



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA METROPOLITANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE TRANSPORTE Y TRÁNSITO

**Rediseño, Verificación Físico y Operacional de la intersección Pedro de
Valdivia con Av. Irarrázaval**

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO EN TRANSPORTE Y TRÁNSITO

AUTORES:

AVENDAÑO PUIG, TOMÁS
IGNACIO

**PROFESOR GUÍA: Carlos
Antonio Avendaño Sánchez**

SANTIAGO - CHILE

2024

DERECHOS DE AUTOR

Autorización para la Reproducción del Trabajo de Titulación

1. Identificación del trabajo de titulación

Nombre del(os) alumno(s): Tomás Ignacio Avendaño Puig.

E-mail: tavendano@utem.cl.

Título de la tesis: Rediseño, verificación físico y operacional de una intersección.

Escuela: Transporte y Tránsito.

Carrera o programa: Ingeniería en Transporte y Tránsito.

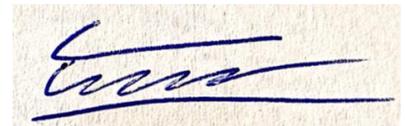
Título al que opta: Ingeniería en Transporte y Tránsito.

2. Autorización de Reproducción (seleccione una opción)

a) Este trabajo de titulación no puede reproducirse o transmitirse bajo ninguna forma o por ningún medio o procedimiento, sin permiso escrito del(os) autor(es), exceptuando la cita bibliográfica, resumen y metadatos que acreditan al trabajo y a su(s) autor(es).

Fecha: 05/09/2024

Firma:



Tomás Ignacio Avendaño Puig.

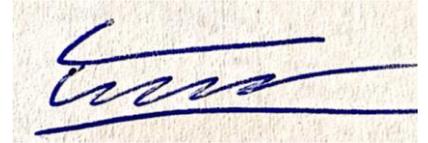
b) Se autoriza la reproducción total o parcial de este trabajo de titulación, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica que acredita al trabajo y a su autor.

En consideración a lo anterior, se autoriza su reproducción de forma (marque con una X):

X	Inmediata
	A partir de la siguiente fecha: _____ (mes/año)

Fecha: 05/09/2024

Firma:



Tomás Ignacio Avendaño Puig.

Esta autorización se otorga en el marco de la ley N°17.336 sobre Propiedad Intelectual, con carácter gratuito y no exclusivo para la Institución.

CALIFICACIONES

NOTA OBTENIDA 6,5



A circular stamp from the Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería, Director Escuela de Transporte y Tránsito. The stamp features a central shield with a cross and a smaller shield. To the right of the stamp is a handwritten signature in blue ink, enclosed in a circle. A horizontal line is drawn across the bottom of the stamp and signature.

Firma y timbre de la autoridad responsable

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

TABLA DE CONTENIDO	7
Resumen.....	9
CAPITULO N°1:	10
INTRODUCCIÓN	10
1.1 INTRODUCCIÓN	10
OBJETIVOS.....	12
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	12
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.2.3 ALCANCES Y LÍMITES	13
1.3 CONTENIDOS	14
CAPITULO N°2:	15
ANTECEDENTES	15
2.1 ANTECEDENTES	15
¿Qué es un cruce tipo Tokio y para qué sirve?	18
Representación del Problema	19
Formulación del Problema.....	19
Objetivos	21
Hipótesis	21
Revisión de la Literatura.....	22
Modelos de simulación del trafico.....	23
Fundamentos de la micro simulación	27
CAPITULO N°3:	29
MARCO METODOLÓGICO	29
3.1 METODOLOGÍA.....	29
Modelación microscópica	34

Propuestas de mejora	35
DESCRIPCIÓN DE LA INTERSECCION ACTUAL Y PROCESAMIENTO DE DATOS	36
Antecedentes de periodización, diseños de fases y programaciones de la intersección	38
Flujos vehiculares	41
Flujos peatonales	48
Caracterización de la situación actual	50
Intersecciones Semaforizadas	51
CAPITULO N°4:	52
DESARROLLO	52
Simulación SIDRA.....	52
Microsimulación AIMSUN.....	59
Calibración de la situación actual (microsimulación).....	67
CAPITULO N°5:	74
RESULTADOS.....	74
Resultados Simulación e Indicadores Operacionales de Escenarios de Microsimulación AIMSUN.....	74
Determinación de los Niveles de Servicio Existentes	85
Cálculo del Costo Social Total en la Situación Actual.....	90
Cálculo del Costo Social Total en la Situación con Proyecto	91
CAPITULO N°6:	94
CONCLUSIÓN	94
Bibliografía	97

Resumen

El cruce tipo Tokio es una implementación para que los peatones puedan cruzar en diagonal evitando que estos hagan dos cruces de calle para llegar a un mismo punto.

