

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS
DE TRÁFICO CON EL ENFOQUE DE LA
METODOLOGÍA DE LA FEDERAL HIGHWAY
ADMINISTRATION (FHWA) Y SU IMPACTO EN LA
FUNCIONABILIDAD DEL INTERCAMBIO VIAL
ALIPIO PONCE, LIMA, 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Daniel Sánchez Tuesta

Asesor:

Ing. Jorge Luis Canta Honores
<https://orcid.org/0000-0002-9232-1359>

Lima - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Julio Christian Quesada Llanto	42831273
	Nombre y apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Alejandro Vildoso Flores	10712728
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Gerson Elias Vega Rivera	10390118
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

DEDICATORIA

Dedico la presente investigación a mi Madre y a mi Hermano por su apoyo incondicional y por los lazos de unidad de nuestra familia. Sus fortalezas me motivan a crecer profesionalmente y lograr todos mis objetivos que me propongo.

ÍNDICE GENERAL

JURADO EVALUADOR.....	2
DEDICATORIA	3
ÍNDICE GENERAL	4
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
ABSTRACT.....	8
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. Realidad problemática	9
1.2. Formulación del problema.....	21
1.3. Objetivos.....	22
CAPITULO II. MARCO METODOLÓGICO	24
2.1. Variables	24
2.2. Operacionalización de variables	24
2.3. Método de la investigación.....	25
2.4. Alcance de la Investigación	26
2.5. Diseño de la investigación	26
2.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	27
CAPITULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
CAPITULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	62
REFERENCIAS.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resultados comparativos en los diferentes escenarios.....	12
Tabla 2 Según propósito de viajes: Propósito Laboral	20
Tabla 3 Variables de Estudio en propuesta de hipótesis	24
Tabla 4 Operacionalización de Variables de la Investigación	25
Tabla 5 Demanda vehicular identificada en el área de análisis del intercambio vial Alipio Ponce.....	32
Tabla 6 Indicadores de desempeño escenario base vs escenario propuesto.	45
Tabla 7 Grado de congestión de acuerdo al HCM.....	47
Tabla 8 Nivel de servicio en función a la demora promedio en segundos.....	47
Tabla 9 Tabla de equivalencias UCP	48
Tabla 10 Demanda vehicular identificada en el área de análisis del intercambio vial Alipio Ponce.....	48
Tabla 11 Emisión de CO ₂ de autos por tipo de combustible.....	49
Tabla 12 Cálculo del impacto ambiental.....	49
Tabla 13 Niveles de ocupación vehicular	50
Tabla 14 Cantidad de pasajeros para modo de transporte por nivel asignado	50
Tabla 15 Valor social del Tiempo: Según propósito de viajes- Propósito Laboral	51
Tabla 16 Cálculo del impacto económico.....	51
Tabla 17	56
Tabla 18 Impacto de la congestión representado en Demoras.....	57
Tabla 19 Impacto ambiental representado en toneladas de CO ₂ /hr.....	59
Tabla 20 Impacto económico representado en soles/hr	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estación de peaje con cabinas de cobro mixta (manual y automáticas).....	14
Figura 2 Micro-Simulación Sistema de Peaje con Tecnología Mixta	14
Figura 3 Micro-Simulación Sistema de Peaje con Free Flow	15
Figura 4 Diagrama. El proceso analítico de microsimulación.....	18
Figura 5 Principales contaminantes emitidos por vehículos motorizados.....	19
Figura 6 Ficha para conteos vehiculares.....	28
Figura 7 Configuración vial del intercambio vial Alipio Ponce y sus ramales de enlace	29
Figura 8 Configuración vial del ramal de enlace – Intercambio vial Alipio Ponce.....	30
Figura 9 Vehículos sobreparan para acceder desde el ramal hacia la Av. Alipio Ponce.....	30
Figura 10 Tráiler bloquean el cruce al acceder desde el ramal hacia la Av. Alipio Ponce ..	31
Figura 11 Vías de cambio de velocidad – Vías de Deceleración.....	34
Figura 12 Vías de cambio de velocidad – Vías de Aceleración	35
Figura 13 Elementos de un ramal de enlace	35
Figura 14 Equilibrio de carriles de los ramales de enlace	37
Figura 15 Proceso analítico de microsimulación.....	42
Figura 16 Construcción del escenario actual, interfaz del software VISSIM.....	44
Figura 17 Comparación operación en VISSIM del escenario actual vs el propuesto.....	45
Figura 18 Mejoras en tiempos de viaje que genera el carril de aceleración	46
Figura 19 Configuración vial de intercambio Alipio Ponce	52
Figura 20 Elementos de un ramal de enlace de acuerdo al manual de Chile.....	53
Figura 21 Segmentos de vía del área de influencia de la investigación	58
Figura 22 Relación: aplicación de una herramienta de análisis de tráfico con la congestión vehicular.....	58
Figura 23 Relación: aplicación de una herramienta de análisis de tráfico con el impacto ambiental.....	60
Figura 24 Relación: aplicación de una herramienta de análisis de tráfico con el impacto económico.....	61

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar el impacto de la aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) en la funcionabilidad del intercambio vial Alipio Ponce. La metodología de la investigación considera como punto de partida el diagnóstico de la problemática operacional del citado intercambio vial y la revisión de la literatura especializada, haciendo un análisis a profundidad sobre los Manuales de Carreteras del Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú y el Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas de Chile, aterrizado los criterios de diseño se definió la propuesta de solución vial, el diseño de esta propuesta fue ajustada y validada mediante la aplicación de una herramienta de análisis de tráfico (VISSIM), mediante la cual se determinaron sus indicadores de desempeño y contrastaron con los indicadores de desempeño del escenario actual.

De la revisión de la literatura especializada se evidenció que el Manual de Carreteras de Perú (versión 2018) carece de algunos parámetros de diseño de ramales de enlace, en comparación a Manuales como el de Chile. Es por ello a pesar de que el ramal de enlace del intercambio vial Alipio Ponce cumple con las exigencias del Manual del Perú; sin embargo, presenta problemas de funcionalidad vial.

De acuerdo a los resultados de la aplicación de la herramienta de análisis de tráfico “visisim”, al incorporar un carril de cambio de velocidad al ramal de enlace en el empalme con la Av. Alipio Ponce, este carril evita la formación de colas sobre el ramal de enlace y optimiza el tiempo de viaje, se comprobó que existe un impacto positivo sobre el ramal de enlace, en la congestión vehicular las demoras se reducen en un 36%, las emisiones disminuyen en 3.6 toneladas de CO₂ en la hora de mayor demanda vehicular (de 42.9 tn/CO₂-hp a 39.3 tn/CO₂-hp), y debido al ahorro de tiempo de viaje las pérdidas de horas hombre disminuyen y por lo tanto, también el impacto económico en S/ 4,290 soles en la hora de mayor demanda vehicular (de S/ 5,482 soles/hp a S/ 1,192 soles/hp).

Palabras Clave: Herramientas de análisis de tráfico, congestión vehicular, impacto ambiental, impacto económico.

ABSTRACT

The objective of this research is to determine the impact of the application of traffic analysis tools based on the Federal Highway Administration (FHWA) methodology on the operability of the Alipio Ponce interchange. The research methodology considers as a starting point the diagnosis of the operational problems of the aforementioned road interchange and the review of specialized literature, making an in-depth analysis of the Highway Manuals of the Ministry of Transportation and Communications of Peru and the Highway Manual of the Ministry of Public Works of Chile, The design of this proposal was adjusted and validated through the application of a traffic analysis tool (VISSIM), by means of which its performance indicators were determined and contrasted with the performance indicators of the current scenario.

From the review of the specialized literature, it became evident that the Peruvian Highway Manual (2018 version) lacks some design parameters for link branches, compared to Manuals such as the Chilean one. This is why, despite the fact that the Alipio Ponce interchange branch road complies with the requirements of the Peruvian Manual; however, it presents road functionality problems.

According to the results of the application of the "visisim" traffic analysis tool, by incorporating a speed change lane to the interchange branch at the junction with Alipio Ponce Avenue, this lane avoids the formation of queues on the interchange branch and optimizes travel time, it was found that there is a positive impact on the interchange branch, in vehicle congestion, delays are reduced by 36%, emissions are reduced by 3.6 tons of CO₂ in the hour of highest vehicle demand (from 42.9 tn/CO₂-hp to 39.3 tn/CO₂-hp), and due to the savings in travel time, man-hour losses decrease and therefore, also the economic impact in S/ 4,290 soles in the hour of highest vehicle demand (from S/ 5,482 soles/hp to S/ 1,192 soles/hp).

Key words: Traffic analysis tools, traffic congestion, environmental impact, economic impact.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La relevancia del diseño geométrico de algunos ramales de enlace tiene una configuración que permite que estos se encausen sin generar conflictos operacionales a la vía de mayor tránsito; en Sao Paulo - Brasil el ramal de enlace de la Carretera Rodovia Raposo Talavares con el Viaducto Rodovia Raposo Talavares está compuesto por un carril en sus brazos y cuenta con un carril de aceleración de entrada a la vía principal tipo paralelo que permite el encausamiento evitando generar interferencias con la vía principal; en Santiago – Chile el ramal de enlace de la Carretera Costanera Norte con el Viaducto la Dehesa está compuesto por 2 carriles en sus brazos, pero para entrar a la vía principal se reduce en un carril, dando lugar a un carril de aceleración tipo paralelo; los dos carriles de los brazos cumplen la función de almacenar el volumen vehicular y facilitar las maniobras de vehículos de grandes dimensiones (Google Earth, 2022).

En Perú y específicamente en Lima Metropolitana, algunos ramales de enlace de los intercambios viales como es el caso específico del intercambio vial Alipio Ponce, su configuración geométrica es distinto a los diseños del ámbito internacional, este intercambio vial cuenta, con dos ramales de enlace, en ese sentido, en la presente investigación se analizará uno de estos, puesto que tienen la misma configuración de diseño. El brazo del ramal cuenta con un carril y la salida cuenta con dos carriles los cuales confluyen abruptamente en la vía principal, esto incita a que los vehículos que ingresan deben de sobreparar mirar hacia la izquierda y acceder a la Av. Alipio Ponce cediendo el paso a los vehículos que se dirigen por esta avenida (Fairlie, 2016).

De acuerdo a la revisión de la literatura especializada se evidencia que el Manual de Carreteras del Perú (Ministerio de Transporte y Comunicaciones - MTC, 2018), no hace precisiones ni exigencias respecto al número de carriles de salida; sin embargo, el Manual de Carreteras de Chile (Ministerio de Obras Públicas, 2020), precisa que un ramal de salida debe de ser de un carril; además, este manual indica que para validar el diseño vial del ramal es importante utilizar herramientas de análisis de tráfico, las cuales permitan elegir la mejor solución vial de acuerdo a las necesidades operacionales actuales y tendientes en el futuro. Este vacío del Manual del MTC a la larga genera efectos que alteran la funcionalidad vial

traduciéndose en mayor congestión vehicular, mayor índice de contaminación ambiental y mayor pérdidas de horas hombre, lo cual afecta directamente a los usuarios que a diario utilizan esta vialidad

Si bien estos elementos viales antes de ser construidos pasan por diferentes etapas, desde estudios básicos hasta estudios definitivos muchos de ellos cumpliendo las exigencias técnicas y normativas; sin embargo, muchos de estos fallan funcionalmente y no atienden las necesidades operacionales de la demanda vehicular que las utiliza. Es por ello que, en países desarrollados adicional al cumplimiento de las exigencias técnicas y normativas, cuando se desarrollan los estudios básico y definitivos, para validar los diseños propuestos se utilizan herramientas de análisis de tráfico (softwares de microsimulación), donde se analizan diferentes alternativas de diseño con los flujos vehiculares proyectados a diferentes horizontes temporales (escenario actual, corto, mediano y largo plazo), con la finalidad de analizar el comportamiento operacional de la infraestructura vial y a partir de los resultados de estos análisis se realizan ajustes a los diseños, obteniendo un diseño capaz de atender las necesidades de la demanda vehicular.

De acuerdo a la Federal Highway Administration del departamento de Transportes de los EEUU, (FHWA, 2019) estas herramientas de análisis de tráfico son software de microsimulación, modelan los movimientos de vehículos individuales con el fin de evaluar el rendimiento del tráfico de los sistemas de vías, el tránsito y los peatones. Los análisis de microsimulación son cada vez más visibles e importantes, fomentados tanto por la evolución continua de la capacidad del software de microsimulación como por la creciente aplicación dentro de las prácticas de ingeniería y planificación del transporte. En el ámbito internacional estas herramientas vienen siendo utilizadas ampliamente; sin embargo, en el ámbito local su uso es limitado, no es una exigencia contenida en el Manual de diseño de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el uso de estas herramientas queda a criterio del planificador y diseñador vial.

En esa línea de ideas esta investigación aterrizará ampliamente los elementos que conforman a un ramal de enlace y recomendaciones de diseño a partir de revisar y analizar el contenido de la literatura especializada, asimismo mediante el uso de una herramienta de análisis de tráfico se esbozara una alternativa de solución que permita mejorar la funcionalidad

vial del ramal de enlace del intercambio vial Alipio Ponce, ello con el fin de determinar el impacto de la aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA).

El uso de estas pautas ayudará en la aplicación consistente y reproducible de modelos de microsimulación. También están destinados a respaldar aún más la precisión y la credibilidad de los análisis que utilizan estas herramientas. Como resultado, los profesionales y los responsables de la toma de decisiones estarán equipados para tomar decisiones informadas que tendrán en cuenta la tecnología actual y en evolución (FHWA).

1.1.1. Referencias

Las herramientas de análisis de tráfico se vienen empleando e investigando en diferentes proyectos viales a continuación se citan algunas de estos:

1.1.1.1. Antecedentes internacionales. El Área de Estudios del Transporte del LEMaC1 de Argentina, realizó en el 2011 una investigación de nombre “Análisis a partir de micro-simulación de tránsito de retomes en vías multicarril en Buenos Aires”, el análisis se realizó utilizando la herramienta de micro-simulación VISSIM.

Para esta investigación se establecieron dos escenarios: (i) Escenario actual (retome simple existente) y (ii) Escenario con proyecto (retome proyectado con adecuados carriles de aceleración y desaceleración).

La metodología de análisis consistió en efectuar múltiples corridas para diferentes demandas de tránsito sobre los dos escenarios, con el fin de relacionar por comparación directa los costos, beneficios estimados y valores de demanda, si los resultados justifican intervenir sobre el área de estudio.

Los resultados obtenidos mediante el análisis con una herramienta de tráfico de los escenarios sin proyecto y con proyecto, la investigación concluyo:

¹ Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata

(i) Demoler un retome existente típico sobre una autovía que no cumple con las características geométricas para luego construir un retome que sí las cumpla no resulta justificable para volúmenes de tránsito bajos a intermedios. (ii) Demoler un retome existente sería válido para volúmenes altos sobre la autovía o para volúmenes intermedios en la autovía y sobre la calle de acceso, y cuando no exista espacio para desarrollar una intersección a distinto nivel. (iii) Elegir entre realizar un retome simple tradicional o el retome proyectado, salvo para bajos volúmenes de tránsito, siempre resultará más económico realizar un retome proyectado cumpliendo los parámetros técnicos de diseño.

