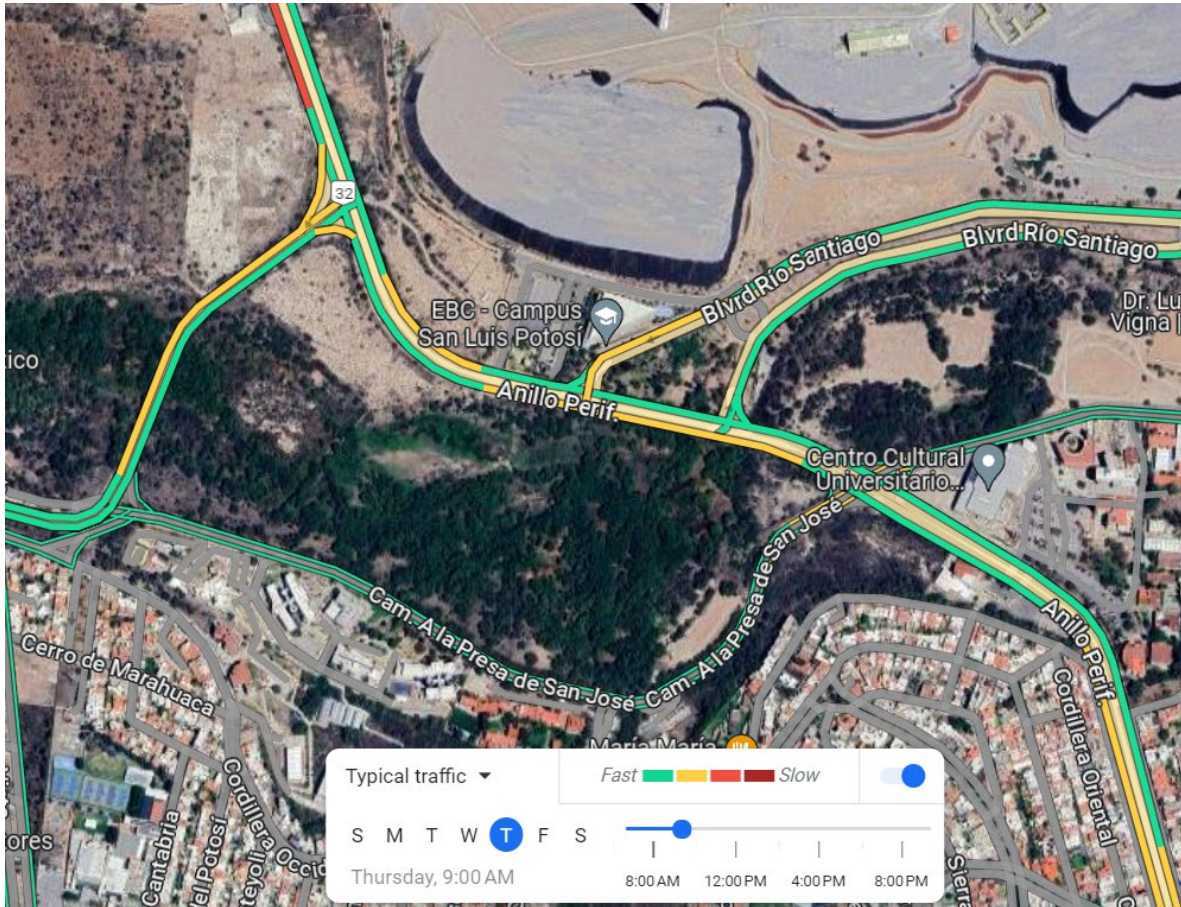


Fig. 11. Primera Hora Pico: 9:00 AM – 9:30 AM

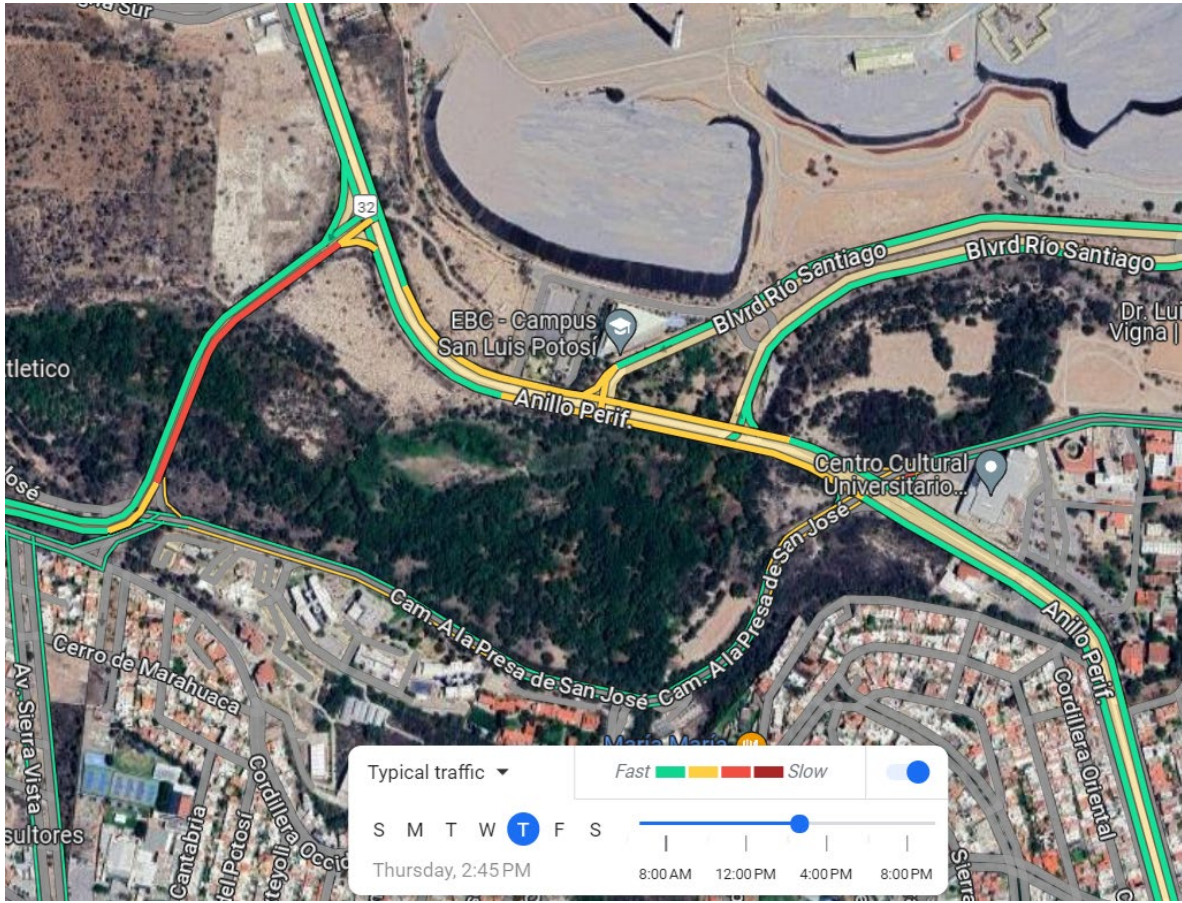