Uno de sus principales beneficios de esta medida es que puede unir esquinas opuestas en un solo atravesado y que el peatón no tenga que esperar dos fases del semáforo para llegar a su destino.

Es por ello por lo que el objetivo general del trabajo es analizar los beneficios que trae este rediseño, seguridad, descongestión, mejorar los tiempos de demora, etc.

Para dar cumplimiento al objetivo establecido, se han realizado mediciones de flujo vehicular y peatonales.

Se creó un escenario con un cruce peatonal en diagonal mediante un software de microsimulación, Aimsun y para mostrar grados de saturación como también optimización de los repartos del semáforo se ocupó la herramienta Sidra.

Tras observar los resultados anteriormente expuestos, se aprecia que, suben los tiempos de demora ya que es producido por una fase adicional donde se hizo una modificación en los repartos en los tiempos de verde debido la fase adicional, sin embargo, los grados de saturación como la cola de vehículos disminuye bastante en comparación al diseño actual de la intersección.

Palabras Clave: Cruce Tipo Tokio, Aimsun, Transporte y Tránsito.

CAPITULO N°1: INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de título se analizarán los conflictos vehículo-peatón que se producen en una intersección semaforizada y para la cual se planteará una solución físico-operacional con capacidad de ser replicable a otras intersecciones.

La solución estudiada reúne las características de una propuesta moderna que actualmente se aplica especialmente en intersecciones con alto flujo de peatones como vehículos, denominado: Cruce peatonal tipo Tokio (Pedestrian Crossing).

El cruce peatonal tipo Tokio, surge en los años 40 en varios lugares de norte América. Sin embargo, el lugar más emblemático donde se ha utilizado este tipo de solución es en Tokio, por eso se conoce con ese nombre.

Estas intervenciones viales consisten en aislar los conflictos vehículo-peatón que se producen en una intersección, generando fases del semáforo independientes para estos modos y de esta manera proporcionar mayores facilidades a los peatones para cruzar las calles involucradas, agregando a los cruces peatonales tradicionales atravesos diagonales.

Si bien en la ley chilena N°18.290 señala en un artículo N°162, inciso N°5, del tránsito de peatones que: “En ningún caso podrán cruzar la calzada en forma diagonal o por el área de la intersección de las calzadas”. Sin embargo, varios proyectos de este tipo, ya han sido desarrolladas e implementados por distintos municipios como Las Condes, Santiago y Providencia, los cuales han sido respaldados por la Unidad Operativa de Control de Tránsito y el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. Si bien, en un principio tomaron la categoría de proyectos piloto, se han masificado no sólo en la región Metropolitana sino también en las regiones de nuestro país, por lo que sería importante que en el futuro puedan incorporarse al manual de señalización de tránsito como una solución formal, ya que no se ha podido regular sin modificar la normativa que está vigente.

OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Proponer un diseño de intercambio vial para mejorar el nivel de servicio en la intersección de Av. Pedro de Valdivia con Av. Irarrázaval.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Presentar una mejora en la operación del cruce.
- Proponer una mayor seguridad en el cruce.
- Evaluar las diferencias en el conflicto vehiculo-peaton entre la situación actual y propuesta
- Evaluar los indicadores operacionales y el nivel de servicio de la intersección.
- Proponer una disminución el recorrido y el tiempo de circulación peatonal.

Estos objetivos se lograron mediante la microsimulación de los dos escenarios con y sin el rediseño en donde se implementaron los resultados de las mediciones, comparando y analizando los diferentes criterios.

Este documento se estructura de manera tal de orientar al lector sobre los contenidos a evaluar, la metodología a utilizar, los resultados obtenidos, análisis de ellos y finalmente las conclusiones obtenidas.

1.2.3 ALCANCES Y LÍMITES

Solo se recoleta información de la literatura chilena en base a la información para su implementación de los cruces tipo “Tokio” a lo largo del país.

La experiencia chilena sobre este tipo de cruces al momento de llegar a un cruce de estas características

Que en futuras intersecciones donde se presente una alta densidad peatonal sea una opción la implementación de este tipo de cruces.

Esta mejora se realiza dentro de la comuna de Ñuñoa la cual le daría una mayor eficiencia a la circulación de vehículos como peatones.

1.3 CONTENIDOS

En el capítulo 1. **Introducción**, se exponen los objetivos de esta investigación, el resumen y su presentación.

En el capítulo 2. **Antecedentes**, se analiza toda la bibliografía necesaria para entender cómo se implementa el parámetro para seleccionar una facilidad peatonal en los países investigados.

En el capítulo 3. **Marco metodológico**, se explica bajo qué método se realizará la investigación.