(Ipus Gaviria, 2016). Desarrolló la investigación con nombre “Evaluación técnica mediante procesos de microsimulación en tres intersecciones en Montería, Córdoba - Colombia”, con la finalidad de definir cuál de las alternativas de solución vial atiende mejor las necesidades de tránsito, para lo cual levanto información de campo respecto a volúmenes vehiculares y las características geométricas de las intersecciones en estudio, luego fueron ingresadas en el software de microsimulación “Aimsun”, este permite a partir de las condiciones de operación de las principales vías, obtener indicadores tales como velocidad, demoras y niveles de servicio con el fin de analizar las condiciones con y sin proyecto. A partir de los datos de campo de las intersecciones que componen el área de influencia de la red evaluada, se construyeron los modelos de los 4 escenarios a evaluar: (i) Escenario 0: Situación actual. (ii) Escenario 1: Intersecciones sin semáforos. (iii) Escenario 2: Intersecciones tipo glorieta. (iv) Escenario 3: Intersecciones con pasos a desnivel. Los resultados obtenidos con la herramienta de microsimulación se muestran la Tabla 1.

Tabla 1

Resultados comparativos en los diferentes escenarios

Escenarios	Cola Media (veh)	Flujo Evaluado (veh/hora)	Tiempo de viaje (seg/km)	Tempo de demora (seg/km)
Escenario 0	38.61	6050	240.06	166.14
Escenario 1	41.3	6058	263.34	190.52
Escenario 2	11.13	5446	135.52	60.57
Escenario 3	0.29	6563	72	4.86

Nota: Evaluación técnica mediante procesos de microsimulación en tres intersecciones en Montería, Córdoba - Colombia

De los indicadores de desempeño mostrados en la tabla se puede evidenciar que el escenario con mejores condiciones de operación es el escenario de construcción de pasos a desnivel en las intersecciones, dado que los tiempos de demoras, los tiempos de viajes y demás indicadores de tránsito son los más favorables.

(Pesántez Jiménez, 2014). Desarrolló la investigación “Propuesta para la implementación de estaciones de peaje en el proyecto ruta viva (vía de integración de los valles) y conexión al nuevo aeropuerto de Quito”, el objetivo fue analizar la implementación de estaciones de peaje con la finalidad que permita costear la operación y mantenimiento de tal infraestructura; para alcanzar tal objetivo se construyeron modelos de microsimulación en el Software VISSIM donde se evaluó el flujo del tráfico vehicular el cual permita definir la ubicación más adecuada de las estaciones de peaje y proponer el tipo de tecnología que integre adecuadamente el tráfico a las cabinas de peaje.

Se modelaron dos escenarios, el escenario existente de Sistema de Peajes con Tecnología Mixta y el escenario con Sistema de Peaje con Free Flow, para ambos escenarios se hicieron cortes de evaluación asignando volúmenes vehiculares proyectados para los años horizontes 2015 (año base), 2020, 2025 y 2030 (año de cierre).

a) Micro-simulación del sistema de peaje con tecnología mixta

Para el análisis en las estaciones de peaje con tecnología mixta (manual – automática) se consideró 5 cabinas de peaje por sentido de tránsito (Quito – Tababela, Tababela – Quito), 3 cabinas manuales y 2 cabinas automáticas por sentido dando un total de 10 cabinas (6 cabinas manuales y 4 automáticas).

Figura 1

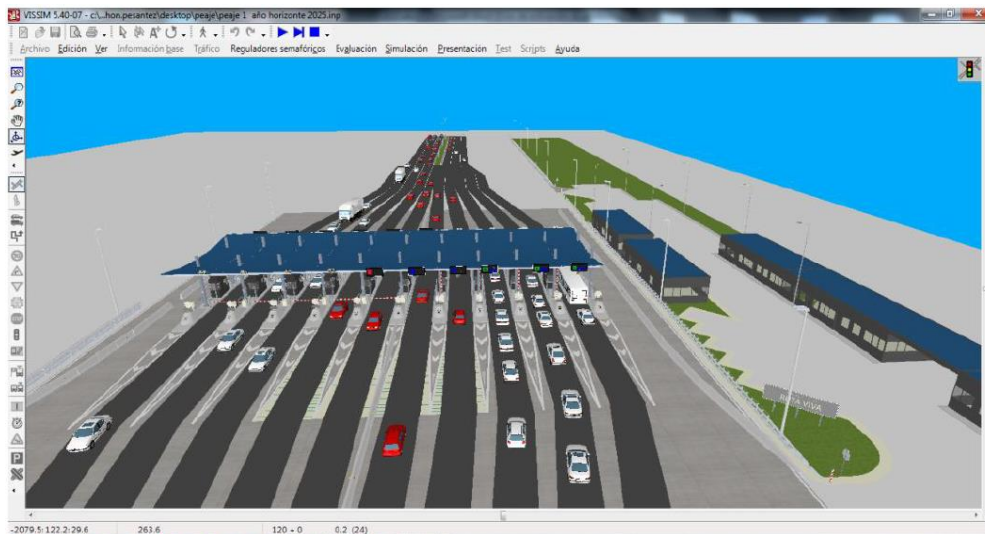
Estación de peaje con cabinas de cobro mixta (manual y automáticas)



Nota: Propuesta para la implementación de estaciones de peaje en el proyecto ruta viva (vía de integración de los valles) y conexión al nuevo aeropuerto de Quito

Figura 2

Micro-Simulación Sistema de Peaje con Tecnología Mixta



Nota: Propuesta para la implementación de estaciones de peaje en el proyecto ruta viva (vía de integración de los valles) y conexión al nuevo aeropuerto de Quito

b) Micro-simulación del sistema de peaje con free flow

Para el análisis del sistema de peaje con tecnología Free Flow se microsimuló un pórtico, con ello se pudo determinar que los vehículos no tienen ningún tipo de restricción en cuanto

a tiempos de espera ya que circulan a flujo libre, la capacidad de detección de los pódicos con esta tecnología fue de 1800 a 2200 vehículos por hora.

Figura 3

Micro-Simulación Sistema de Peaje con Free Flow



Nota: Propuesta para la implementación de estaciones de peaje en el proyecto ruta viva (vía de integración de los valles) y conexión al nuevo aeropuerto de Quito

Los resultados de la investigación arrojaron que con el sistema de peajes con Free Flow se logra mayor fluidez vehicular, se eliminan los tiempos de espera, se optimiza el control vehicular maximizando el recaudo y minimizando las fugas vehiculares.

1.1.1.2. Referencias nacionales. (Alarcón Vásquez & Sandoval Torres, 2021) Desarrollaron la investigación “Diseño geométrico de un intercambio vial a desnivel en la intersección de la avenida Víctor Raúl Haya de la Torre y la avenida Fitzcarrald”, se analizaron tres propuestas de diseño: (i) Escenario 0: Situación actual (intersección a nivel en cruz), (ii) Escenario 1: Diseño de una rotonda, (iii) Escenario 2: Diseño de una rotonda + un paso a desnivel elevado.

Estos escenarios fueron modelados y analizados en la herramienta de microsimulación vissim, se realizaron varias corridas de las cuales se obtuvieron los indicadores de desempeño, estos indicadores evidencian que la propuesta de diseño de una rotonda más un intercambio vial a desnivel elimina los conflictos generados por los movimientos de ambas vías, mejorando el flujo vehicular de la Av. Víctor Raúl Haya de la Torre (paso elevado), con este

diseño las demoras se reducen exponencialmente y la velocidad comercial mejora drásticamente.

1.1.2. Herramientas de análisis de tráfico

La FHWA establece que la microsimulación es el modelado de movimientos de vehículos individuales con el fin de evaluar el rendimiento del tráfico de los sistemas de carreteras y calles, el tránsito y los peatones. Los análisis de microsimulación son cada vez más visibles e importantes, fomentados tanto por la evolución continua de la capacidad del software de microsimulación como por la creciente aplicación dentro de las prácticas de ingeniería y planificación del transporte. Es importante que los profesionales y los responsables de la toma de decisiones estén equipados para tomar decisiones informadas teniendo en cuenta la tecnología actual y en evolución. Debemos de alejarnos de las prácticas obsoletas que se desarrollaron en un pasado relativamente pobre en datos dependientes del análisis de promedios o la suposición de que siempre prevalecen condiciones "normales" poco realistas.

1.1.2.1. Principios rectores de la microsimulación

Por otro lado, la FHWA establece que la microsimulación puede proporcionar al ingeniero proyectista información valiosa sobre el rendimiento del sistema de transporte existente y las posibles mejoras. La clave para planificar y realizar un análisis de microsimulación efectivo y rentable gira en torno a un conjunto de principios rectores: (i) Asegurarse de que el análisis tenga un objetivo claro, hipótesis y medidas de desempeño bien definidas. (ii) Seleccione una herramienta apropiada. El uso de la herramienta adecuada es esencial. No se debe de utilizar el análisis de microsimulación cuando no sea apropiado. Es importante entender las limitaciones de la herramienta y asegúrese de que represente con precisión la teoría de las operaciones de tráfico. (iii) Presupuesto suficientes recursos analíticos y tiempo. No se debe utilizar la microsimulación si no se dispone de suficiente presupuesto o calendario (tiempo para llevar a cabo). Un análisis apresurado o con recursos insuficientes puede generar conclusiones erróneas y provocar una pérdida de credibilidad en los análisis de simulación en general. (iv) Obtener suficientes datos disponibles. En particular, los buenos datos son fundamentales para obtener buenos resultados del modelo de microsimulación. El modelado sin datos suficientes para determinar las condiciones

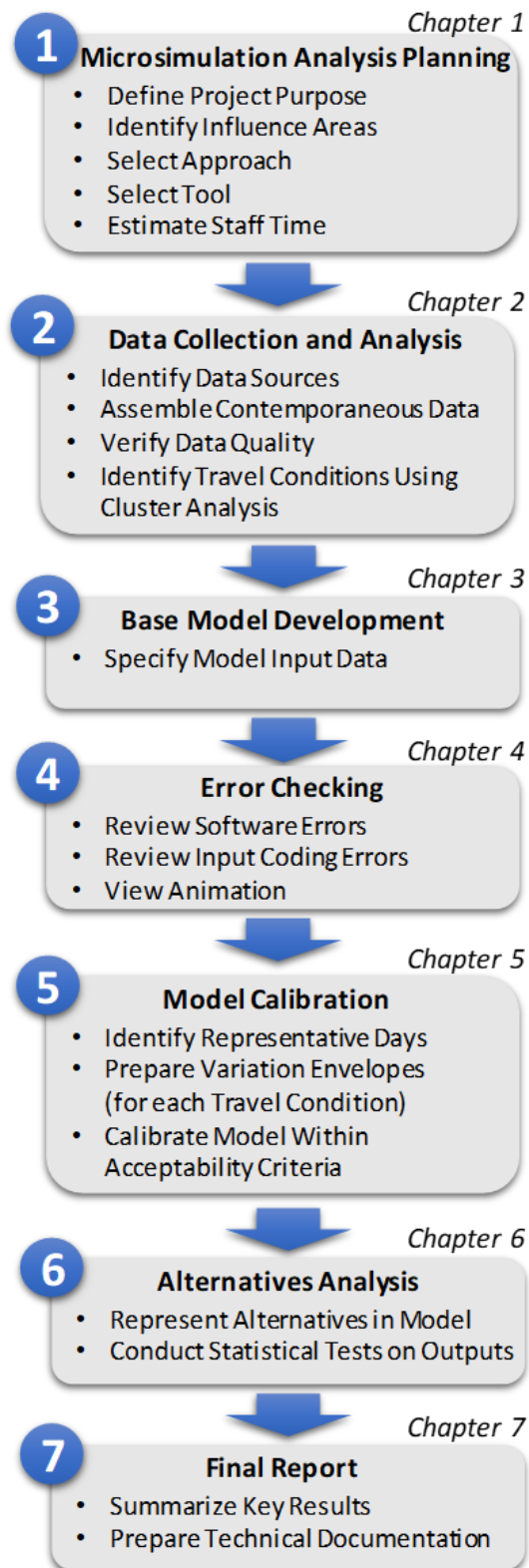
operativas o para calibrar de manera efectiva puede ser riesgoso, lo que genera conclusiones erróneas y conduce a una pérdida de credibilidad. (v) Uso de un modelo que esté calibrado específicamente para el propósito del estudio. Es fundamental que el analista calibre cualquier modelo de microsimulación según las condiciones locales y las condiciones de viaje predominantes. No calibrar suficientemente un modelo puede llevar a un análisis de alternativas erróneo y puede ser perjudicial para la gestión eficaz de los sistemas de transporte. (vi) Involucrar a las partes interesadas desde el principio y con frecuencia durante todo el proceso. Para minimizar los desacuerdos entre los involucrados, es importante incorporar revisiones periódicas provisionales en hitos prudentes en los procesos de desarrollo y calibración del modelo.

1.1.2.2. Aplicación de la microsimulación de tránsito con enfoque de la FHWA

El proceso general para desarrollar y aplicar un modelo de microsimulación a un problema de análisis de transporte específico consta de siete tareas principales. Cada tarea se resume a continuación y se describe con más detalle en las páginas siguientes. En la Figura 4 se presenta un diagrama de flujo que complementa el proceso general.

Figura 4

Diagrama. El proceso analítico de microsimulación



Nota: Rescatado del documento de análisis de herramientas de tráfico de la FHWA

1.1.3. Congestión y contaminación ambiental

(CEPAL, 2013). La congestión vehicular y la contaminación atmosférica son dos grandes problemas que aquejan a las ciudades modernas, especialmente en países en desarrollo. Ambos problemas tienen causas comunes. La congestión se produce por la operación de vehículos motorizados en calles y avenidas de capacidad limitada. La contaminación se produce porque las emisiones contaminantes, de las que los vehículos son responsables en una fracción importante, sobrepasan la capacidad de absorción y dilución de la cuenca en que se ubica la ciudad.

1.1.3.1. Tipos de contaminantes emitidos por los vehículos

Los vehículos motorizados son una de las principales fuentes de contaminantes atmosféricos en las grandes ciudades. Los vehículos motorizados propulsados por motores de combustión interna producen en general tres tipos de emisiones contaminantes: las emisiones por el tubo de escape, las evaporativas, y el levantamiento de polvo de las calles.

Figura 5

Principales contaminantes emitidos por vehículos motorizados

Tipo de emisión	Contaminantes primarios emitidos a la atmósfera
Por tubo de escape	CO, NO _x , SO ₂ , HC, Pb (caso gasolinas con plomo), NH ₃ (especialmente vehículos de gasolina con convertidor catalítico), CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, MP (sólo vehículos diesel)
Evaporativas	HC (hidrocarburos)
Levantamiento de polvo de calles	Polvo de calles (material de la corteza terrestre, más contaminantes depositados en ella)

Fuente: Elaboración propia.

CO = Monóxido de carbono; NO_x = Óxidos nítricos; SO₂ = Dióxido de azufre;
 HC = Hidrocarburos; Pb = Plomo; NH₃ = Amoníaco; CO₂ = Dióxido de carbono;
 CH₄ = Metano; N₂O = Óxido nitroso; MP = Material particulado.

Nota: obtenida del documento congestión de tránsito el problema y cómo afrontarlo, la CEPAL, 2013

1.1.4. Afectación económica

(Ministerio de Economía y Finanzas, 2021), El Valor Social Del Tiempo (VST): Este parámetro permite incorporar en la evaluación social de un proyecto de inversión la valoración (medición monetaria) que la sociedad atribuye al ahorro de tiempo que se obtiene en la

situación con proyecto de inversión. El VST es un parámetro imprescindible al momento de la estimación de beneficios netos de toda evaluación social de proyectos de inversión de transporte, debido a que el tiempo utilizado en transporte implica un costo de oportunidad para las personas al emplear el recurso en trasladarse y dejar de realizar otras actividades.

VST: según propósito de viajes

En la evaluación social de PI en los que se considere como parte de los beneficios del PI ahorros de tiempo de usuarios, se calculan dichos beneficios considerando los siguientes valores del tiempo, según propósito, ámbito geográfico y nivel socioeconómico:

Tabla 2

Según propósito de viajes: Propósito Laboral

<i>Área</i>	<i>Valor del Tiempo (soles/hora pasajero)</i>
<i>Urbano</i>	<i>6.81</i>
<i>Rural</i>	<i>4.56</i>

Nota: Obtenido de CIUP, 2012.