Fig. 12. Segunda Hora Pico: 2:30 PM – 4:15 PM

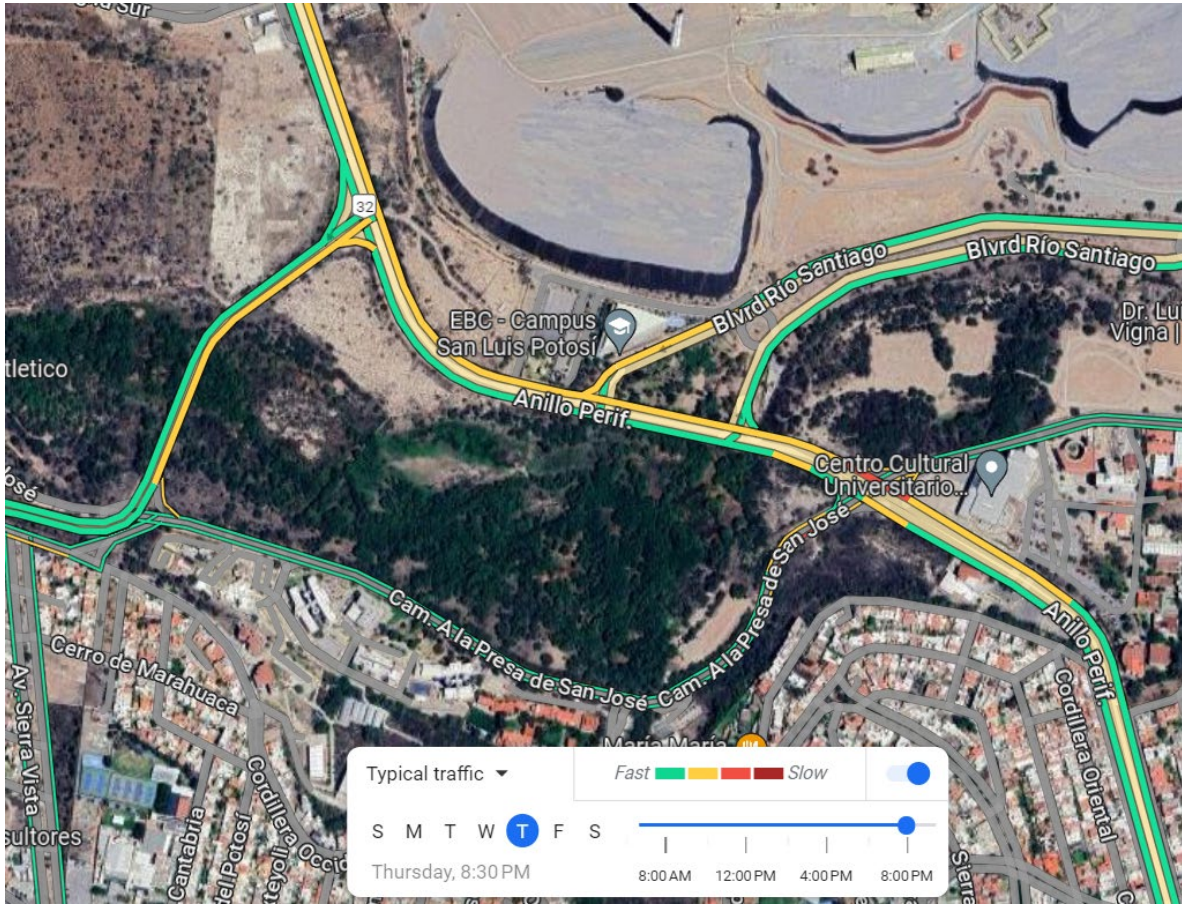


Fig. 13. Tercera Hora Pico: 7:00 PM – 9:00 PM