En el capítulo 4. **Desarrollo**, se muestran el desarrollo y cómo se llegó a los resultados.

En el capítulo 5. **Resultados**, se muestran los resultados obtenidos luego del desarrollo descrito en los antecedentes y en el marco metodológico.

En el capítulo 6. **Conclusiones**, se exponen las conclusiones a las que se llegan, a partir de los objetivos iniciales.

CAPITULO N°2:

ANTECEDENTES

2.1 ANTECEDENTES

En todas las partes del mundo predominan las intersecciones típicas, las cuales en su mayoría presentan con algún tipo de demarcación como paso de cebra o paso peatonal, pero se cruza por la acera en forma recta.

Al ritmo actual se estima que la población de la región metropolitana de 7,29 millones de personas en 2015 se incrementará hasta los 8,84 millones en 2035. Lo que implica que más gente circulará por las calles tanto en vehículos como en transporte público o en el modo caminata (Seremi de Desarrollo Social y Familia Metropolitana , 2019).

Actualmente los pasos de peatones más comunes los cuales se tiene conocimiento todas las personas son la zona de intersección del tránsito peatonal; es la parte del itinerario peatonal que cruza la calzada de circulación de vehículos, al mismo o a diferente nivel como lo son los pasos de cebra o paso peatonal con líneas paralelas horizontales blancos.

Estos tipos de cruces te permiten cruzar en diagonal en intersecciones reguladas por semáforo y con la demarcación pertinente para que se pueda ejecutar ese tipo de movimiento. Muchos países del mundo han implementado este tipo de soluciones en lugares con alta densidad peatonal, la cual permite llegar de una esquina a otra en un menor tiempo sin tener la necesidad de esperar un tiempo adicional del semáforo para poder cruzar.

Figura 1.



Fuente: “Cruce tipo Tokio” Ubicado en la comuna de Providencia, Imágenes de Google.

A nivel global, este tipo de soluciones se ha utilizado en muchas ciudades importantes donde la principal justificación para su implementación es la acumulación de gente que atraviesa por un cruce semaforizado durante todo el día, incrementado durante ciertos periodos del día por las distintas actividades que se producen en un sector o de la estación de un METRO, estación de transbordo, centro comercial, etc.

La necesidad de aplicar este tipo de cruces es creciente en todas las partes del mundo, cuyo propósito es regular las grandes aglomeraciones de personas y vehículos para darle una mayor continuidad en la circulación, bajar el grado de congestión de estas mismas y mejorar los niveles de servicio.

En síntesis, este trabajo de título tiene por objetivo proponer un rediseño vial de la intersección de Av. Pedro de Valdivia con Av. Irarrázaval, mejorando los niveles de servicio actuales, mediante un adecuado modelamiento que permita una mayor fluidez el flujo vehicular en las intersecciones analizadas.

Para su concreción se seleccionó una intersección que reuniera ciertas características relacionadas con una alta actividad peatonal y también de vehículos.

Luego para esta intersección se realizó un catastro físico y operativo además de mediciones de peatones y flujo de vehículos para un día laboral normal.

Posteriormente, para analizar los movimientos vehiculares de manera ver los conflictos con los peatones y dar mayor fluidez a la circulación de los movimientos, para lo cual se emplearán simultáneamente los modelos de tránsito SIDRA INTERSECCION 5.1 para determinar las programaciones óptimas y AIMSUN NEXT para validar visualmente la consistencia de operacional. Para luego validar la operación del semáforo de esta intersección se contrastarán los principales indicadores operacionales (grados de saturación, Largos de Cola y Demoras) de la situación actual y propuesta de mejoramiento.

¿Qué es un cruce tipo Tokio y para qué sirve?

Los cruces tipo Tokio, son intersecciones viales donde los peatones pueden desplazarse de manera diagonal, para evitar aglomeraciones. Estos se pueden cruzar en todas las direcciones, es decir, de forma tradicional de un costado a otro, pero también se puede cruzar en diagonal. En la cual estos se desarrolla una fase todo peatón. Donde se detienen todos los vehículos, se les da la luz roja y se ponen en verde todas las luces peatonales para mejorar los desplazamientos de las personas, ampliar el espacio en el cual circulan y evitar aglomeraciones demasiado fuertes. Esta entrega mejores condiciones de seguridad y ahorra tiempo al permitir a las personas cruzar en forma diagonal.

Figura 2.



Fuente: "Cruce tipo Tokio" Ubicado en la comuna de Las Condes.

Fase exclusiva de peatones: Es el momento el cual todos los peatones tengan verde los vehículos tendrán que detenerse y esperar la siguiente fase para continuar su circulación mejorar la seguridad de los peatones la cual se evita el viraje de los vehículos.