1.2. Justificación Teórica

Con la presente investigación se busca cerrar la brecha de conocimiento de los métodos asociados a la funcionabilidad de las herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la Metodología Federal Highway Administration (FHWA) en las infraestructuras viales específicamente de los ramales de enlace, lo cual aún no se encuentra investigado y atiende a una de las recomendaciones de investigaciones previas, “Adicionalmente, se debe buscar incentivar la investigación en el uso de nuevas metodologías de aplicación de soluciones de tránsito bajo los parámetros de normas americanas o europeas”. (Hernandez Rodriguez & Leon Vallejo, 2021). Los resultados de la presente investigación podrán sistematizarse en una propuesta, para ser incorporado como conocimiento a las ciencias de la ingeniería vial, ya que se estaría demostrando que la aplicación de las herramientas de análisis de tráfico en la validación de una alternativa de solución vial mejora su funcionalidad.

Importancia de la investigación:

Esta investigación evaluará el ramal de enlace del intercambio vial Alipio Ponce, donde debido a su configuración vial genera problemas operacionales originando congestión vehicular, efectos ambientales y efectos socio económicos. A partir del análisis de los manuales especializados en ramales de enlace se evaluarán diferentes diseños y para elegir la mejor solución vial se utilizará una herramienta de análisis de tráfico. Ello con la finalidad de reducir los impactos que se viene generado y así mejorar la calidad de vida de las personas que a diario utilizan dicha vialidad.

1.3. Formulación del problema

A través de la presente investigación se aborda la problemática antes detallada para responder las siguientes interrogantes:

1.3.1. Problema principal

¿De qué manera impacta la aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la Metodología Federal Highway Administration (FHWA) en la funcionabilidad del Intercambio Vial Alipio Ponce, lima, 2021?

1.3.2. Problemas secundarios

- ¿De qué manera impacta la aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) en la congestión vehicular del intercambio vial Alipio Ponce, Lima, 2021?
- ¿De qué manera impacta la aplicación de Herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) en el aspecto ambiental del intercambio vial Alipio Ponce, Lima, 2021?
- ¿De qué manera impacta la aplicación de Herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) en el aspecto económico del intercambio vial Alipio Ponce, Lima, 2021?

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo general*

Determinar el impacto de la aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) en la funcionabilidad del intercambio vial Alipio Ponce, Lima, 2021

1.4.2. *Objetivos específicos*

- Determinar el impacto de la aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) en la congestión vehicular del intercambio vial Alipio Ponce, Lima, 2021
- Determinar el impacto de la aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) en el aspecto ambiental del intercambio vial Alipio Ponce, Lima, 2021
- Determinar el impacto de la aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) en el aspecto económico del intercambio vial Alipio Ponce, Lima, 2021

1.5. Hipótesis

1.5.1. *Hipótesis General*

La aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) si impacta en la funcionabilidad del intercambio vial Alipio Ponce, Lima, 2021

1.5.2. *Hipótesis Específica*

Ha: La aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la Metodología Federal Highway Administration (FHWA) si impacta en la congestión vehicular.

Ho: La aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la Metodología Federal Highway Administration (FHWA) no impacta en la congestión vehicular.

Ha: La aplicación de Herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) si impacta en el aspecto ambiental.

Ho: La aplicación de Herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) no impacta en el aspecto ambiental.

Ha: La aplicación de Herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) si impacta en el aspecto económico.

Ho: La aplicación de Herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) no impacta en el aspecto económico.

CAPITULO II. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Variables

A continuación, se presentan las variables de la presente investigación:

2.1.1. Variable independiente

Aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la Metodología Federal Highway Administration (FHWA)

2.1.2. Variable dependiente

Funcionalidad Vial

Tabla 3

Variables de Estudio en propuesta de hipótesis

Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidades
Aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la Metodología Federal Highway Administration (FHWA)	Software de microsimulación	- Nivel de servicio	- De “A” a “F”
	PTV Vissim	- Demoras - Colas	- Segundos - Km
Funcionalidad Vial	Congestión vehicular	- Velocidad	- Km/h
		- Flujo	- Veh/hr.
	Contaminación ambiental	Emisión de CO2	Toneladas
Afectación económica	Perdidas horas hombre	Soles	

2.2. Operacionalización de variables

En el presente trabajo se pretende determinar el grado de influencia que tiene la variable: **Aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la Metodología Federal Highway Administration (FHWA)** respecto a la variable: **Funcionalidad Vial** (estado de funcional de una infraestructura vial), en la siguiente tabla se detalla la operacionalización de estas variables.

Tabla 4

Operacionalización de Variables de la Investigación

Hipótesis	Descripción de variables	
Hipótesis general	V.I (V1)	V.D (V2)
La aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) si impacta en la funcionabilidad del intercambio vial Alipio Ponce, Lima, 2021	Aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la Metodología Federal Highway Administration (FHWA)	Funcionalidad Vial
Hipótesis Específicas:		
Hipótesis Especifica 1	V1	D1XV2
La aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la Metodología Federal Highway Administration (FHWA) si impacta en la congestión vehicular.	Aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la Metodología Federal Highway Administration (FHWA)	Congestión vehicular
Hipótesis Especifica 2	V1	D2XV2
La aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la Metodología Federal Highway Administration (FHWA) si impacta en el aspecto ambiental.	Aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la Metodología Federal Highway Administration (FHWA)	Contaminación ambiental
Hipótesis Especifica 3	V1	D3XV2
La aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la Metodología Federal Highway Administration (FHWA) si impacta en el aspecto económico.	Aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la Metodología Federal Highway Administration (FHWA)	Afectación económica

2.3. Método de la investigación

- **Según el método:** La presente investigación es “**Deductivo**”, dado que, del análisis de la congestión vehicular en el caso de estudio, mediante la aplicación de las herramientas de microsimulación, se determinará su relación, la cual de poseer relevancia y compatibilidad podrá ser estandarizada para otras infraestructuras viales. Según Sampieri R. et al (2004), el enfoque cuantitativo se fundamenta en un esquema deductivo y lógico que busca formular preguntas de investigación e hipótesis para posteriormente probarlas.

- **Según la orientación:** La presente investigación es tipo “**Aplicada**”, dado que, a partir de la revisión bibliográfica, se busca resolver problemas o vacíos relacionados a los parámetros técnicos de diseño vial que generan congestión vehicular en los casos de estudio. Para Hernández Sampieri, R., et al (2006), una investigación aplicada busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo.
- **Según el enfoque:** La presente investigación es “**Cuantitativo**”, dado que, del análisis y medición de las variables de microsimulación de tránsito y congestión vehicular en los dos casos de estudio, se arribará a conclusiones con resultados cuantitativos (datos numéricos).

2.4. Alcance de la Investigación

- **En función al marco teórico:** La presente investigación es de tipo “**Descriptivo**”, dado que, para su desarrollo se utilizará como antecedentes teóricos otros proyectos de investigación, tesis y manuales de diseño vial internacional.
- nivel “**Correlacional**”, puesto que, para establecer el análisis de influencia de las herramientas de microsimulación de tránsito en la congestión vehicular de los casos de estudio, se realizará un análisis estadístico con los indicadores de desempeño (colas, demoras y velocidades). Además, se presentarán gráficos estadísticos tales como regresiones y correlaciones.

2.5. Diseño de la investigación

- **Según el propósito del estudio:** La presente investigación posee un diseño de investigación “**No Experimental**”, ya que las variables tales como: microsimulación de tránsito y congestión vehicular en los dos casos de estudio, se estudiarán tal como se encuentran en la realidad, sin ninguna manipulación o alteración.
- **Según el número de mediciones:** La presente investigación posee un diseño de investigación “**Transversal**”, dado que la medición de los datos a recoger de campo de los dos casos de estudio se realizará solo una vez durante el presente año en curso 2022.

- **Según la cronología de observaciones:** La presente investigación posee un diseño de investigación “**Prospectivo**”, dado que los datos a recoger de campo de los dos casos de estudio se tomarán cronológicamente del futuro.
- **Estudio de diseño:** La presente investigación posee un diseño de investigación “**Estudio Caso Control:**”, puesto que se determinará y analizará la relación entre grupos de control de las variables de estudio, tales como: microsimulación de tránsito y congestión vehicular en el caso de estudio.

2.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.6.1. Técnicas:

Las principales técnicas empleadas en la investigación son:

Observación directa: Se recabo información del comportamiento operacional y de las características físicas de la infraestructura vial en estudio. (i) Geometría vial: Se hicieron las mediciones de los elementos de la geometría vial de los componentes de estudio (sección vial, anchos de carril, otros). (ii) Aforos vehiculares: Se realizaron conteos vehiculares en un día típico en las horas punta de la mañana (horas de mayor demanda vehicular) con la finalidad de conocer la demanda vehicular, su composición y su variación horaria. (iii) Tiempos de viaje: Se realizaron mediciones de tiempos de viaje, se llevaron a cabo durante la hora punta, a través de la técnica de vehículo flotante. (iv) Longitud de cola: Se midieron las longitudes de cola en campo, asimismo se realizaron filmaciones para conocer sus fluctuaciones y tiempo de despeje.

Revisión documental: Principalmente se revisó el manual de carreteras de Perú, el manual de carreteras de Chile y el documento Traffic Analysis Toolbox Volumen III² de la Administración Federal de Carreteras del Departamento de Transporte de los EEUU.

Internet: Para localizar las investigaciones relacionadas con el tema y variables de la investigación se revisó portales web en repositorios académicos de universidades nacionales y extranjeras.

² Directrices para la aplicación del software de modelado de microsimulación de tráfico - Actualización de 2019

2.6.2. Instrumentos:

Los principales instrumentos que se aplicaron en las técnicas son: (i) Cámara fotográfica: Se utilizó para hacer capturas y filmaciones respecto a las condiciones físicas y operacionales. (ii) Instrumentos de medición. (iii) Fichas: Se utilizaron fichas para hacer conteos de tráfico (ver siguiente figura).

Los conteos vehiculares fueron diferenciados en transporte menor, transporte privado, transporte público, transporte pesado, transporte interprovincial y transporte no motorizado considerando los siguientes tipos de vehículos: (Autos, Ómnibus, Microbús, Camioneta rural, Moto lineal, Mototaxi, Bicicleta, Camión, Tráiler, Bus interprovincial)

Figura 6

Ficha para conteos vehiculares

HORA / MOY.	AUTO	MOTOLINEAL	OMNIBUS	MICROBUS	CAMIONETA RURAL	BUS INTER.	CAMION	TRAILER	MOTOTAXI	BICICLETA

PROCEDIMIENTO

Desarrollo del objetivo general, respecto al impacto de la aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) en la funcionabilidad del intercambio vial Alipio Ponce

Para el desarrollo de este objetivo, se utilizó la herramienta de tráfico de nombre PTV Vissim, mediante su aplicación y siguiendo la metodología de la FHWA se analizó la funcionabilidad del ramal de enlace en estudio y se definió una solución vial a ser implementada a corto plazo, para lo cual se consideraron los siguientes pasos:

a) Evaluación situacional y revisión de manuales técnicos: se efectuó la evaluación situacional del comportamiento operacional actual y la revisión de los manuales técnicos de diseño vial principalmente en temas relacionados a ramales de enlace, para ello se revisó el Manual de Carreteras de Perú y el Manual de Carreteras de Chile.

a.-1) Evaluación situacional

Este intercambio vial se ubica en San Juan de Miraflores, el análisis se focaliza sobre el ramal de enlace que conecta la Panamericana Sur sentido sur norte con la Av. Alipio Ponce sentido este oeste, este ramal de enlace tiene un carril en su brazo y se convierte en 2 carriles justo pocos metros antes de empalmarse con la Av. Alipio Ponce.

Figura 7

Configuración vial del intercambio vial Alipio Ponce y sus ramales de enlace



Los 2 carriles de salida del ramal de enlace confluyen con los 2 carriles de la Av. Alipio Ponce convirtiéndose en 4 carriles de forma abrupta, debido a que el ramal tiene una tendencia perpendicular con la Av. Alipio Ponce, los vehículos que circulan por el ramal tienen que sobrepasar por seguridad, para dar prioridad a los vehículos que discurren por la Av. Alipio Ponce, esto genera la formación de colas sobre el ramal (ver Fig. N° 35); asimismo, cuando

acceden vehículos tipo tráiler a la Av. Alipio Ponce desde el ramal, bloquean todo el cruce generando la formación de colas tanto en el ramal como en la Av. Alipio Ponce (ver Fig. N° 38).

Por otro lado, en muchos casos se ha evidenciado en campo que algunos conductores de conducción agresiva no sobreparan aun cuando la distancia respecto al vehículo que viene por la Av. Alipio Ponce es corta, este comportamiento evidencia que este diseño vial no solo genera problemas operacionales (formación de colas en el ramal), sino que incrementa la probabilidad de que ocurran accidentes de tránsito.

Figura 8

Configuración vial del ramal de enlace – Intercambio vial Alipio Ponce

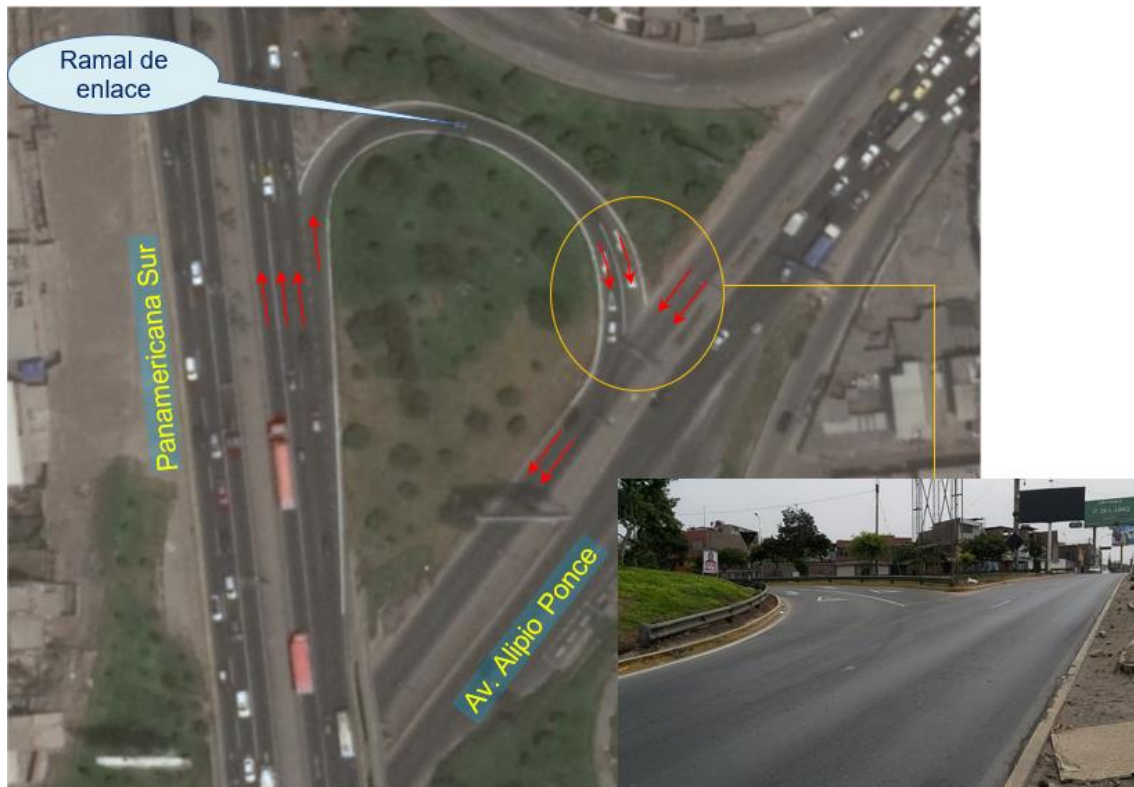


Figura 9

Vehículos sobreparan para acceder desde el ramal hacia la Av. Alipio Ponce



Figura 10

Tráiler bloquean el cruce al acceder desde el ramal hacia la Av. Alipio Ponce



Para conocer el volumen, su composición y la variación horaria del flujo vehicular que discurre por el ramal de enlace y por la Av. Alipio Ponce, el día jueves 22 de abril se realizaron conteos vehiculares en el horario de mayor demanda vehicular (desde las 7:00am hasta las 10:00am), los conteos se realizaron en grupos de 15 minutos lo cual facilitó determinar la hora de mayor demanda vehicular. La hora de mayor demanda fue calculada en base a los vehículos en UCP, obteniéndose como la hora punta desde las 7:15am hasta las 8:15am. En esta hora se identificaron 2,181 vehículos que circulan por la Av. Alipio Ponce y 467 por el ramal de enlace, la composición vehicular más representativa en ambos casos son los vehículos tipo auto quienes hacen un total del 68.6% y 76.2% respectivamente, para mayor detalle se puede observar los resultados en el siguiente cuadro y gráficos.