### Esquema de líneas de flujo

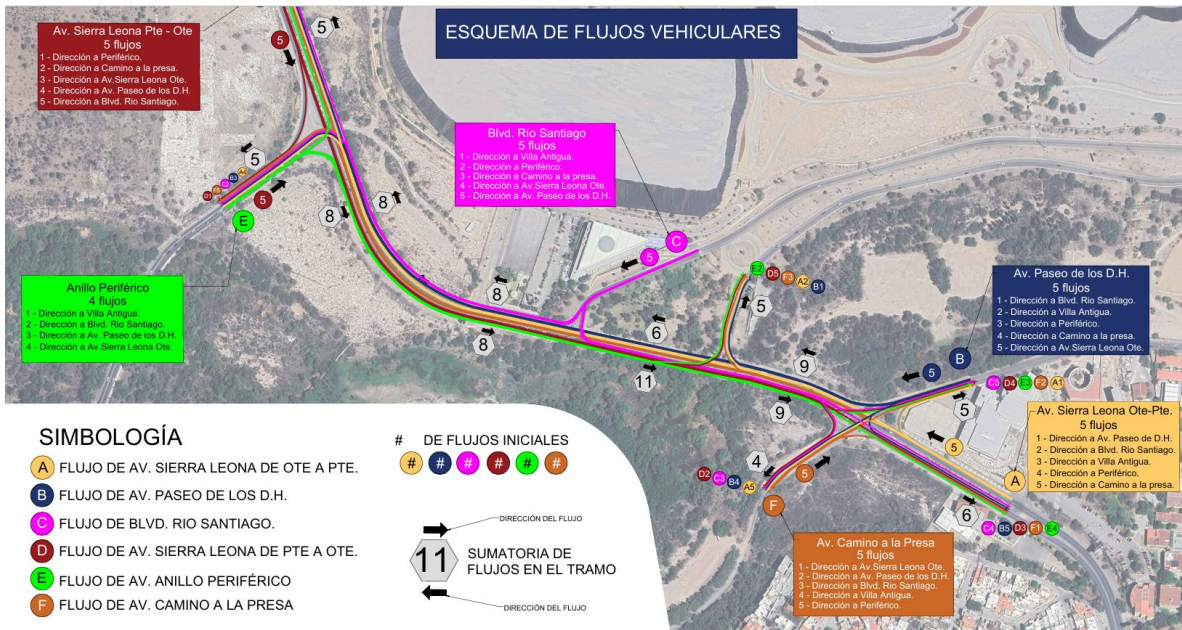


Fig. 14. Esquema de líneas de flujo identificadas en la zona.