Representación del Problema

Realidad Problemática

El problema es ocasionado por la alta densidad peatonal como vehicular que circula en el cruce Av. Pedro de Valdivia con Av. Irarrázaval ya que el sector presenta una gran cantidad de locales comerciales, bancos, recorridos de transporte público, etc. Además de ser un lugar el cual hay viviendas a su alrededor.

En la actualidad el problema se agudizo debido a la instalación de la estación de metro “Ñuñoa” debido a la alta demanda de peatones y adicionando la del tráfico vehicular en la zona tanto para Pedro de Valdivia como para Irarrázaval ya que presentan dos pistas por sentido para todos los puntos cardinales siendo una de ellas uso exclusivo para bus reduciendo la capacidad de esta lo que conlleva a generar grandes colas y aumentar los tiempos de demoras.

Para solucionar este problema se tiene que analizar la intersección actual y encontrar sus deficiencias, con ello se rediseñara Av. Pedro de Valdivia y Av. Irarrázaval, con ello se espera dar una solución no solo a la alta densidad peatonal, sino que también al tráfico vehicular e implementar infraestructura de seguridad vial y peatonal que carece en la zona.

Formulación del Problema

Problema General

¿La actual infraestructura vial del cruce de Av. Pedro de Valdivia y Av. Irarrázaval genera una alta densidad peatonal para que los peatones circulen con normalidad y sin problemas? ¿El cruce genera congestión vehicular?

Problemas específicos

¿Mediante qué propuesta de diseño de intercambio vial, se puede mejorar el nivel de servicio del cruce de la Av. Pedro de Valdivia con Av. Irarrázaval?

¿Qué sistema de señalización y seguridad vial debe considerarse antes, durante y después

de la intersección de la Av. Pedro de Valdivia con Av. Irarrázaval

¿Cómo mitigar el impacto al intercambio vial que tendrá la intersección?

Justificación

Es algo notorio la necesidad de solución al cruce Pedro de Valdivia con Irarrázaval ante la gran cantidad de flujo que circula tanto vehicular y peatonal sin dejar de lado a los ciclistas que tienen una ciclo vía por Pedro de Valdivia hacia el norte. Para la generación de estos tipos de cruces hay que tener dos factores que son muy importantes: primero que sea un cruce de alto flujo peatonal; y segundo que sea semaforizado, ya que el flujo vehicular debe ser detenido para conceder el paso a los peatones que cruzan en todas las direcciones. Por otro lado, la mayor cantidad de accidentes en el cruce están involucrados los vehículos con los peatones por lo cual se realizaría una mejora en ámbitos de seguridad.

Es por ello que propuesta para el cruce es para mejorar los niveles de servicio que presenta y calidad del lugar.

Objetivos

Objetivo General

- Proponer un diseño de intercambio vial para mejorar el nivel de servicio en la Av. Pedro de Valdivia y Av. Irarrázaval.

Objetivos específicos

- Optimizar la operación en el cruce.
- Aumentar la seguridad en el cruce.
- Minimizar el conflicto Vehículo – Peatón.
- Mejorar los indicadores operacionales y el nivel de servicio de la intersección.
- Minimizar el recorrido y el tiempo de circulación peatonal
- Disminuir la densidad peatonal.

Hipótesis

Hipótesis General

- El cambio operacional para la intersección mejoraría la congestión vehicular y peatonal de Pedro de Valdivia con Irarrázaval.

Hipótesis Especificas

- La propuesta puede mejorar el nivel de servicio del cruce Pedro de Valdivia con Irarrázaval.
- El rediseño mejoraría la seguridad de tanto los peatones como ciclistas que circulan por la zona.

Revisión de la Literatura

Modelo y sistema

Los sistemas están conformados por elementos que guardan relación alguna que les permite interactuar con las demás partes de la red. (Aquiles, 1995). Las redes de transporte son muy importantes en varios aspectos para la sociedad, ya que un mal o inadecuado funcionamiento puede generar serios problemas en la salud, seguridad y en el bienestar económico de las personas. Ante esta situación, los profesionales se han visto en la necesidad de modelar estos sistemas complejos, mediante enfoques reduccionistas, modelos basados en agentes entre otros. La representación del sistema mediante modelos nos ayuda analizar y predecir su comportamiento mediante la simulación de ellos (Porcellinis, 2009). En el proyecto de estudio, los elementos que conforman el sistema son las demandas vehiculares, peatonales e infraestructuras viales.

Modelos de simulación del tráfico

Los modelos, en la ingeniería de tránsito, son herramientas en las cuales se permiten evaluar el comportamiento vehicular y peatonal. En actualidad, existen diferentes modelos y la elección de uno de estos se realiza de acuerdo a la extensión de área de estudio, el nivel de detalle requerido y sus limitaciones. Los modelos se pueden clasificar siguiendo tres criterios.