Tabla 5

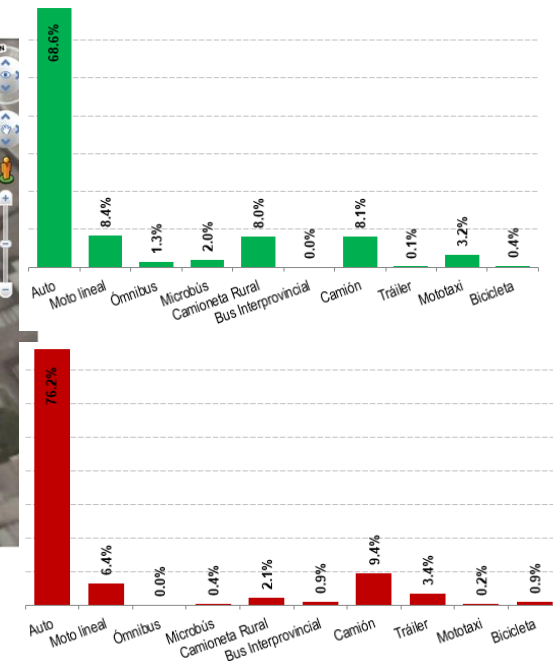
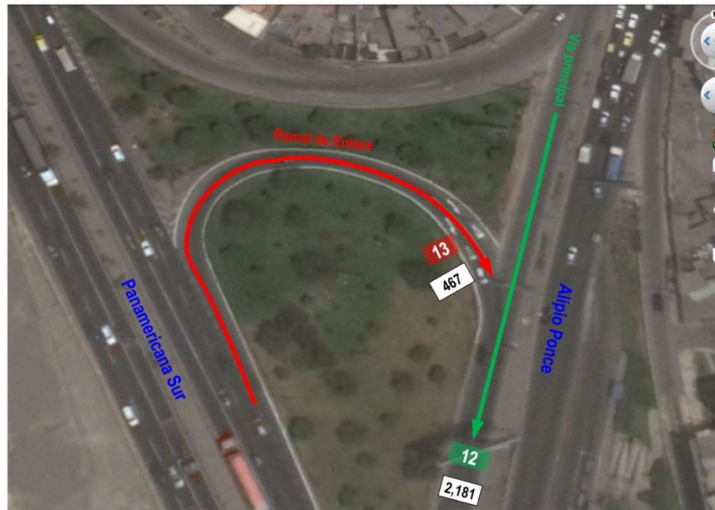
Demanda vehicular identificada en el área de análisis del intercambio vial Alipio Ponce

HORA	Auto		Moto lineal		Ómnibus		Microbús		Cam. Rural		Bus Inter		Camión		Tráiler		Mototaxi		Bicicleta		Total x 1/4 Hora			Suma Horaria	UCP Horaria
	12	13	12	13	12	13	12	13	12	13	12	13	12	13	12	13	12	13	12	13	Total				
07:00 - 07:15	336	67	40	4	5		10		40	2			44	5		4	24		4	2	503	84	587	587	652
07:15 - 07:30	415	74	44	5	8		13		47	3			45	7		3	26		3	2	601	94	695	1282	1421
07:30 - 07:45	436	86	47	5	7		10		45	2		1	41	8		6	23		2	1	611	109	720	2002	2216
07:45 - 08:00	306	105	55	10	6		11	1	43	1		2	45	15	1	5	14		4	1	485	140	625	2627	2928
08:00 - 08:15	340	91	37	10	7		9	1	39	4		1	45	14	1	2	6	1			484	124	608	2648	2982
08:15 - 08:30	311	87	35	9	5		7	1	38	5			44	17		4	11	1			451	124	575	2528	2881
08:30 - 08:45	269	78	32	7	3		4	1	36	11	1		47	24	1	6	17				410	127	537	2345	2736
08:45 - 09:00	251	96	38	9	2		3		40	5			38	17		3	15	1			387	131	518	2238	2609
09:00 - 09:15	361	86	30	4	7		8	2	45	2			31	6	1	2	14	2	1		498	104	602	2232	2572
09:15 - 09:30	299	91	28	5	5		6	1	43	4			28	7		3	18	1	2		429	112	541	2198	2498
09:30 - 09:45	244	99	15	10	3		4		30	6			16	5		1	17	2	2		331	123	454	2115	2325
09:45 - 10:00	223	112	23	9	3		6		33	7			18	9		1	15	5			321	143	464	2061	2236
HP 7:15 - 8:15	1497	356	183	30	28	0	43	2	174	10	0	4	176	44	2	16	69	1	9	4				Max.	2982

Nota: El 12 y 13 son movimientos
 12: Av. Alipio Ponce
 13: Ramal de Enlace

Tipo de vehículo	Via Principal		Ramal de Enlace		Total	%
	12	13	12	13		
Auto	1497	68.6%	356	76.2%	1853	69.9%
Moto lineal	183	8.4%	30	6.4%	213	8.0%
Mototaxi	69	3.2%	1	0.2%	70	2.6%
Ómnibus	28	1.3%	1	0.2%	29	1.1%
Microbús	43	2.0%	2	0.4%	45	1.7%
Camioneta Rural	174	8.0%	10	2.1%	184	6.9%
Bus Interprovincial	1	0.0%	4	0.9%	5	0.2%
Camión	176	8.1%	44	9.4%	220	8.3%
Tráiler	2	0.1%	16	3.4%	18	0.7%
Bicicleta	9	0.4%	4	0.9%	13	0.5%
Total	2181	100.0%	467	100.0%	2650	100.0%

Fuente: Elaboración propia



a.-2) Análisis de la literatura especializada

El Manual de Diseño Geométrico de Carreteras versión 2018 (en adelante el Manual Peruano) en su sección de **Intersecciones a Desnivel**, describe escuetamente que *los ramales interconectan las vías involucradas en la intersección vial, pudiendo adoptar una variedad de formas, agrupándose básicamente en tres categorías en función a sus formas: ramales directos, semidirectos y de enlace* (p. 252). No presenta una definición para cada uno de estos ni los elementos por las que están compuestos como si lo hace el Manual de Carreteras de Chile versión 2020, Volumen N° 3 (en adelante Manual Chileno), tal como se evidencia a continuación.

El Manual Chileno (p. 448 - 451) define y clasifica a los ramales también en tres categorías ramales directos, ramales indirectos y lazos³ (solo nos centraremos en los ramales de enlace motivo de la presente investigación).

Los ramales. Son los elementos fundamentales de los enlaces⁴. Ellos conectan las vías que se cruzan, pudiendo adoptar una gran variedad de formas, ser unidireccionales o bidireccionales, empalmar por uno u otro lado de las calzadas, tener o no condición de parada y servir giros a la izquierda o a la derecha.

Lazos. Son aquellos ramales utilizados para dirigirse a la izquierda, mediante una curva cerrada hacia la derecha que se desarrolla en más de 200g -unos 300g.

Por las características geométricas de los lazos, que generalmente obligan a velocidades de proyecto bajas, éstos deben preferirse para volúmenes reducidos, debiendo recurrirse a los otros tipos de ramales si los volúmenes son importantes y no es factible el uso de curvas amplias en el lazo.

Asimismo, el Manual Chileno (p. 470) describe las unidades por las cuales está compuesto un ramal, indicando que consta de **dos terminales o empalmes y de un tramo de vía entre ambos o brazo**.

³ Los ramales de enlace son llamados lazos en Chile

⁴ Los intercambios viales en Chile son llamados enlaces

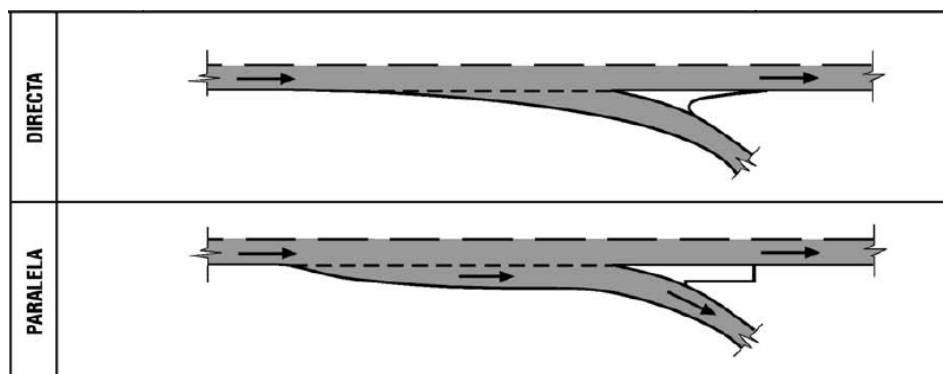
El empalme sobre la vía principal siempre será unidireccional y con las **pistas⁵ de cambio de velocidad** que correspondan al caso proyectado, pudiendo los vehículos acceder o salir de ellas por sus lados izquierdo o derecho, evitando siempre que sea posible la primera alternativa.

El Manual Chileno (p. 379) respecto a pistas de cambio de velocidad describe lo siguiente: Cuando un conductor va a hacer un giro en una intersección, debe modificar su velocidad. Si se propone pasar de una **carretera a un ramal de giro**, deberá disminuirla para adecuarla a las inferiores condiciones geométricas de este último, y si pretende acceder a una de las carreteras, proveniente de un ramal de giro, deberá aumentarla para hacerla compatible con las condiciones de flujo de aquélla.

Para que estas operaciones, inherentes a toda intersección, se desarrollen con un mínimo de perturbaciones, se diseñan pistas de cambio de velocidad. Las pistas que auxilian la maniobra de salida de una calzada reciben el nombre de **Pistas de Deceleración, y son paralelas o casi a la de origen**. Las pistas que auxilian la maniobra de entrada a una calzada reciben el nombre de **Pistas de Aceleración, y son siempre paralelas a la de destino**. Ambas permiten acomodar la velocidad según las conveniencias expuestas; cabe señalar que estas definiciones son similares a las que hace el Manual Peruano (p. 233); sin embargo, hace la precisión que los carriles de cambio de velocidad deben ubicarse en los **tramos en tangente** y dónde los estándares del trazo longitudinal y del nivel de visibilidad son altos, no se deben ubicar en los alineamientos curvos de la vía principal (p. 259).

Figura 11

Vías de cambio de velocidad – Vías de Deceleración

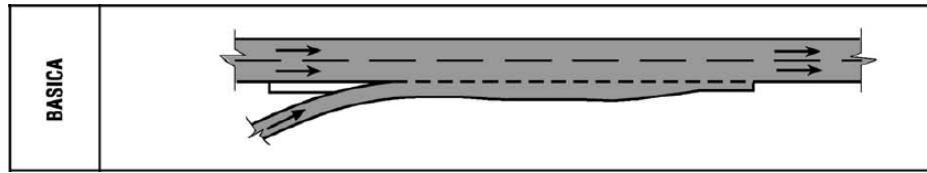


Nota: Manual de Carreteras de Chile, Volumen N° 3, página 382

⁵ Los carriles son llamados pistas en Chile

Figura 12

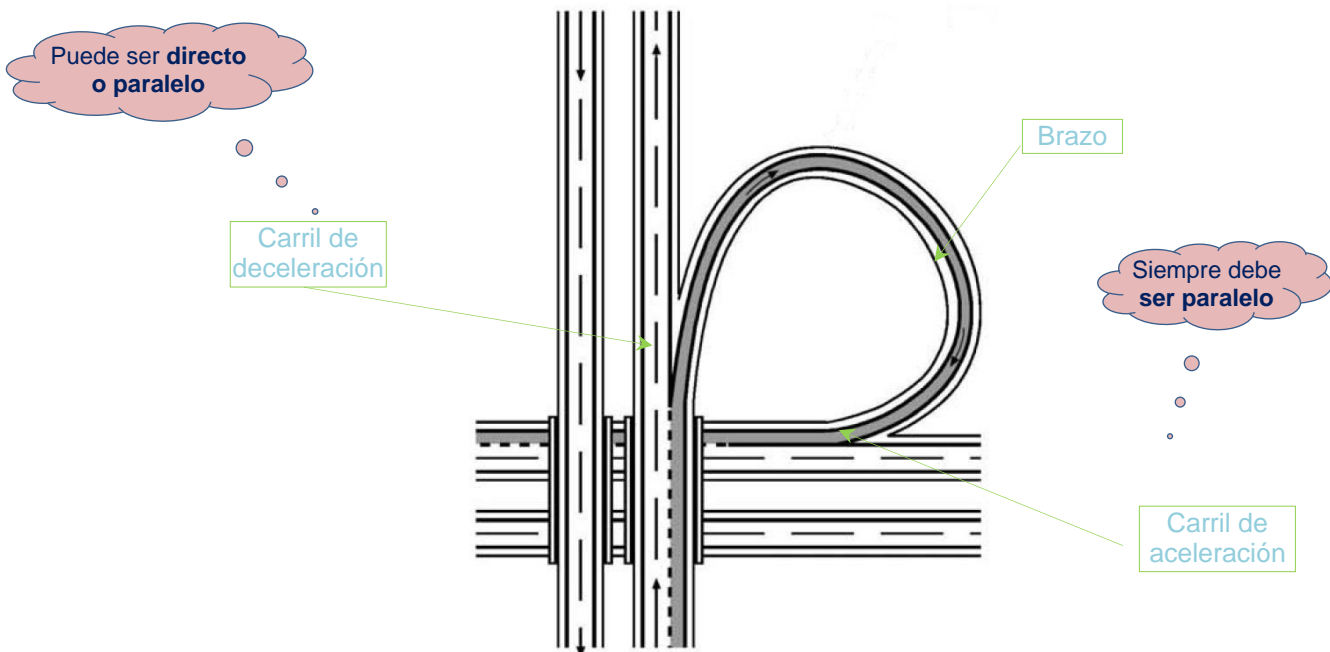
Vías de cambio de velocidad – Vías de Aceleración



Nota: Manual de Carreteras de Chile, Volumen N° 3, página 382

Figura 13

Elementos de un ramal de enlace



Ahora que ya tenemos una idea más clara de los elementos que forman a un ramal de enlace, a continuación, vamos a analizar el número de carriles que debe de tener dentro del ramal y en la salida del ramal.

El Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (versión 2018), establece que el ancho de calzada mínimo para ramales de enlace debe de ser de 4 metros; asimismo describe que, si el volumen de tránsito amerita el suministro de una vía de enlace con dos carriles, el ancho de la calzada se debe incrementar a 7,20 m. (p. 259). De ello se evidencia que el Manual deja abierta la posibilidad que los ramales de enlace tengan 2 carriles, siempre y cuando el tránsito lo amerite; quedando esta frase como un punto subjetivo, la decisión queda a criterio de cada ingeniero de diseño. No se evidencia recomendaciones respecto al número de carriles de salida

en los ramales de enlace de tal manera que ello genere la mínima perturbación para el flujo de tránsito que discurre por la vía principal.

Al respecto el manual Chileno (p. 443) establece que normalmente los ramales de enlace serán de una sola pista, salvo que el volumen de demanda sea superior al volumen de servicio deseado, en cuyo caso **deberá proyectarse de dos pistas**. Por otra parte, si el ramal tiene una longitud mayor de 300 metros y el tránsito previsto es elevado y con un alto porcentaje de camiones, es recomendable proyectarlo de dos pistas, aunque esto no sea imperativo desde el punto de vista de capacidad. En estos casos las conexiones con las carreteras que se cruzan deberán reducirse **a una sola pista**, para encauzar mejor el tránsito de entrada o salida.

Ambos manuales dejan **a criterio del diseñador vial** el número de carriles a considerar en el brazo del ramal; sin embargo, en el caso específico de los carriles de salida del ramal el manual peruano no hace ningún comentario, mientras que el Manual Chileno establece que deberán reducirse a un carril, asimismo este manual emplea el termino de **Equilibrio de Pistas de los Ramales de Enlace** (p. 460, 462 y 464). Para que la operación vehicular sea eficiente en la zona del enlace y posteriormente a él, debe existir un adecuado equilibrio entre el número de pistas de los ramales y de las carreteras de paso. Los volúmenes de diseño y el análisis de capacidad respectivo determinan el número básico de pistas en la carretera y el número de pistas de los ramales. Se reitera la conveniencia de mantener la continuidad del número básico de pistas en zonas de entradas y salidas, aunque entre enlaces puedan aparecer disminuciones locales de flujos, y recurrir a pistas auxiliares para resolver demandas puntuales superiores. Una vez determinado el número básico de pistas en cada carretera, el equilibrio entre las pistas debe ser comprobado sobre la base de los siguientes principios:

En las entradas, el número de pistas que debe existir más allá del ingreso no debe ser inferior a la suma de todas las pistas convergentes menos una.

En las salidas, el número de las pistas de la carretera previas a la salida debe ser igual al número de las pistas de la carretera posteriores a la salida más el número de pistas de salida, menos una. Excepción a esta regla es el caso de tramos con **pistas auxiliares** entre ingresos y salidas sucesivas distantes menos de 450 m, como ocurre por ejemplo en los tréboles entre lazos en cuadrantes contiguos.

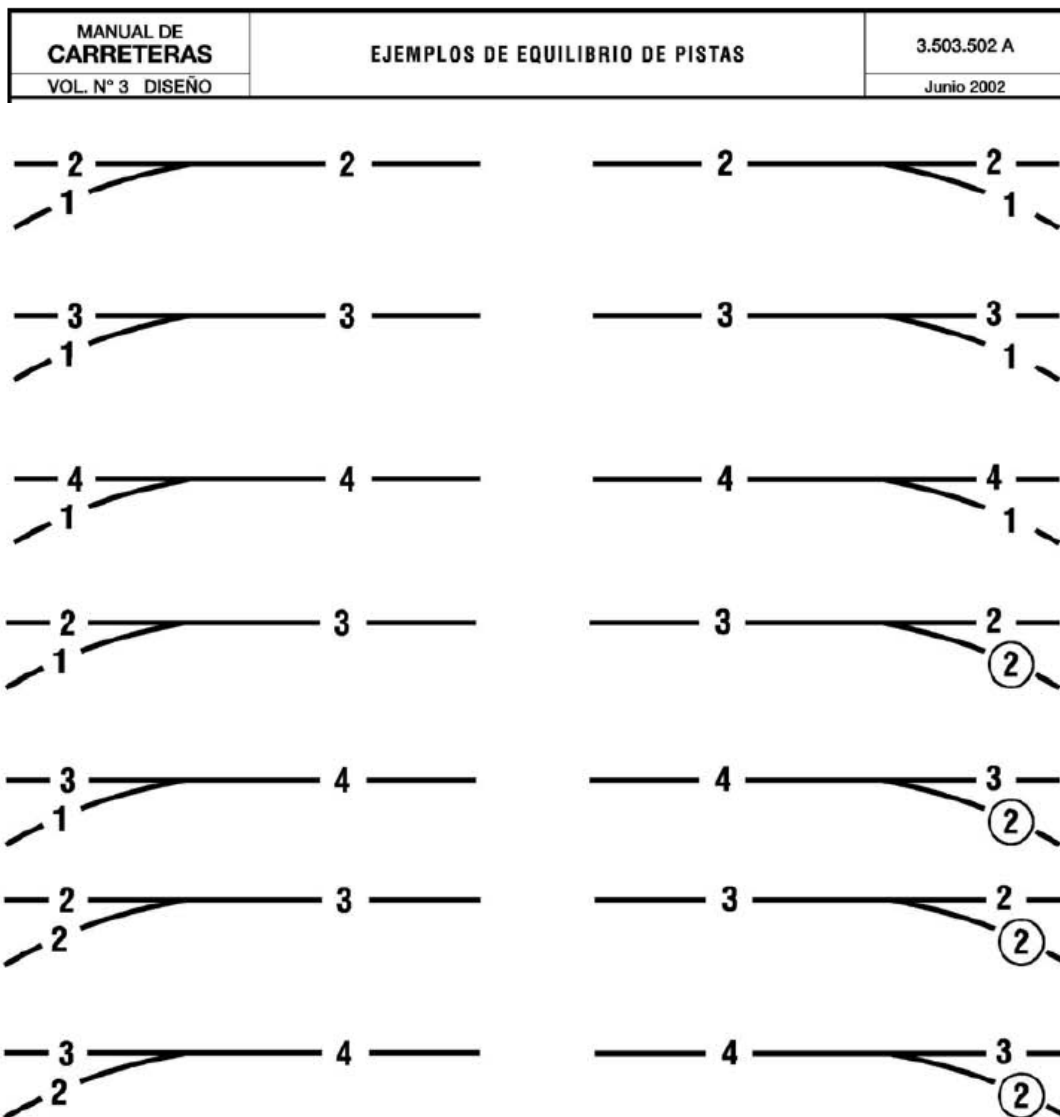
En tales casos, la **pista auxiliar** puede desaparecer tras la última salida (de una pista), y se tendría que el número de pistas de llegada al dispositivo de salida sería igual al número de pistas posteriores a dicha salida más la pista de salida (ver casos señalados con (2))

No se debe reducir el número de pistas en más de una a la vez.

En la Figura se ilustra estos principios.

Figura 14

Equilibrio de carriles de los ramales de enlace



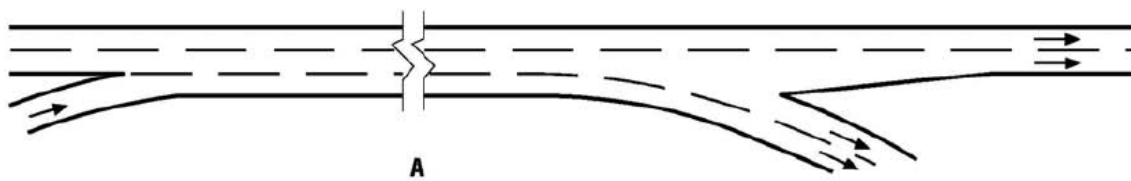
Nota: Manual de carreteras de Chile, Volumen N° 3, p. 464

Las vías auxiliares son carriles adicionales, si bien el Manual Peruano lo cita más no lo aborda; mientras que el Manual Chileno (p. 451) lo desarrolla ampliamente, **Pistas Auxiliares** se denomina así, en el contexto de un enlace, a las pistas adicionales y adyacentes a una carretera

que proveen espacio y oportunidades adicionales para maniobras de trenzado en dicha carretera, de ingreso a ella y de salida desde la misma. El ancho de estas pistas debe ser igual a las que constituyen la sección tipo de la carretera en el punto donde las pistas auxiliares se agregan.

La eficiencia operacional en un enlace puede ser mejorada usando una pista auxiliar continua entre un terminal de entrada a una carretera y uno de salida de ella cuando los enlaces están próximos, cuando la distancia entre el final de una cuña de entrada y el inicio de una cuña de salida es corta, y cuando no existe calzada colectora distribuidora que ayude a la operación vehicular en tal circunstancia.

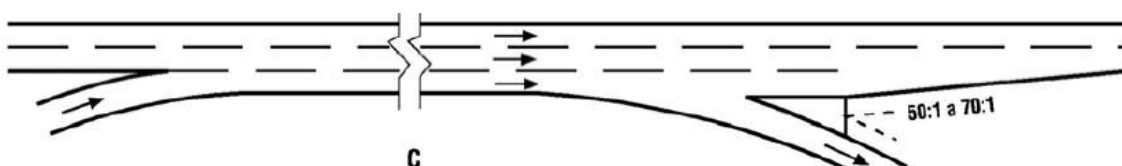
- Mediante una salida de dos pistas, como se esquematiza en la Figura. Esta solución cumple con el principio de equilibrio de pistas



- Mediante una salida de una sola pista, como se esquematiza en la Figura. Esta solución está de acuerdo con las excepciones a dicho principio de equilibrio de pistas.

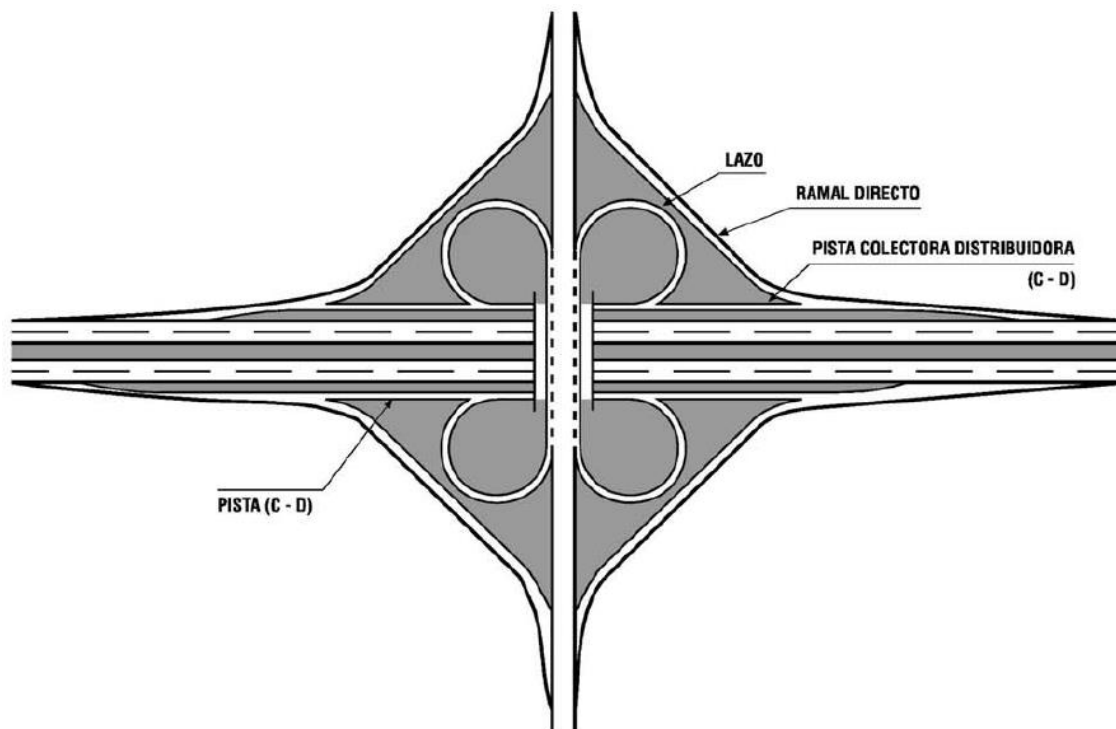


- Manteniendo la pista auxiliar hasta la nariz de la salida y luego haciéndola desaparecer mediante cuña normalizada, como se esquematiza en la Figura. Este esquema provee una zona de recuperación a quienes inadvertidamente se mantienen en la pista discontinuada.



Asimismo, el Manual Chileno (p. 451) aborda el componente de **Calzadas Colectoras-Distribuidoras**, describiendo que se denomina así, en el contexto de un enlace, a las calzadas adicionales adyacentes pero separadas de las calzadas principales, con igual sentido de tránsito que éstas, que sirven para conectar dichas calzadas principales a la red local cuando las distancias entre conexiones sucesivas no son suficientes para realizarlas directamente. El trébol completo o con lazos en cuadrante contiguos son los ejemplos típicos en los cuales se debe analizar la implantación de tales calzadas, cuyas principales ventajas son:

- Transfiere a ella las maniobras de trenzado, donde éstas se pueden realizar a velocidades reducidas.
- Permite unificar las salidas en un solo dispositivo de egreso de alta velocidad, uniformar los diseños y otorgar mejor visibilidad para todo el tránsito saliente.
- Simplifica la señalización y los procesos de toma de decisiones.
- Permite localizar la salida antes de la estructura desniveladora, lo cual se acomoda mejor a las expectativas de los usuarios.



Nota: Manual de Carreteras de Chile, Vol. N° 3 – Diseño, Página 456

Nota: el Manual de Carreteras de Perú versión 2018, las pistas auxiliares y las pistas colectoras distribuidoras solo las muestra en imágenes más no los alcances técnicos (figura 503.14 y 503.03 respectivamente).

Finalmente, para garantizar la funcionalidad de una infraestructura vial el Manual Chileno (p. 444) describe lo siguiente:

La aplicación de los parámetros de diseño normativos no garantiza que los distintos elementos de los enlaces provean la capacidad suficiente a los mismos. **Es responsabilidad del diseñador proveer una geometría vial acorde con la demanda que se debe satisfacer.**

Una vez establecido el diseño geométrico de un enlace, es posible evaluar la calidad de la solución adoptada mediante **Programas Computacionales de Simulación**, los que alimentados con la geometría del enlace y con los flujos de demanda, **simulan en tiempo real el comportamiento del enlace**, detectando si se producen “colas” en los ramales, interferencias severas en los tramos de trenzado, etc. Ello permite actuar sobre la geometría de las zonas deficitarias y así, por iteración, resolver el problema.

Cabe resaltar que el Manual Chileno, en su volumen N° 1, tiene un capítulo con nombre “Simulación y Modelación”, donde aborda ampliamente los criterios que deben de ser considerados en el desarrollo de las simulaciones; asimismo, la Federal Highway Administration (FHWA) del departamento de Transportes de los EEUU, en el documento **Traffic Analysis Toolbox Volumen III**, aborda ampliamente el tema de la simulación. Mientras que el Manual Peruano (p. 256) solo le dedica 3 líneas describiendo textualmente lo siguiente: *Es conveniente que, para verificar la conveniencia técnica de la solución, se lleve a cabo el análisis con un **modelo de simulación de tránsito**, que permita examinar el funcionamiento de la intersección en conjunto con la malla vial aledaña.* Esperemos que en las siguientes actualizaciones de este Manual se de mayor importancia puesto que es un **componente fundamental y decisivo** en la elección de la mejor alternativa vial, si no existe un adecuado uso y *expertise* de los softwares de microsimulación los resultados de este no serán consistentes lo cual incitará al error, eligiendo la solución vial que no necesariamente es la solución.