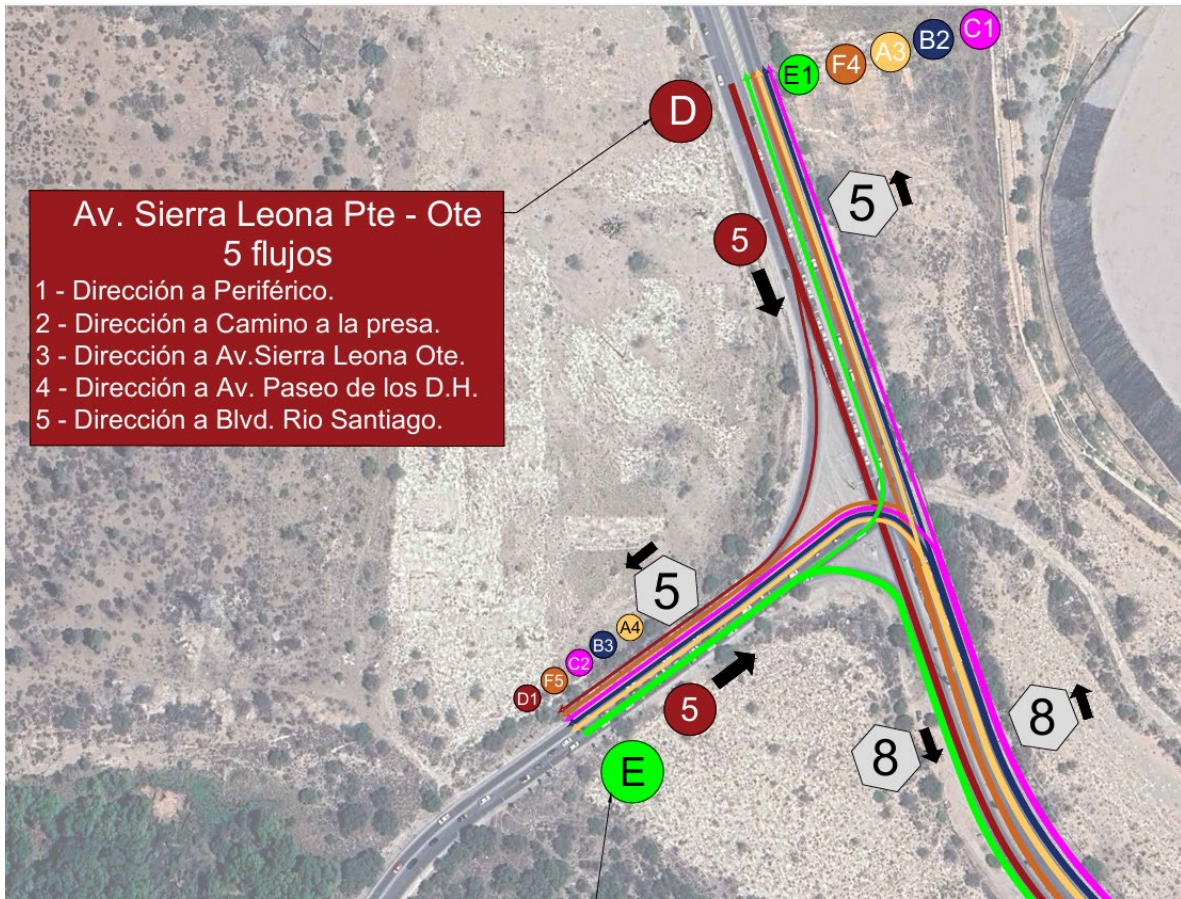


Fig. 15. Esquema de líneas de flujo identificadas en la Sección Norte.