Según el tipo de variable: Modelos continuos o discretos.

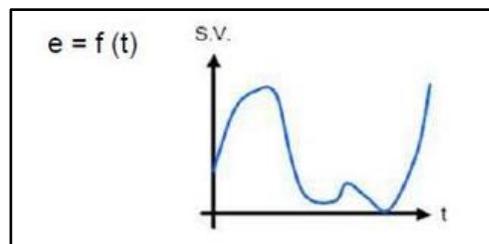
Según en nivel de aleatoriedad: Modelos determinísticos y estocásticos. Según el nivel de detalle: Modelos macroscópicos, mesoscópicos y microscópicos.

Según el tipo de variable

a) Modelo continuo

En los modelos continuos la dependencia entre las variables genera que estas evolucionen solo de forma continua. En este modelo las variables experimentan cambios en infinitos puntos en el tiempo (Tarifa, 2001). Por ejemplo, la posición, velocidad y aceleración de los vehículos en una vía son variables continuas que dependen y varían a lo largo de todo el tiempo.

Figura 3.

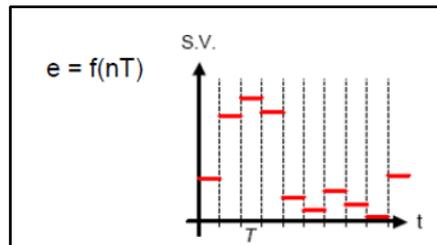


Fuente: "Gráficos de modelos continuos", Imágenes de Google.

b) Modelo discreto

Existen varios sistemas dinámicos que se han representado a través de modelos de eventos discretos. En estos modelos las variables de análisis sufren modificaciones instantáneas solamente dentro de un rango preciso de tiempo. (Paez, Urriza, Orozco, & Buckle, 2011). Por ejemplo, el software Aimsun es un modelo discreto, ya que esta actualiza la posición de los vehículos en una fracción de segundo de simulado.

Figura 4.



Fuente: “Gráficos de modelos discretos”, Imágenes de Google.

Según el nivel de aleatoriedad

1. Modelo Determinístico

Son modelos matemáticos cuya solución para determinadas condiciones es única y siempre la misma; es decir, para la misma entrada producirá invariablemente las mismas salidas. En estos modelos los datos se conocen con certeza los datos y no se contemplan la existencia de incertidumbre (Pimentel, 2014).

2. Modelo Estocásticos

Por el contrario, los modelos estocásticos predicen un conjunto de resultados posibles a partir un grupo de datos de entrada. Estos modelos contienen uno o más variables aleatorias y las relaciones entre variables se toma por medio de funciones probabilísticas (Taylor & Karlin, 1998). Estos modelos son la mejor forma de conocer al comportamiento del sistema del mundo real, ya que al menos una de las partes del sistema presenta conductas estocásticas propias por naturaleza o por desconocimiento del fenómeno (Tarifa, 2001). Por ejemplo, para el diseño

de un sistema de transporte más eficiente que optimice los tiempos de viaje se identifican variables como la demanda, tiempos de espera y de servicio que no se conocen con seguridad, por lo que para lograr con el objetivo se emplean modelos estocásticos (Dallos Lizcano & Galeno Leon, 2016). El software Aimsun introducen la aleatoriedad en la simulación del tráfico a partir de los números de semilla que usa en cada corrida de la simulación. Los números de semilla indican la agresividad de cada conductor.

Dentro de los modelos estocásticos existe una división según el nivel de detalle con que el modela analicé el sistema, estos son los siguientes: modelos macroscópicos, mesoscópicos y microscópicos.

Según el nivel de detalle a analizar

1. Modelo macroscópico:

Los modelos macroscópicos analizan los flujos peatonales y vehiculares como un medio continuo donde solo interesan sus cantidades promedios como la densidad y la velocidad media. Estos modelos consisten en ecuaciones derivadas de la dinámica de fluidos (Twarogowska, Goatin, & Duvigneau, 2014). Los modelos macroscópicos para el estudio del tránsito fueron introducidos en los años cincuenta por Lighthill y Whitham (1955) y Richards (1956) en la cual presentaron su trabajo sobre la dinámica de las olas del flujo de tráfico.

2. Modelos mesoscópicos:

Los modelos mesoscópicos es una representación intermedia entre los modelos microscópicos y macroscópicos ya que usan conceptos y herramientas de ambos modelos para analizar el comportamiento de un grupo de conductores (Robles, Ñañez, & Quijano, 2009). En estos modelos las identidades para el análisis dinámico del tráfico se describen con nivel alto de detalle, pero las relaciones e interacciones entre ellas no son tan minuciosas. Por ello, su uso está limitado a áreas donde las interacciones entre vehículos y/o peatones no afecten en gran medida a los resultados de la simulación (Burghout, 2004).