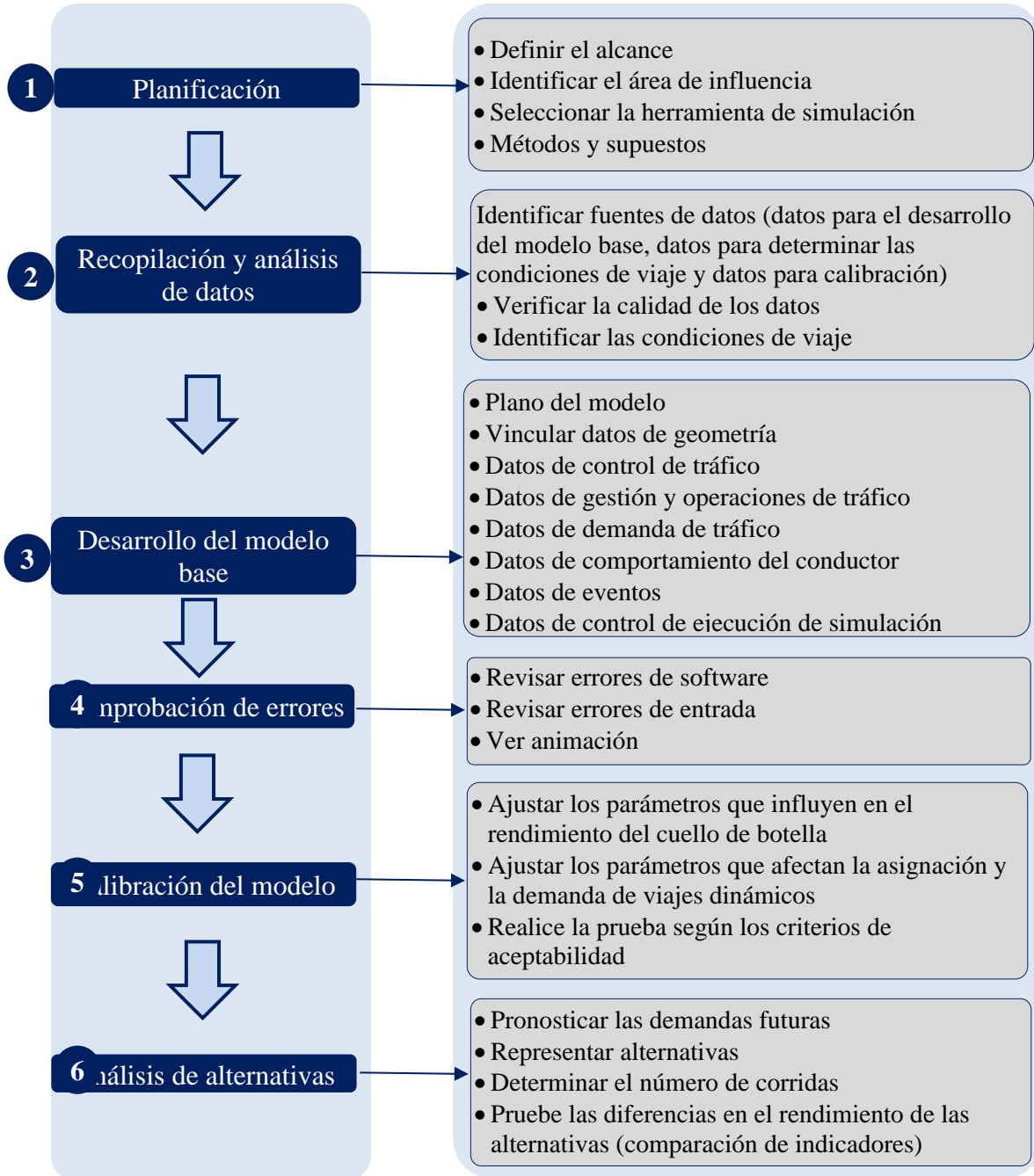
N°	Componentes	Manual de Carreteras del Perú	Manual de Carreteras de Chile
1	Elementos de un Ramal de Enlace	No aborda el tema	Está compuesto por dos terminales o empalmes y de un tramo de vía entre ambos o brazo (ver Fig. 41).
2	Carriles de cambio de velocidad en Ramales de Enlace	Las definiciones de carriles de cambio de velocidad son similares a las que hace el Manual Chileno Sin embargo, hace la precisión que para el caso de ramales de enlace los carriles de cambio de velocidad deben ubicarse en los tramos en tangente .	Los terminales o empalmes están compuestos por carriles de cambio de velocidad. Para salir desde una vía principal hacia el ramal de enlace se emplean carriles de deceleración generalmente es paralelo o casi paralelo al carril de origen. Para entrar a una vía principal desde el ramal de enlace se utilizan carriles de aceleración el cual siempre es paralelo al carril de destino
3	Número de carriles en el brazo del Ramal de Enlace	Si el volumen de tránsito amerita el suministro de una vía de enlace con dos carriles, el ancho de la calzada debe ser de 7,20 m.	Salvo que el volumen de demanda sea superior al volumen de servicio deseado, en cuyo caso deberá proyectarse de dos pistas .
4	Número de carriles que entran desde el Ramal de Enlace a la pista principal	No aborda el tema	Las conexiones con las carreteras que se cruzan deberán reducirse a una sola pista , para encauzar mejor el tránsito de entrada.
5	Equilibrio de carriles	No aborda el tema	Para que la operación vehicular sea eficiente en la zona del enlace y posteriormente a él, debe existir un adecuado equilibrio entre el número de pistas de los ramales y de las carreteras de paso (ver Fig. 42).
6	Validación del diseño	Para verificar la funcionalidad, operatividad y consistencia de los elementos de la infraestructura vial se debe utilizar la simulación. Sin embargo, en el contenido del manual no se aborda las exigencias mínimas que debe de cumplir un modelo de simulación para que sea aceptado.	Este Manual en su volumen N° 1, tiene un capítulo con nombre “Simulación y Modelación”, donde aborda ampliamente los criterios que deben de ser considerados en el desarrollo de las simulaciones.

Ramal de enlace materia de la presente investigación cumple con las exigencias geométricas del manual de carreteras del Perú, pero no con las exigencias del manual de Chile.

b) Análisis funcional y propuesta de solución: para el análisis del funcionamiento vial se empleó el software vissim y se siguió el procedimiento del documento *Traffic Analysis Toolbox Volumen III*, de la Federal Highway Administration (FHWA).

Figura 15

Proceso analítico de microsimulación



Nota. Elaboración Propia, adaptado a partir de la FHWA

Para la construcción de los modelos fue necesario partir de la información tomada en campo, esta información fue ingresada a VISSIM siguiendo la siguiente ruta de pasos:

- Definición de parámetros de simulación
- Definición de la distribución de velocidad
- Definición de tipos de vehículos
- Definición de composición de vehículos
- Cargar el plano del área del proyecto como imagen de fondo
- Dibujar enlaces y conectores para carriles y cruces.
- Ingresar los volúmenes vehiculares
- Definición de rutas por tipo de vehículo
- Editar áreas de conflicto en los cruces
- Definir fases y tiempos de ciclos de semáforos⁶
- Proceso de calibración y validación del modelo
- Ejecución de las simulaciones y obtención de indicadores de desempeño

En base a la literatura especializada de diseño vial y al análisis de funcionamiento vial de la infraestructura materia de la presente investigación, se analizó una alternativa enmarcada en una solución a corto plazo.

- **Alternativa de solución a analizar:**
 - Ramal de enlace con único carril de empalme con la Av. Alipio Ponce
 - Carril de aceleración en el ramal de enlace que permita la incorporación con la Av. Alipio Ponce

⁶ Para idealizar el comportamiento vehicular generado por el control de policías de tránsito en la zona de confluencia del intercambio vial Habich, se utilizaron elementos de control semafórico, asignado los tiempos y fases captadas en campo.

Para analizar esta alternativa fue necesario construir en primer lugar el modelo del escenario actual y a partir de este construir el modelo del escenario propuesto, para posteriormente comparar los indicadores de desempeño de ambos modelos y evidenciar el grado de mejora que proporciona la solución propuesta.

Escenario actual

Mediante el uso de la herramienta de microsimulación se construyó, calibró y validó el modelo del escenario actual, después de las iteraciones del modelo se obtuvo los indicadores de desempeño, los cuales sirvieron como línea base para la medición del impacto funcional actual.

Figura 16

Construcción del escenario actual, interfaz del software VISSIM



Escenario con propuesta de solución vial

Este modelo se construyó a partir del escenario actual calibrado, sobre el cual se insertó el diseño de la alternativa de solución, el cual a diferencia del escenario actual contempla la configuración geométrica de un carril de aceleración en el punto de entrada a la Av. Alipto Ponce. Los volúmenes vehiculares y componentes del modelamiento son los mismos para ambos escenarios, la única diferencia es la configuración geométrica generada por el carril de aceleración en el escenario propuesto.

Figura 17

Comparación operación en VISSIM del escenario actual vs el propuesto



De la figura anterior se evidencia que las colas vehiculares que se generaban en el ramal de enlace en el escenario actual, ya no se generan en el escenario propuesto, el carril de aceleración absorbe las perturbaciones y conflictos operacionales que se generaban en el empalme, facilitando una incorporación de los vehículos desde el ramal hacia la Av. Alipio Ponce con mínimos conflictos y mayor seguridad.

Para tener una apreciación cuantitativa, a partir de los resultados de la simulación, en el siguiente cuadro y gráfico se evidencia las mejoras operacionales que representa el escenario propuesto frente al escenario base.

Tabla 6

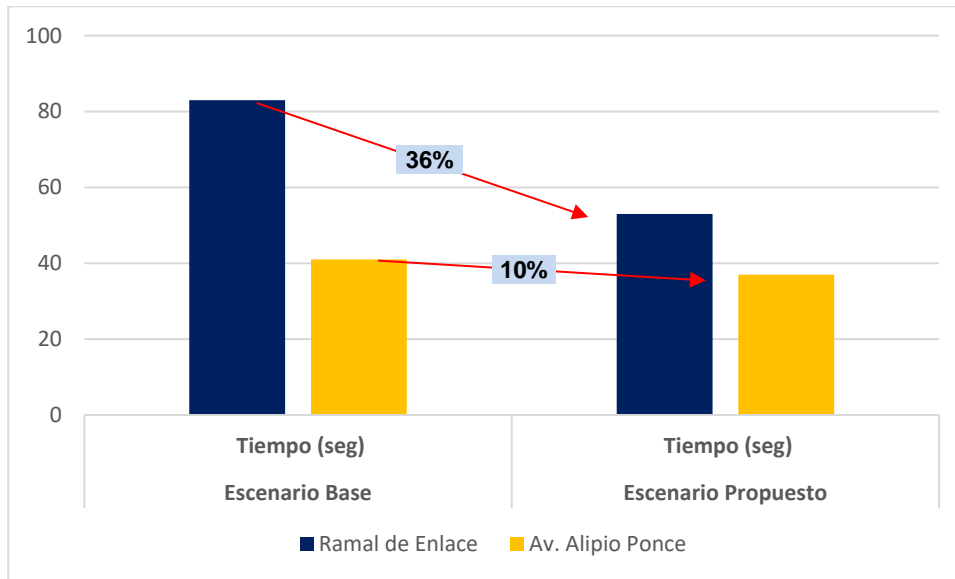
Indicadores de desempeño escenario base vs escenario propuesto.

Eje/Avenida	Tramo	Escenario Base			Escenario Propuesto		
		Tiempo* (Promedio)	Veh. en cola Promedio	Demora*	Tiempo* (Promedio)	Veh. en cola Promedio	Demora*
Ramal de Enlace	Cuña de entrada - Cuña de Salida	83	8	35	53	0	5
Av. Alipio Ponce	Ca. Rebagliati - Pte. Pana. Sur	41	3	10	37	0	6

*Tiempo en segundos

Figura 18

Mejoras en tiempos de viaje que genera el carril de aceleración



El carril de aceleración evita la formación de colas en el ramal de enlace y optimiza el tiempo de viaje reduciéndose en un 36%. Asimismo, genera mejoras en la vía principal (Av. Alipio Ponce) donde se reducen los tiempos de viaje en un 10%.

Desarrollo del objetivo específico 1, respecto al impacto de la aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) en la congestión vehicular del intercambio vial Alipio Ponce.

Para el desarrollo de este objetivo, se utilizó la información de los resultados del modelo del escenario actual y del escenario propuesto, los cuales fueron analizados a partir del Highway Capacity Manual (HCM, 2010), con el fin de conocer el grado de congestión del escenario actual y de la propuesta que presenta el ramal de enlace en estudio.

De acuerdo al HCM para medir la eficiencia o grado de congestión vehicular de una red vial uno de los indicadores es el “nivel de servicio”, este indicador establece 6 niveles de “A” a “F”, el nivel “A” representa las mejores condiciones de tránsito (Flujo libre sin interrupciones) y el nivel “F” representa las peores condiciones de tránsito (Flujo denso y saturado, forzado e interrumpido).

Tabla 7

Grado de congestión de acuerdo al HCM

Niveles de Servicio	Condiciones Generales de Operación
A	Flujo Libre
B	Flujo razonablemente Libre
C	Flujo inestable
D	Fluye cerca de la inestabilidad
E	Flujo inestable (limitado por capacidad)
F	Flujo Forzado o interrumpido

Nota: Obtenido del Manual HCM 2010

Tabla 8

Nivel de servicio en función a la demora promedio en segundos

Nivel de servicio	Intersecciones No Semaforizadas
A	< 10
B	>10 - ≤ 15
C	>15 - ≤25
D	>25 - ≤35
E	>35 - ≤50
F	>50

Nota: Obtenido del Manual HCM 2010

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante la herramienta de análisis de tráfico “vissim”, se observa que la demora promedio en el escenario actual en el ramal de enlace es de 23 segundos lo cual representa un nivel de servicio de “C” y en el escenario propuesto de 5 segundos lo cual representa a un nivel de servicio “A”. Lo cual evidencia que al hacer el uso de la herramienta de análisis de tráfico se eligió la mejor solución vial la misma que reduce el grado de congestión de nivel “C” (Flujo inestable) a nivel “A” (Flujo Libre).

Desarrollo del objetivo específico 2, respecto al impacto de la aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) en el aspecto ambiental del intercambio vial Alipio Ponce

Para el desarrollo de este objetivo, se tomó como punto de partida los conteos vehiculares los cuales fueron clasificados por sus distintos modos, a partir del cual se obtuvo la carga

vehicular real que circula por el área en investigación, para medir el grado de impacto ambiental en el área de estudio se consideraron los siguientes pasos:

a) Análisis de los conteos de tráfico

Con la finalidad de uniformizar los volúmenes de los vehículos captados en campo y que facilite el cálculo de las emisiones de CO₂, se utilizó el factor de conversión UCP (unidad coche patrón), el cual es una unidad de equivalencia de un auto en comparación con los demás modos de transporte. El volumen vehicular captado en campo de los distintos modos será convertido a unidades UCP, para lo cual se utilizará los siguientes valores.

Tabla 9

Tabla de equivalencias UCP

Modo	Tipo de Vehículo	UCP
Privado	Auto	1.00
	Camioneta Rural	1.25
Público	Microbús	2.00
	Ómnibus	3.00
Pesado	Camión	2.50
	Tráiler	3.50
Interprovincial	Bus Interprovincial	3.00
Menor	Mototaxi	0.75
	Moto lineal	0.33
No Motorizado	Bicicleta	0.33

Nota: Obtenido de la AATE

De acuerdo a los conteos vehiculares realizados en campo (escenario actual), se identificó que la hora de mayor demanda vehicular entre las 07:15 y 08:15 horas, en este horario circulan 2648 vehículos los cuales convertidos a UCP viene a ser un total de 2982 veh/UCP. Sin embargo, de acuerdo al modelo del escenario propuesto construido mediante la herramienta de análisis de tráfico, se prevé que en este mismo horario con el ajuste del diseño geométrico propuesto circulen un total de 2730 veh/UCP.