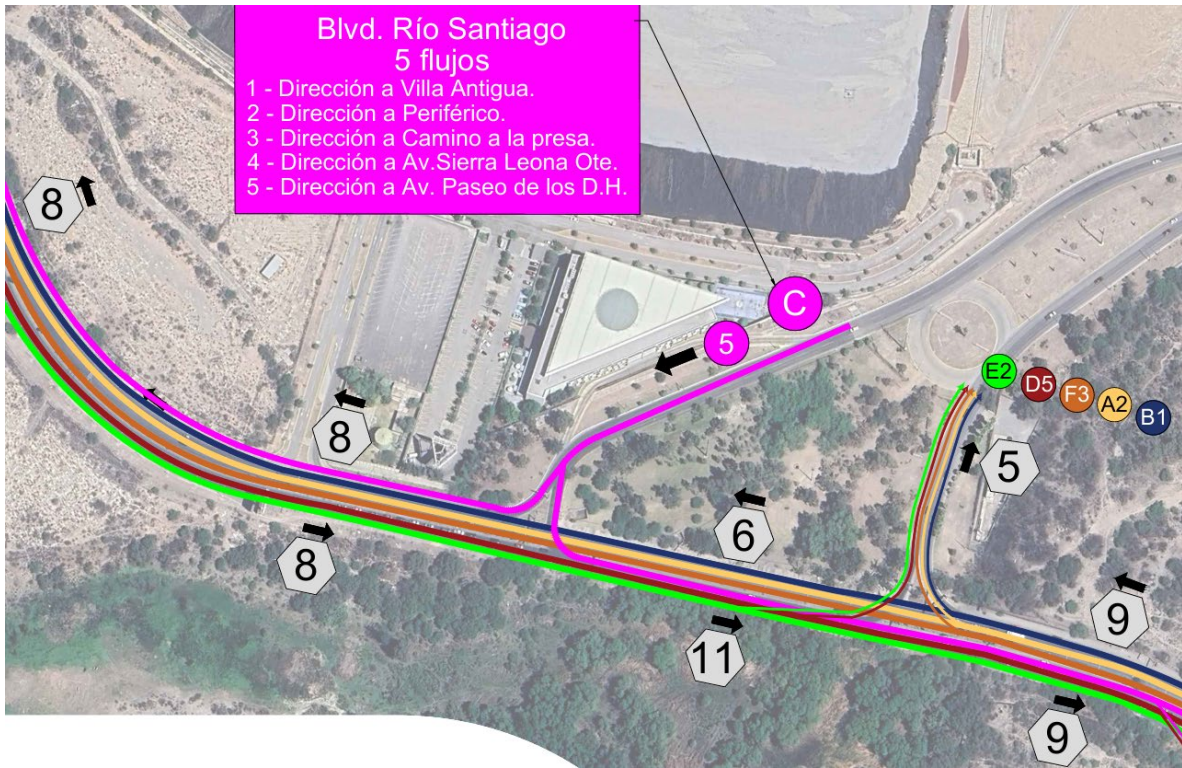


Fig. 16. Esquema de líneas de flujo identificadas en la Sección Central.

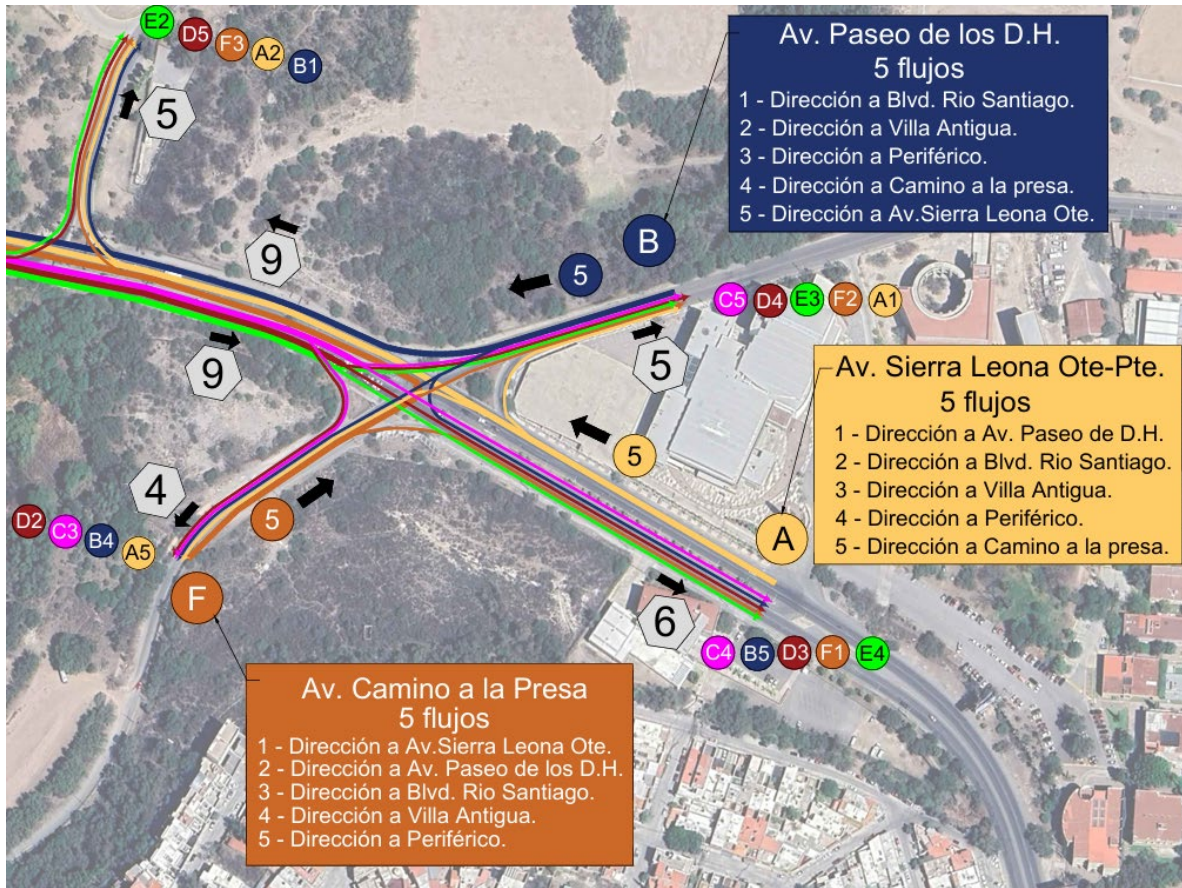


Fig. 17. Esquema de líneas de flujo identificadas en la Sección Sur

### Proyecto de Solución Convencional

A continuación, presentamos el proyecto convencional desarrollado por el Departamento de Obras Públicas del Gobierno Municipal de San Luis Potosí.