3. Modelo microscópico:

Estos modelos, representan el tráfico urbano de una manera más detallada; es decir analizan el tráfico considerando a cada vehículo y peatón como una entidad. Por ello, los modelos microscópicos proporcionan una descripción de los movimientos de los vehículos individuales que se consideran resultado de las características de los conductores y los vehículos, las interacciones entre las unidades del vehículo y las características de la vía, las condiciones externas, y las regulaciones y control del tráfico (Bovy, Bottom, & Ben-Akiva, 2007). El nivel de detalle en la interacción entre las identidades de este modelo se ve refleja cuando el vehículo acelera, desacelera, cambian de carril y hace la elección de la ruta. La aceleración de los vehículos está gobernada la teoría de seguimiento vehicular, el cambio de carril se da en función de la velocidad del vehículo del frente, el espacio del carril adyacente entre otros. Los resultados de estos modelos son muy sensibles a la construcción de la red, el control del tráfico, demanda de los usuarios de la red. Además, presentan una tarea muy complicada en la hora de la calibración y validación, esto se puede evidenciar en los pocos manuales que permitan alcanzar estos objetivos (Burghout, 2004).

4. Micro-simulación vehicular y peatonal

En los últimos años, los modelos de micro simulación representan una importante herramienta para el desarrollo de una gran variedad de estudios de tránsito y son clave en el proceso de planeación y ajuste en la infraestructura vial y de transporte. Con el paso del tiempo y con el consecuente desarrollo tecnológico, se han convertido en un elemento fundamental para la evaluación tanto de las propuestas de solución de problemas de tránsito existentes, como para la correcta formulación de nuevos proyectos de infraestructura vial.

Fundamentos de la micro simulación

Aleatoriedad en el modelo a micro simular

La mayoría de las intersecciones pueden ser estudiadas de forma de determinística o aleatoria. Por un lado, los modelos determinísticos consideran que no existe variación en las características de los conductores y vehículos. Esta hipótesis asumida del modelo determinístico no es cierta, ya que cada uno de los conductores tienen una forma particular de comportarse que depende del estado de ánimo, experiencia del conductor, entre otros. Además, las longitudes de todos los vehículos en ninguna intersección no son iguales. Por otro lado, los modelos de estocásticos dependen de números aleatorios para generar vehículos, seleccionar su destino y ruta, y determinar su comportamiento a medida que se mueven a través de la red. Por ello, se indica que el modelo de micro simulación tiene un carácter aleatorio y que debe ser analizado repetidamente hasta encontrar una respuesta con un grado de determinado de confiabilidad. En muchos proyectos de ingeniería se considera un grado de confiabilidad de 95 por ciento.

Número de corridas

En los modelos de micro simulación microscópica se debe realizar múltiples corridas debido a su naturaleza aleatoria y a que se trabaja con muestras pequeñas, con el fin de obtener resultados fiables que pueden ser extrapolados a población.

De acuerdo a The Federal Highway Administration (FHWA, 2004), el número de corridas mínimas se logra de mediante un proceso iterativo. Para iniciar en el proceso de iteración se recomienda que la primera muestra sea de cuatro corridas, con lo cual se determina la desviación estándar usando la siguiente formula.

$$S^2 = \frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N - 1}$$

Donde:

S= desviación estándar

X= variable para la que se requiere la varianza de la muestra

\bar{x} = promedio de los valores de x

N=número de corridas

Es importante mencionar que existen otras recomendaciones para el número mínimo de corridas, algunos autores recomiendan realizar 20 corridas de simulación con diferentes números de semillas. Además, a mayor número de corridas se obtendrán mejores resultados.

CAPITULO N°3:

MARCO METODOLÓGICO

3.1 METODOLOGÍA

La metodología propuesta tiene por objetivo optimizar la operación de la intersección Pedro de Valdivia con Av. Irarrázaval, siendo la primera una vía de carácter troncal y la segunda una vía de carácter de servicio pero que permite la conectividad entre 2 ejes bastante relevantes en la comuna como son entre Plaza Ñuñoa y Bustamante.

En este sentido se realizó un análisis de factibilidad para el cambio de diseño en un cruce tipo Tokio y a su vez evaluar los tiempos de demora de los autos al realizar el viraje a la derecha como también el de los peatones.

Para este análisis se empleó el modelo de tránsito AIMSUN NEXT que permitió validar visualmente su consistencia operacional.