Tabla 10

Demanda vehicular identificada en el área de análisis del intercambio vial Alipio Ponce

Hora	UCP Horario
07:15 - 08:15	2982

b) Cálculo de las emisiones de CO₂

Para realizar este cálculo se considerará la emisión promedio de CO₂ por auto y se multiplicó con el volumen vehicular que circula en la hora de mayor demanda vehicular en el área de estudio, con el fin de comparar el impacto ambiental el escenario actual versus el escenario con la propuesta de solución vial.

Tabla 11

Emisión de CO₂ de autos por tipo de combustible

Tipo de combustible	Cantidad	Unidad
Gasolina	143	gramos CO ₂ /Km
Diésel	132	gramos CO ₂ /Km
GLP	99	gramos CO ₂ /Km
GNC	106	gramos CO ₂ /Km
Promedio	120	gramos CO ₂ /Km

Nota: Obtenido de <https://www.autonocion.com/calcular-el-co2-a-partir-del-consumo/>

Tabla 12

Cálculo del impacto ambiental

Escenarios	Volumen (veh/UCP)	Emisiones CO ₂ /Km	Total en gr CO ₂	Total en tn de CO ₂
Actual	2,982	120	357,840	42.9
Propuesto	2,730	120	327,600	39.3
	Diferencia		30,240	3.6

Al utilizar la herramienta de análisis de tráfico se evidencia que la propuesta de ajuste de diseño vial en la hora de mayor demanda vehicular genera un impacto ambiental positivo de 3.6 toneladas menos de emisión (en solo una hora del día).

Desarrollo del objetivo específico 3, respecto al impacto de la aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) en el aspecto económico del intercambio vial Alipio Ponce.

Para el desarrollo de este objetivo, se levantó información de ocupación visual (nivel de ocupación), con la finalidad de conocer la cantidad de viajes que se desplazan por el ramal de enlace y por la Av. Alipio Ponce (área de influencia de la investigación), que en la actualidad

se ven afectados por los problemas de congestión vehicular, se consideran los siguientes pasos:

a) Nivel de ocupación

Para determinar la demanda de viajes, previamente se definió los 4 siguientes niveles de ocupación,

Tabla 13

Niveles de ocupación vehicular

Nivel de Ocupación	Estado	Descripción
Nivel 1	Vacío	Solo el conductor
Nivel 2	Semivacío	Menos de la mitad de los asientos están ocupados
Nivel 3	Lleno	Todos los asientos están ocupados
Nivel 4	Totalmente Lleno	Todos los asientos están ocupados más el pasillo

Tabla 14

Cantidad de pasajeros para modo de transporte por nivel asignado

	Auto	Moto lineal	Ómnibus	Microbús	Cam. Rural	Bus Inter	Camión	Tráiler	Mototaxi	Bicicleta
Nivel 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Nivel 2	2	1	25	15	6	15	1	1	2	1
Nivel 3	4	2	60	45	22	50	2	2	3	1
Nivel 4	5	3	85	65	30	50	3	3	4	1

Se tomó como punto de partida los conteos vehiculares identificados en la hora de mayor demanda vehicular (7:15 – 8:15am), a cada uno de estos vehículos se le asigno el nivel de ocupación y en gabinete se le remplazó por su carga de pasajeros respectiva, en función al cuadro anterior, después de hacer los cálculos se obtuvo un total de 116,000 pasajeros/hora que se movilizan por el área de influencia de la presente investigación.

b) Cálculo del impacto económico

Para realizar este cálculo tomando como indicador el ahorro del tiempo de viaje en una zona urbana, se utilizó los valores que recomienda el Ministerio de Economía y finanzas para el uso de los precios sociales en la evaluación social de proyectos de inversión.

Tabla 15

Valor social del Tiempo: Según propósito de viajes- Propósito Laboral

Área	Valor del Tiempo (soles/hora pasajero)
Urbano	6.81
Rural	4.56

Fuente: CIUP, 2012.

El impacto económico va a estar influenciado por el número de viajes y la demora que se genera, se parte de la premisa que el número de viajes va ser el mismo tanto para el escenario actual como para el escenario propuesto. El que cambia es el ahorro de tiempo, para el escenario actual la demora promedio es de 23 segundos mientras que para el escenario propuesto la demora promedio es de 5 segundos.

Tabla 16

Cálculo del impacto económico

Escenarios	Viajes/hora	Valor del tiempo (soles hora/pasajero)	Demora (segundos)	afectación (Soles/horas)
Actual	126,000	6.81	23	5,482
Propuesto	126,000	6.81	5	1,192
Diferencia				4,290

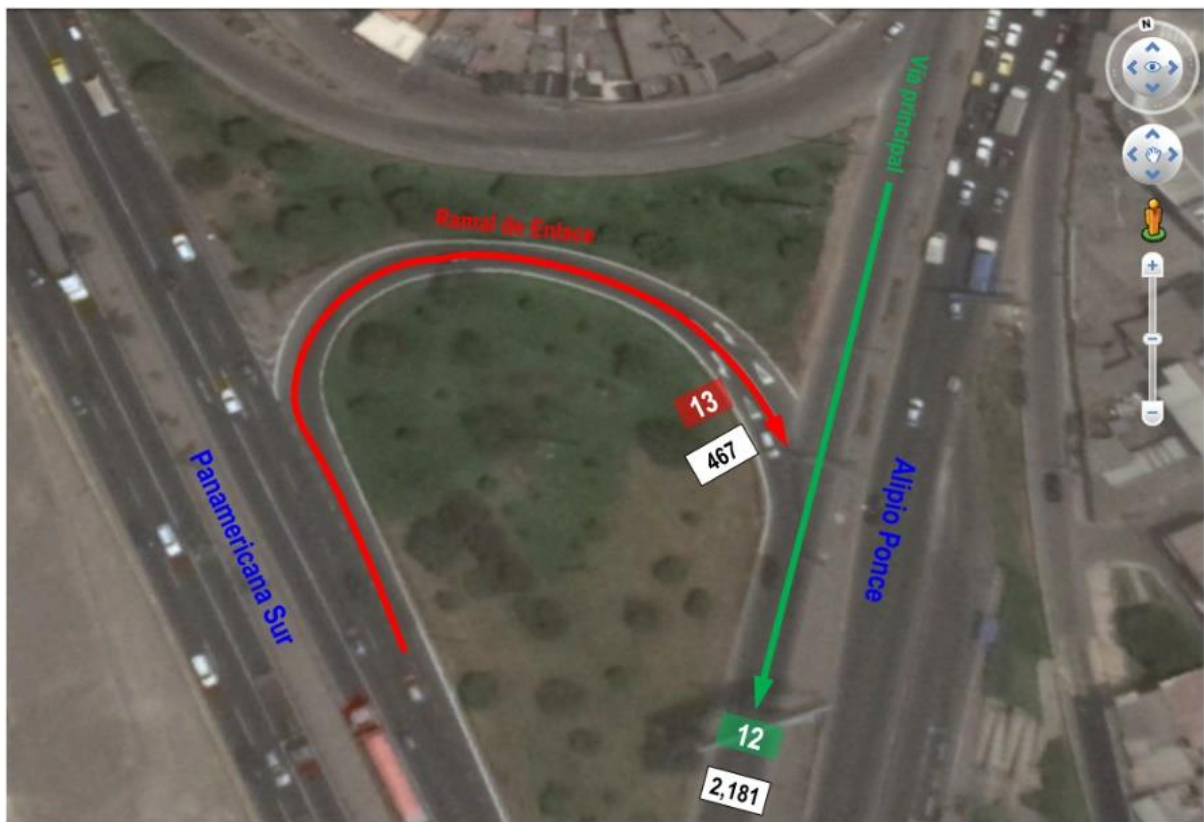
Al utilizar la herramienta de análisis de tráfico se evidencia que la propuesta de ajuste de diseño vial en la hora de mayor demanda vehicular genera un impacto económico positivo, puesto que reduce en \$/ 4,290 menos que el escenario actual (en solo una hora del día).

CAPITULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El mayor flujo vehicular se genera desde las 7:15am hasta las 8:15am. En esta hora se identificaron 2,181 vehículos UCP que circulan por la Av. Alipio Ponce y 467 vehículos UCP por el ramal de enlace, la composición vehicular más representativa en ambos casos son los vehículos tipo auto quienes hacen un total del 68.6% y 76.2% respectivamente.

Figura 19

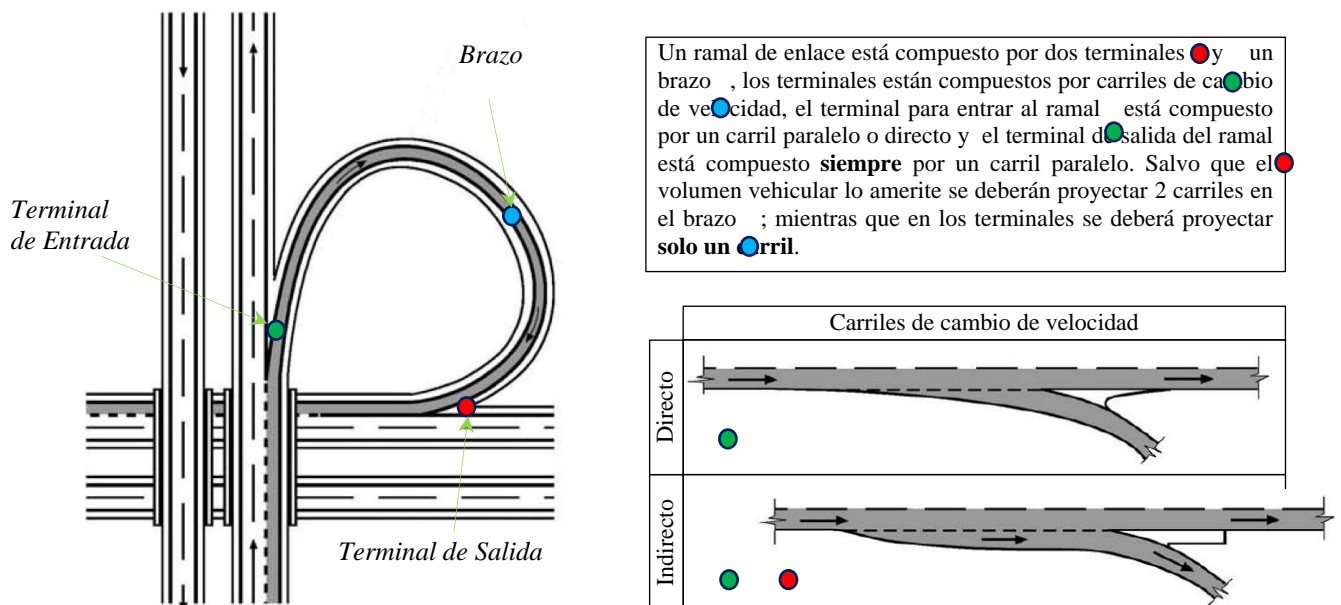
Configuración vial de intercambio Alipio Ponce



De acuerdo con las exigencias del manual de Perú respecto a ramales de enlace, el ramal de estudio **cumple con los parámetros de diseño vial**; sin embargo, no cumple con los parámetros de diseño que exige el manual de Chile, este último resalta que un ramal de enlace debe estar compuesto por los siguientes elementos.

Figura 20

Elementos de un ramal de enlace de acuerdo al manual de Chile



Nota: Elaboración propia, a partir del contenido del manual de Chile

El manual de Perú no aborda el número de carriles que debe de tener los terminales de entrada y salida de un ramal de enlace. El terminal de salida del ramal de enlace del intercambio vial Alipio Ponce **tiene 2 carriles**; como el manual de Perú no aborda este tema se asume que este criterio adoptado por el diseñador vial al considerar dos carriles está dentro de las exigencias del manual.

El manual chileno, aparte de lo antes mencionado tiene un componente vial con el nombre de “equilibrio de carriles” entre el número de carriles de los ramales y de la vía principal, para que la operación vehicular sea eficiente en la zona del enlace y posteriormente a él (ver Fig. 42).

Finalmente, el manual de Chile (p. 444) para garantizar la funcionalidad del ramal de enlace describe lo siguiente:

La aplicación de los parámetros de diseño normativos no garantiza que los distintos elementos de los enlaces provean la capacidad suficiente a los mismos. Es responsabilidad del diseñador proveer una geometría vial acorde con la demanda que se debe satisfacer.

*Una vez establecido el diseño geométrico de un enlace, es posible evaluar la calidad de la solución adoptada mediante **Programas Computacionales de Simulación**, los que*

*alimentados con la geometría del enlace y con los flujos de demanda, **simulan en tiempo real el comportamiento del enlace**, detectando si se producen “colas” en los ramales, interferencias severas en los tramos de trenzado, etc. Ello permite actuar sobre la geometría de las zonas deficitarias y así, por iteración, resolver el problema.*

El Manual Chileno, en su volumen N° 1, tiene un capítulo con nombre “Simulación y Modelación”, donde aborda ampliamente los criterios que deben de ser considerados en el desarrollo de las simulaciones; asimismo, la Federal Highway Administration (FHWA) del departamento de Transportes de los EEUU, en el documento *Traffic Analysis Toolbox Volumen III*, aborda ampliamente el tema de la simulación. Mientras que el Manual Peruano (p. 256) solo le dedica 3 líneas describiendo textualmente lo siguiente: *Es conveniente que, para verificar la conveniencia técnica de la solución, se lleve a cabo el análisis con un modelo de simulación de tránsito, que permita examinar el funcionamiento de la intersección en conjunto con la malla vial aledaña.* No se aborda las exigencias mínimas que debe de cumplir un modelo de simulación para que sea aceptado, a fin de que arroje resultados consistentes. Por otro lado, si bien el diseño vial de este ramal cumple con los requerimientos del manual de carreteras de Perú; sin embargo, presenta problemas de funcionalidad vial generando colas, demoras y probabilidad de ocurrencia de accidentes de tránsito, se proyectó un diseño en base a los requerimientos del manual de carreteras de Chile, el cual respecto a ramales de enlace su literatura la aborda ampliamente y con detalle.

Los resultados evidencias que, al incorporar un carril de cambio de velocidad al ramal de enlace en el empalme con la Av. Alipio Ponce, este **carril evita la formación de colas sobre el ramal de enlace y optimiza el tiempo de viaje reduciéndose en un 36%. Asimismo, genera mejoras en la vía principal (Av. Alipio Ponce) donde se reducen los tiempos de viaje en un 10%.**

Finalmente es importante señalar que:

- 1) Se evidencia que el Manual de Carreteras de Perú presenta vacíos respecto a los parámetros de diseño de ramales de enlace:
 - No define cuáles son los elementos que componen un ramal de enlace: esto incita a que los diseñadores viales formulen diseños los cuales no se ajustan a las necesidades operacionales del área de influencia, asimismo difieren a los diseños que se viene

ejecutando en otros países de la región, tal como se evidenció en la presente investigación.

- No delimita el número de carriles de ingreso y salida que deben de tener un ramal de enlace: esto genera que este criterio sea definido por el diseñador vial, no siendo el más adecuado tal como se evidencio en el caso de estudio, ramal de enlace del intercambio vial Alipio Ponce.
 - No hace mención respecto al equilibrio de carriles: entre el número de carriles de los ramales y de las vías desde donde y hacia donde se integran, con la finalidad que la operación vehicular sea eficiente en la zona del enlace y posteriormente a ella. Este componente en otros manuales de carreteras está incluido como el manual de Carreteras de Chile.
 - No aborda respecto a las herramientas de análisis de tráfico, el papel que cumplen en la elección de la mejor solución vial, procedimientos metodológicos, calibración y validación de estos modelos para que sean aceptables, es decir representen la realidad simulada. Mientras que otros manuales tienen un capítulo que aborda a las herramientas de simulación ampliamente.
- 2) En la presente investigación se evidenció que las herramientas de análisis de tráfico permiten al diseñador vial idealizar alternativas de solución vial y a través de sus resultados (indicadores de desempeño: tiempos, velocidades, colas, densidad, niveles de servicio, otros) conocer en tiempo real que efectos tendría cada alternativa vial en el futuro y así compararlas entre sí y elegir la alternativa que mejores resultados operacionales genera.