Fig. 18. Solución Convencional. Vista 1



Fig. 19. Solución convencional. Vista 2

En este Render podemos apreciar la propuesta convencional de un viaducto simétrico elevado que requiere semaforización para resolver parcialmente sus líneas de flujo, resultando en una solución altamente ineficiente. Incluso el render sugiere filas de vehículos acumulados por el semáforo, esperando el paso.

**Solución alternativa aceptada por el Gobierno Municipal: Viaducto asimétrico de flujo continuo.**

## **Descripción Técnica del Viaducto Asimétrico de Flujo Continuo**

### **1. Diseño General**

El Viaducto Asimétrico de Flujo Continuo es una estructura vial elevada diseñada para optimizar el flujo de tráfico en corredores urbanos congestionados. Este diseño innovador presenta características únicas que permiten un flujo continuo de vehículos, eliminando la necesidad de semaforización y reduciendo los tiempos de espera y las emisiones contaminantes. La estructura se distingue por su asimetría, donde solo uno de los sentidos de circulación es elevado, permitiendo que el otro sentido opere a nivel del suelo con vueltas a la izquierda y derecha sin interrupciones.

### **2. Componentes Principales**

#### **2.1. Estructura Elevada Monocarril**

**Ubicación y Extensión:** La estructura elevada se extiende a lo largo de 1.8 km, comenzando a 200 metros de la intersección Montes Kelut y terminando frente al Centro Cultural Universitario Bicentenario.

**Materiales:** Construida con concreto reforzado y acero estructural de alta resistencia para garantizar durabilidad y capacidad de carga, así como concreto permeable a nivel de piso debido a la orografía de la zona, que corresponde a la cuenca del río.



Fig. 20. Detalle de las curvas de nivel en la zona.

**Dimensiones:** El viaducto tiene una altura media de 6 metros, con una anchura de 3.5 metros por carril. El ancho total varía según las necesidades de desincorporación y gasas.

**Gasas de Desincorporación:** Diseñadas para permitir las vueltas a la izquierda y derecha sin necesidad de detener el flujo de tráfico, estas gasas se integran de manera fluida en la estructura principal.

## 2.2. Secciones a Nivel de Piso

**Flujo Contrario:** El flujo de tráfico en sentido opuesto se mantiene a nivel del suelo, permitiendo vueltas a la derecha y a la izquierda sin interrupciones.

**Áreas de Entrecruzamiento:** Diseñadas para facilitar las maniobras de cambio de dirección, estas áreas permiten el cruce seguro y eficiente de vehículos.

**Paso Elevado Complementario:** Un único paso elevado de 200 metros sobre la intersección con Rocha Cordero asegura la eliminación de cruces a nivel en puntos críticos.

## 3. Innovaciones Técnicas

### 3.1. Eliminación de Cruces a Nivel

**Elevación Parcial:** La elevación de solo uno de los sentidos de circulación reduce la complejidad y el costo de construcción, manteniendo la eficiencia del flujo vehicular.

**Flujo Continuo:** La ausencia de semáforos y cruces a nivel permite un flujo vehicular ininterrumpido, mejorando significativamente la movilidad en la avenida principal.

### 3.2. Gasas de Desincorporación

**Diseño Geométrico:** Las gasas están diseñadas con radios de curvatura que permiten giros suaves y seguros a velocidades adecuadas, evitando la necesidad de detenerse.

**Integración con la Estructura Principal:** Las gasas se conectan directamente con la estructura elevada, minimizando el espacio necesario y optimizando el uso del terreno disponible.

### 3.3. Homologación de la Velocidad

**Velocidades homologadas:** El diseño y el empleo de señales empoderadas por inteligencia artificial asegura que los vehículos mantengan una velocidad constante y homologada, reduciendo las variaciones que suelen causar congestión.

**Control de Acceso:** Sistemas de control y señalización empoderada con inteligencia artificial regulan el acceso a la estructura elevada y las gasas, asegurando un flujo ordenado y seguro.

## 4. Aspectos Constructivos

### 4.1. Materiales y Técnicas de Construcción

**Concreto Reforzado y Acero Estructural:** Seleccionados por su alta resistencia y durabilidad, estos materiales garantizan la longevidad de la estructura.