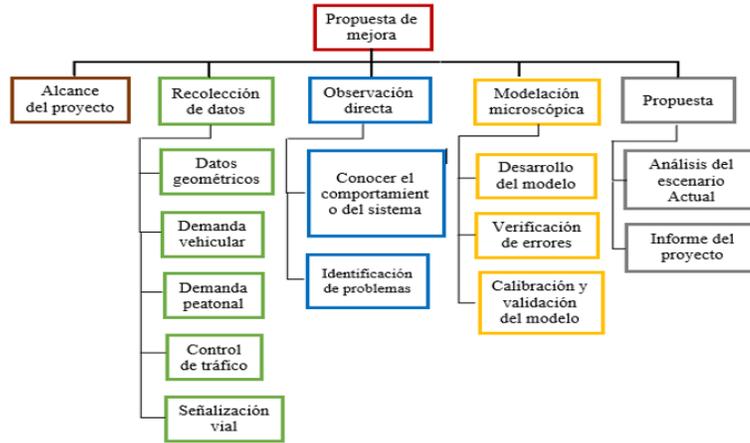
Previó a la simulación AIMSUN se recopiló abundante información para la construcción del modelo, entre la cual se incluye la periodización para la definición de los periodos críticos punta mañana y punta tarde de la red de los semáforos involucrados, además de sus programaciones y también el levantamiento de un catastro físico y operativo de la vialidad del área de análisis definida.

Para los periodos punta mañana y punta tarde se realizaron mediciones de flujo vehicular en cada una de las intersecciones insertas en el área de análisis.

Posteriormente, para validar la operación e impacto de la alternativa de cambio operación a un cruce tipo Tokio se contrastaron los principales indicadores operacionales con la situación actual, entre los cuales, Tiempos de viaje, Demoras y Densidad.

Finalmente, con los resultados de los indicadores operacionales y el complemento de los videos de la micro-simulación permitirán resolver cual es la manera más conveniente y segura que opera el cruce.

Figura 5. Mapa Conceptual de la Metodología



Fuente: Elaboración propia.

Alcance del proyecto

El propósito de este proyecto es proponer un rediseño geométrico de la intersección y aplicar medidas de gestión de tránsito, con la finalidad de lograr un mejor escenario para todos los usuarios de la intersección.

El área de estudio de proyecto es la intersección conformada por Av. Irarrazabal y Pedro de Valdivia, ubicada en la comuna de Ñuñoa. Para el modelamiento de la intersección se usó el software Aimsun.

Recolección de datos

La recolección de datos se realizó mediante visitas a la intersección, en las cuales se realizaron mediciones y se sacaron fotografías. Las fotos se sacaron desde varios puntos distintos de la intersección para tener mejor visualización de esta y para los datos se hizo medición de un día de la semana en horario laboral Punta mañana y Punta Tarde para la calibración y la validación del modelo. En las siguientes líneas se detallan los datos que fueron tomados.

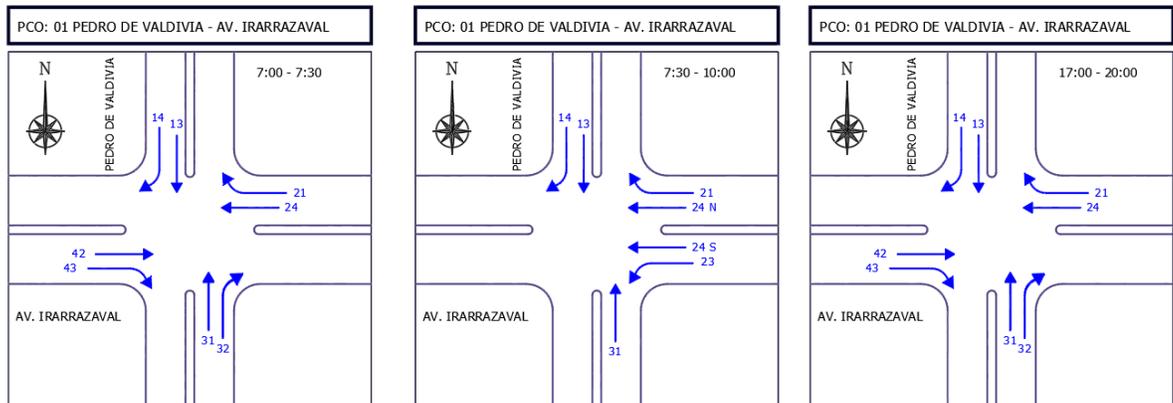
Datos de geometría

La geometría de la intersección se determinó mediante el uso de una herramienta de medición del teléfono y un odómetro, un plano bosquejo de la intersección y la ayuda de una persona. La aplicación y odómetro se logró obtener las dimensiones de las veredas, de las rampas de acceso, de las medianas, las islas peatonales y el ancho de las pistas. Estas dimensiones fueron colocadas sobre el plano preliminar de la intersección.