4.1. Contratación de hipótesis y verificación de variables

Para la contratación de hipótesis se utilizó pruebas no paramétricas, debido a las siguientes razones: (i) el área de estudio se representa mejor con la mediana, (ii) el tamaño de la muestra es muy pequeña, (iii) se tiene valores atípicos que no se puede eliminar, (iv) no se conoce la forma de distribución de los datos (MINITAB, 2020). Para aplicar la prueba no paramétrica se utilizó el “Método de Correlación de Spearman”, considerando un nivel de significancia de 5% (0.05) y considerando la siguiente regla de decisión:

Si $p < 0.05$, aceptamos la H_a y rechazamos la H_o

Si $p \geq 0.05$, rechazamos la H_a y aceptamos la H_o

Para la contrastación de las hipótesis es importante tener en cuenta:

- (i) Escenario Actual: sin aplicar mejoras al diseño del ramal del intercambio vial Alipio Ponce
- (ii) Escenario Propuesto: aplicando mejoras al diseño del ramal de enlace del intercambio vial Alipio Ponce con la utilización de una herramienta de análisis de tráfico (Vissim: software de modelación).

Para los criterios de decisión se considerarán los alcances que se listan en la figura 21.

Figura 21

Interpretación de coeficientes de correlación

Coeficiente	Evaluación
-1.00	Correlación negativa perfecta. ("A mayor X, menor Y", de manera proporcional. Es decir, cada vez que X aumenta una unidad, Y disminuye siempre una cantidad constante). Esto también se aplica "a menor X, mayor Y"
-0.90	Correlación negativa muy fuerte.
-0.75	Correlación negativa considerable.
-0.50	Correlación negativa media.
-0.25	Correlación negativa débil.
-0.10	Correlación negativa muy débil.
0.00	No existe correlación alguna entre las variables.
+0.10	Correlación positiva muy débil
+0.25	Correlación positiva débil.
+0.50	Correlación positiva media.
+0.75	Correlación positiva considerable.
+0.90	Correlación positiva muy fuerte.
+1.00	Correlación positiva perfecta ("A mayor X, mayor Y" o "a menor X, menor Y", de manera proporcional. Cada vez que X aumenta, Y aumenta siempre una cantidad constante).

Nota: Datos tomados de (Hernández, Sampiere, Fernández Collado, & Batista Lucio, 2014)

Para validar la relación de la aplicación de herramientas de análisis de tráfico respecto a la congestión vehicular, el impacto ambiental y el impacto económico se utilizó los indicadores de desempeño como demoras, toneladas de CO₂ y valor social del tiempo respectivamente.

Tabla 17

Aplicación de herramientas de análisis de tráfico y relación con las variables

variables	Aplicación de Herramienta de Análisis de Tráfico	
	Sin	Con
	Escenario Actual	Escenario Propuesto
Congestión Vehicular	Demoras en segundos	Demoras en segundos
Impacto ambiental	Toneladas de CO ₂ /hr	Toneladas de CO ₂ /hr
Impacto económico	Soles/hora	Soles/hora

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación, se analiza cada una de las hipótesis específicas de la presente investigación.

3.1. Contrastación de Hipótesis

3.1.1. Hipótesis Específica 1

Ha: La aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la Metodología Federal Highway Administration (FHWA) si impacta en la congestión vehicular.

Ho: La aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la Metodología Federal Highway Administration (FHWA) no impacta en la congestión vehicular.

Después de la aplicación de la herramienta de análisis de tráfico (Vissim) en el área de influencia de la presente investigación, los resultados permiten evidenciar que al utilizar esta herramienta (escenario propuesto) el grado de congestión vehicular medido en demoras se reduce en comparación al escenario actual, el impacto positivo es mayor en el ramal de enlace que en la Av. Alipio Ponce.

Tabla 18

Impacto de la congestión representado en Demoras

Segmento de Vía	Aplicación de Herramienta de análisis de Tráfico	
	Sin	Con
	Escenario Actual	Escenario Propuesto
Ramal de Enlace	35 segundos	5 segundos
Av. Alipio Ponce	10 segundos	6 segundos

Figura 22

Segmentos de vía del área de influencia de la investigación



Aceptación o rechazo de la hipótesis:

Para calcular la correlación se utilizó el software SPSS y a partir del “Método de Correlación de Spearman”, se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 23

Correlación: aplicación de una herramienta de análisis de tráfico con la congestión vehicular

			Escenario Actual	Escenario Propuesto
Rho de Spearman	Escenario Actual	Coefficiente de correlación	1.000	-1.000
		Sig. (bilateral)	.	.
		N	2	2
	Escenario Propuesto	Coefficiente de correlación	-1.000**	1.000
		Sig. (bilateral)	.	.
		N	2	2

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Nota: obtenido del programa SPSS

De la figura 23 se observa que la correlación es -1, lo cual significa que hay una correlación negativa perfecta (ver figura 21), por lo que se rechaza la H_0 hipótesis negativa y se acepta la H_a hipótesis alternativa. Se comprueba que la aplicación de herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la Metodología Federal Highway Administration (FHWA) si impacta en la congestión vehicular de forma positiva.

3.1.2. Hipótesis Específica 2

H_a : La aplicación de Herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) si impacta en el aspecto ambiental.

H_0 : La aplicación de Herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) no impacta en el aspecto ambiental.

Después de la aplicación de la herramienta de análisis de tráfico (Vissim) en el área de influencia de la presente investigación, los resultados permiten evidenciar que al utilizar esta herramienta (escenario propuesto) el grado de impacto ambiental medido en toneladas de CO₂ se reduce en comparación al escenario actual.

Tabla 19

Impacto ambiental representado en toneladas de CO₂/hr

Segmento de Vía	Aplicación de Herramienta de análisis de Tráfico	
	Sin	Con
	Escenario Actual	Escenario Propuesto
Ramal de Enlace Av. Alipio Ponce	42.9 tn tn de CO ₂ /hr	39.3 tn de CO ₂ /hr

Aceptación o rechazo de la hipótesis:

Para calcular la correlación se utilizó el software SPSS y a partir del “Método de Correlación de Spearman”, se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 24

Correlación: aplicación de una herramienta de análisis de tráfico con la contaminación ambiental

			Escenario Actual	Escenario Propuesto
Rho de Spearman	Escenario Actual	Coefficiente de correlación	1.000	-1.000
		Sig. (bilateral)	.	.
		N	2	2
	Escenario Propuesto	Coefficiente de correlación	-1.000**	1.000
		Sig. (bilateral)	.	.
		N	2	2

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Nota: obtenido del programa SPSS

De la figura 24 se observa que la correlación es -1, lo cual significa que hay una correlación negativa perfecta (ver figura 21), por lo que se rechaza la H_0 hipótesis negativa y se acepta la H_a hipótesis alternativa. Se Comprueba que la aplicación de Herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) si impacta en el aspecto ambiental.

3.1.3. Hipótesis Específica 3

Ha: La aplicación de Herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) si impacta en el aspecto económico.

Ho: La aplicación de Herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) no impacta en el aspecto económico.

Después de la aplicación de la herramienta de análisis de tráfico (Vissim) en el área de influencia de la presente investigación, los resultados permiten evidenciar que al utilizar esta herramienta (escenario propuesto) el grado de impacto económico medido en soles se reduce en comparación al escenario actual.

Tabla 20

Impacto económico representado en soles/hr

Segmento de Vía	Aplicación de Herramienta de Análisis de Tráfico	
	Sin	Con
	Escenario Actual	Escenario Propuesto
Ramal de Enlace Av. Alipio Ponce	5,482 soles/hora	1,192 soles/hora

Aceptación o rechazo de la hipótesis:

Para calcular la correlación se utilizó el software SPSS y a partir del “Método de Correlación de Spearman”, se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 25

Relación: aplicación de una herramienta de análisis de tráfico con el impacto económico

			Escenario Actual	Escenario Propuesto
Rho de Spearman	Escenario Actual	Coefficiente de correlación	1.000	-1.000
		Sig. (bilateral)	.	.
		N	2	2
	Escenario Propuesto	Coefficiente de correlación	-1.000**	1.000
		Sig. (bilateral)	.	.
		N	2	2

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Nota: obtenido del programa SPSS

De la figura 25 se observa que la correlación es -1, lo cual significa que hay una correlación negativa perfecta (ver figura 21), por lo que se rechaza la H_0 hipótesis negativa y se acepta la H_a hipótesis alternativa. Se comprueba que la aplicación de Herramientas de análisis de tráfico con el enfoque de la metodología Federal Highway Administration (FHWA) si impacta en el aspecto económico.

CAPITULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

De los resultados obtenidos en la presente investigación cabe evidenciar que al igual que las investigaciones referenciadas en la presente investigación, la aplicación de las herramientas de análisis de tráfico, sin importar el tipo software (Ainsun, vissim, otros), permiten comparar los indicadores de desempeño de diferentes escenarios y ayudan a elegir la mejor solución vial, la cual atienda las necesidades operacionales del entorno. Además, permiten que antes de ser construida una infraestructura con un diseño específico (antes de realizar la inversión) se pueda prever su comportamiento funcional en el tiempo y tener la libertad de modificar el diseño en caso de que no atienda la demanda vehicular proyectada. Para plantear la propuesta de solución vial que mitigue los problemas funcionales del intercambio vial Alipio Ponce, se analizó los parámetros contenidos en los manuales técnicos de carreteras de Perú y Chile respecto a los ramales de enlace. De esta revisión se evidenció que los parámetros de diseño del ramal de enlace cumplen con las exigencias del manual de carreteras de Perú; sin embargo, este ramal presenta problemas funcionales, pero al revisar el manual de Chile se identificó que el ramal de enlace no cumple con las exigencias de este manual. El Manual de Perú carece de algunos parámetros de diseño en comparación del Manual de Chile, (i) no define cuáles son los elementos que componen un ramal de enlace: esto incita a que los diseñadores viales formulen diseños los cuales no se ajustan a las necesidades operacionales del área de influencia, asimismo difieren a los diseños que se viene ejecutando en otros países de la región, tal como se evidenció en la presente investigación. (ii) no delimita el número de carriles de ingreso y salida que deben de tener un ramal de enlace: esto genera que este criterio sea definido por el diseñador vial, no siendo el más adecuado. (iii) no hace mención respecto al equilibrio de carriles: entre el número de carriles de los ramales y de las vías desde donde y hacia donde se integran, con la finalidad que la operación vehicular sea eficiente en la zona del enlace y posteriormente a ella. Este componente en otros manuales de carreteras está incluido como el manual de Carreteras de Chile, (iv) No aborda respecto a las herramientas de análisis de tráfico, el papel que cumplen en la elección de la mejor solución vial, procedimientos metodológicos, calibración y validación de estos modelos para que sean aceptables, es decir representen la realidad simulada. El Manual de Chile tienen un capítulo que aborda a las herramientas de simulación ampliamente. **El cumplimiento de los parámetros de diseño de infraestructuras viales no garantiza su funcionalidad, estos**

diseños deben ser validados con herramientas de análisis de tráfico, tal como lo vienen realizando en otros países como es el caso de Chile.

4.2. Conclusiones

En la presente investigación se evidenció que las herramientas de análisis de tráfico permiten al diseñador vial idealizar alternativas de solución vial y a través de sus resultados (indicadores de desempeño: tiempos, velocidades, colas, densidad, niveles de servicio, otros) conocer en tiempo real que efectos tendría cada alternativa vial en el futuro y así compararlas entre sí y elegir la alternativa que mejores resultados operacionales genera, tal como se efectuó para la solución propuesta en el ramal de enlace. Por otro lado, de acuerdo a la prueba de hipótesis realizado se concluye que la aplicación de las herramientas de análisis de tráfico tiene una correlación negativa perfecta con la congestión vehicular, el impacto ambiental y el impacto económico.

Al aplicar la herramienta de análisis de tráfico “visisim” se comprobó que existe un impacto positivo en la congestión vehicular, los resultados evidencian que, al incorporar un carril de cambio de velocidad al ramal de enlace en el empalme con la Av. Alipio Ponce, este carril evita la formación de colas sobre el ramal de enlace y optimiza el tiempo de viaje reduciéndose en un 36%. Asimismo, genera mejoras en la vía principal (Av. Alipio Ponce) donde se reducen los tiempos de viaje en un 10%.

Al aplicar la herramienta de análisis de tráfico “visisim” se comprobó que existe un impacto positivo en la congestión ambiental, los resultados evidencian que, al incorporar un carril de cambio de velocidad al ramal de enlace en el empalme con la Av. Alipio Ponce, las emisiones disminuyen en 3.6 toneladas de CO₂ en la hora de mayor demanda vehicular (de 42.9 tn/CO₂-hp a 39.3 tn/CO₂-hp).

Al aplicar la herramienta de análisis de tráfico “visisim” se comprobó que existe un impacto positivo en el impacto económico derivado de las pérdidas horas hombre, los resultados evidencian que, al incorporar un carril de cambio de velocidad al ramal de enlace en el empalme con la Av. Alipio Ponce, las pérdidas de horas hombre disminuyen y por lo tanto también el impacto económico en 4,290 soles en la hora de mayor demanda vehicular (de S/ 5,482 soles/hp a S/ 1,192 soles/hp).

REFERENCIAS

- Alarcón Vásquez, K., & Sandoval Torres, M. (2021). *Diseño Geométrico de un intercambio vial a desnivel den la intersección de la Av. Raúl Haya de la Torre y la avenida Ftzarrald*. Ecuador.
- CEPAL. (2013). *Congestión de tránsito el problema y cómo afrontarlo*.
- Cali Mayor, R (2010). *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones*. Ciudad de México, pp. 110.
- Fairlie, D. (2016). *Cruzada Vial*. Lima.
- FHWA. (2019). *Herramientas de analisis de tráfico*. EEUU: Federal Higway Administration.
- Google Earth, G. (2022). <https://goo.gl/maps/KRMDQaxLjxSVf958A>. Obtenido de <https://goo.gl/maps/uCMMs8BgYrfwUfu19>.
- Hernandez Rodriguez, A., & Leon Vallejo, O. A. (2021). *Microsimulación de tráfico y congestionamiento vehicular del ovalo Larco*. Trujillo.
- Ipus Gaviria, O. (2016). *Evaluación técnica mediante procesos de microsimulación en tres intersecciones*. Cordoba.
- J. Rivera, L. R. (s.f.). <https://docplayer.es/19059482-Analisis-a-partir-de-micro-simulacion-de-transito-de-retomes-en-vias-multicarril-de-buenos-aires.html>.
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2021). *Nota técnica para el uso de los precios sociales en la evaluación de proyectos de inversión*. Lima.
- Manual de Carreteras 2018. Lima, Perú. Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Recuperado de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manual_es/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-02-18%20Dise%C3%B1o%20Geometrico%20DG-2018.pdf

Manual de Carreteras 2020. Santiago, Chile. Ministerio de Obras Públicas. Recuperado <https://mc.mop.gob.cl/>

Pesántez Jiménez, J. (2014). *Propuesta para la implementación de estaciones de peaje en el proyecto ruta viva: Vía de integración de los valles; y conexión al nuevo aeropuerto.* Quito.

PTV (2008). User Manual. VISSIM 11. Karlsruhe. Alemania.

Traffic Analysis Toolbox Volumen III 2019, EEUU. Federal Highway Administration (FHWA) del departamento de Transportes. Recuperado de <https://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysistools/>