**Concreto permeable:** Seleccionado para reducir las inundaciones y escorrentía superficial del área, así como la recarga de los niveles de agua subterránea.

**Métodos Constructivos:** Técnicas avanzadas de prefabricación y montaje en sitio para minimizar el tiempo de construcción y el impacto en el tráfico existente.

### 4.2. Impacto Ambiental y Medidas de Mitigación

**Reducción de Emisiones:** La mejora del flujo vehicular reduce significativamente las emisiones contaminantes.

**Uso de Materiales Sostenibles:** Preferencia por materiales reciclados y de bajo impacto ambiental.

**Minimización del Impacto Durante la Construcción:** Estrategias para reducir el ruido, polvo y la interrupción del tráfico durante las obras.

## **5. Evaluación del Rendimiento**

### **5.1. Registro en video de flujos y congestión**

El proyecto incluye el registro en video Drone de la situación de tráfico actual, un Time Lapse del proceso y finalmente evidencias del período de adaptación y aprendizaje por parte de los usuarios así como la mejora posterior en la circulación al término.

### **Simulación de Tráfico**

**Modelado de Escenarios:** Simulaciones detalladas para evaluar el rendimiento bajo diferentes condiciones de tráfico, antes y después de la intervención.

**Análisis de Resultados:** Evaluación de tiempos de viaje, capacidad de la vía, y reducción de congestión.

### **5.2. Monitoreo y Ajuste Continuo**

**Sistemas de Monitoreo:** Sensores y cámaras para el seguimiento continuo del flujo vehicular.

**Retroalimentación y Mejora:** Ajustes basados en datos reales para optimizar continuamente el desempeño del viaducto.

### **Plano del proyecto**



Fig. 21. Planta total del proyecto del Viaducto Asimétrico de flujo Continuo.



Fig. 22. Render completo del proyecto de Viaducto Asimétrico

**Sección Norte**

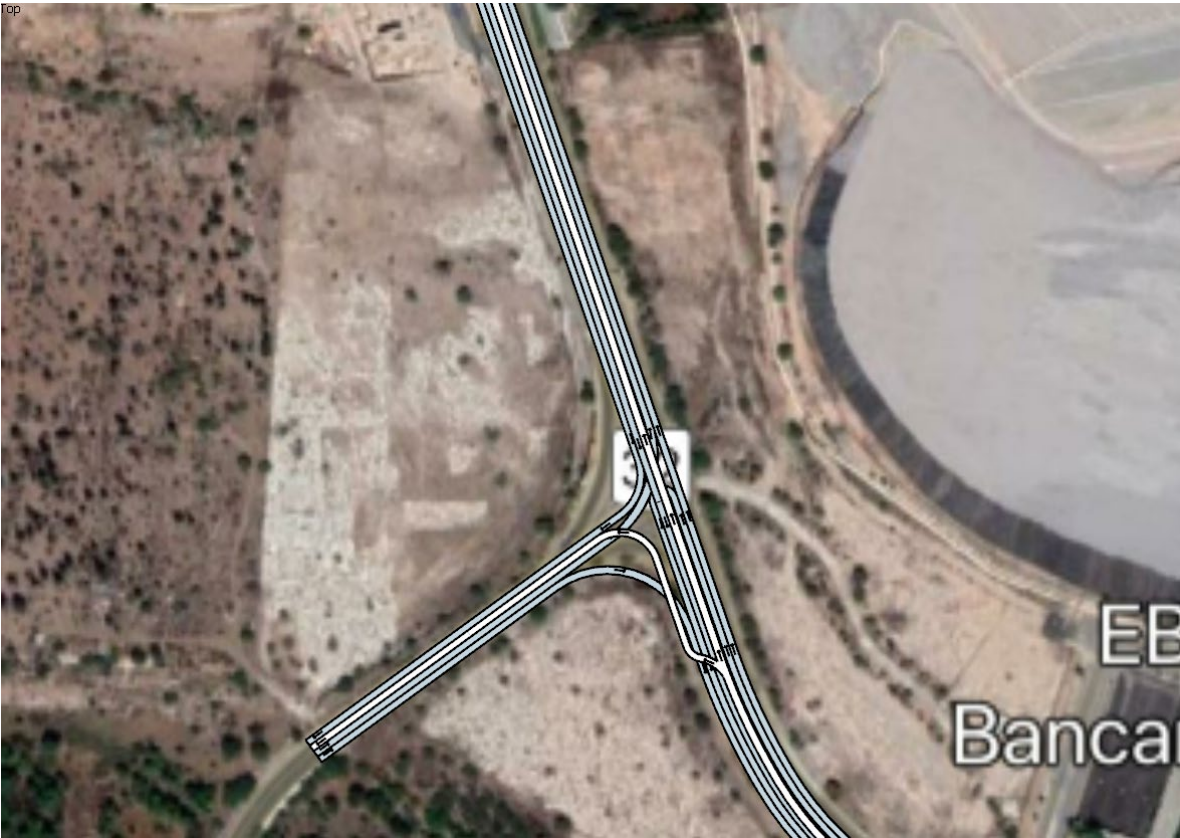


Fig. 23. Vista de la sección Norte.



Fig. 24. Detalle de la desincorporación al Periférico Occidente y paso elevado en el sentido contrario para permitir retorno de distribución.



Detalle del sentido opuesto del mismo nodo de distribución.

### Sección central



Fig. 25. Vista aérea de la Sección Central



Fig. 26. Vista de la intersección del Boulevard Río Santiago con la Vía principal.



Fig. 27 Detalle de la desincorporación a la derecha hacia el Boulevard Río de Santiago

**Sección Sur**



Fig. 28. Vista aérea de la Sección Sur



Fig. 29. Detalle de la desincorporación izquierda al Camino a la Presa de San José

## Referencias

### Libros:

AASHTO. (2018). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* (7th ed.). American Association of State Highway and Transportation Officials.

Garber, N. J., & Hoel, L. A. (2015). *Traffic & Highway Engineering* (5th ed.). Cengage Learning.

Mannering, F. L., Washburn, S. S., & Kilareski, W. P. (2012). *Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis* (5th ed.). Wiley.

### Artículos de revistas:

Hummer, J. E. (1998). Unconventional left-turn alternatives for urban and suburban arterials: Four-year review. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1612(1), 20-27. <https://doi.org/10.3141/1612-03>

Zeng, X., & Cassidy, M. J. (2002). Freeway traffic oscillations and vehicle lane-changing. *Transportation Research Part B: Methodological*, 36(6), 547-567. [https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(01\)00013-6](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(01)00013-6)

Ceylan, H., Nassif, H., Pulugurtha, S. S., Yang, X., Smadi, O., Papagiannakis, A. T., & Sheikh, A. (2021). *Sustainable Transportation Infrastructure: Research, Development, and Implementation*.

The Open Transportation Journal, 15(1), 1-6.

<https://opentransportationjournal.com/VOLUME/15/PAGE/1/FULLTEXT/>

### **Informes técnicos:**

Dirección General de Servicios Técnicos. (2018). Manual de proyecto geométrico de carreteras (3ª ed.). Ciudad de México, México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Dirección General de Servicios Técnicos SICT. (2023). Manual de señalización y dispositivos para el control del tránsito en calles y carreteras (1ª ed.). Ciudad de México: Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.

Federal Highway Administration (FHWA). (2017). Innovative Intersections and Interchanges: Informational Report (FHWA-SA-10-016). U.S. Department of Transportation. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/10016/10016.pdf>

Instituto Mexicano del Transporte. (1991). Manual de capacidad vial 1985. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Querétaro, México.

Transport Research Laboratory (TRL). (2011). The Role of Roundabouts in Traffic Management. UK Department for Transport.

### **Ponencias y conferencias:**

Al-Kaisy, A., & Freedman, M. (2011). Managing traffic flow in urban areas: The role of geometric design. In Proceedings of the 3rd International Conference on Road Safety and Traffic Management (pp. 45-57). Transportation Research Board.

Gross, F., & Chien, S. I. (2009). Evaluating the effectiveness of freeway lane management strategies. In Annual Meeting Compendium of Papers (pp. 109-121). Transportation Research Board.

Sitios web y bases de datos:

Transportation Research Board. (n.d.). Highway Capacity Manual (HCM) Resources. Retrieved August 19, 2024, from <https://www.trb.org/Main/Home.aspx>

U.S. Department of Transportation. (n.d.). Intelligent Transportation Systems. Retrieved August 19, 2024, from <https://www.its.dot.gov/>

**Tesis y disertaciones:**

Martinez, G., & Alderete, J. (2024). Pioneering Inclusive Urban Mobility: The Elysium Continuous Flow Road Interchange Revolution. International Road Federation (IRF)

Martinez, G., & Alderete, J. (2022). Sistema de ingeniería de flujo continuo. Revista Vías Terrestres, (75), enero-febrero. Órgano Oficial de la Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres A.C. Editorial.

Martinez, G., & Alderete, J. (2019). Sistema de ingeniería vial de flujo continuo. Congreso Mundial de Carreteras. PIARC

**Normas y regulaciones:**

Norma Mexicana NMX-AA-163-SCFI-2012. (2012). Norma Oficial Mexicana sobre Diseño Geométrico de Carreteras. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

American Society of Civil Engineers (ASCE). (2019). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-16). ASCE.