Datos de flujos vehiculares

La recolección de los flujos vehiculares en la intersección se realizó a partir de las mediciones que se hicieron en el lugar. Como primer paso se clasificó los vehículos que circulan por esa intersección. En la Figura presentan la composición vehicular de la zona de estudio. Luego, se procedió hacer el conteo del flujo vehicular en intervalos de tiempos de 15 min en los horarios punta, considerando la dirección a la que se dirigen y de donde parten, además hay que añadir que en la punta mañana el eje de Av. Irarrázaval es reversible la cual todo el flujo va en dirección hacia el poniente. En la imagen se muestra los movimientos de la intersección en la punta mañana donde sucede la reversibilidad y el resto del día.

Figura 6. Diagramas de Movimientos Vehiculares



Fuente: Elaboración propia.

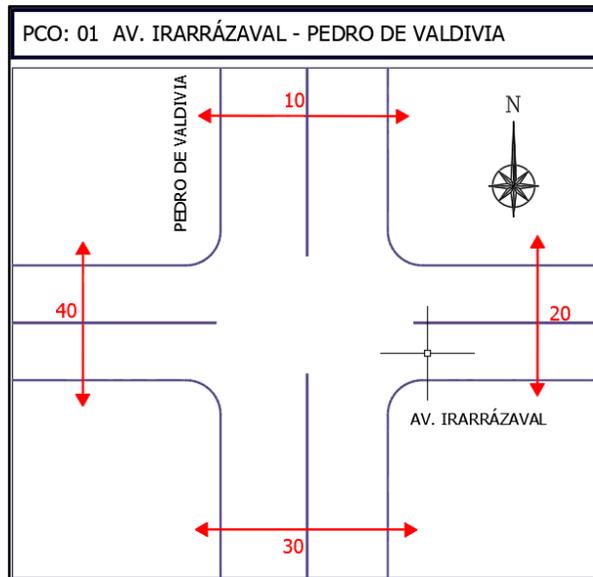
Datos de flujos peatonales

Las mediciones de flujo de peatones tienen por objetivo analizar la actividad peatonal producida en el entorno en el cual se emplaza el proyecto.

Para lo cual se realizaron mediciones peatonales en las mismas fechas y horarios definidos para la medición de los flujos vehiculares continuos y para la(s) misma(s) intersección(es), es decir, desde las 07:00-21:00 horas. Los peatones se contabilizaron en cada acceso de la intersección en lapsos de 15 minutos al interior de cada hora de medición.

En la figura siguiente se presenta la identificación de los movimientos peatonales medidos en cada intersección.

Figura 7. Diagramas de Movimientos Peatonales



Fuente: Elaboración propia.

Tiempos de viaje vehiculares y peatonales

Los tiempos de viajes se determinaron para cada tipo de vehículo y peatón fijando tramos en los carriles convenientemente, el cual para los vehículos se determinó de una velocidad máxima de 50 Km/h y la del peatón de 0.9 según indica el manual de señalización de tránsito capítulo 4. Estos valores se usaron para determinación de las velocidades y la calibración del modelo.

Observación directa

Esta etapa del proyecto se lleva juntamente con la recolección de datos, la cual tiene como objetivo conocer el comportamiento e identificar los problemas que presentan los vehículos, peatones, ciclistas y otros usuarios. Los datos extraídos mediante la observación directa servirán para el análisis cualitativo de la intersección.

Modelación microscópica

Desarrollo del modelo

La construcción del modelo se puede dividir en cinco grupos. Por un lado, se debe crear la geometría de la intersección. Este empieza mediante la importación de una imagen satelital o un plano digital de la zona de estudio en el software. Seguidamente se realiza el escalamiento de la imagen, el trazado de los carriles que conforman la intersección y la implementación de las áreas peatonales. Luego se conecta las vías y zonas peatonales según los movimientos que se realizan en los usuarios en el área de estudio.

Por otro lado, se debe introducir los vehículos y peatones presente en zona de análisis. Esto se logra configurando y definido la composición de los vehículos y peatones en el modelo. En algunos casos es necesario la creación de vehículos, ya que estos no están como predeterminados en el programa. Luego se debe codificar los volúmenes y la gráfica de velocidades de todos los usuarios.

Seguidamente, se debe establecer el control del tráfico en las vías y cruceros. En intersecciones de pocas zonas de interferencia se puede solucionar con el comando de áreas de conflicto. En otros casos de gran cantidad de zonas de interferencias es necesario realizar en cada lugar de conflicto reglas de prioridad. En caso de ser una intersección semaforizada, se debe introducir los ciclos del semáforo y la ubicación de la línea de pare.

Verificación del modelo

La verificación se debe llevar de manera simultánea a lo largo de todo el desarrollo de todo el modelo. Uno de los errores más presentes es la regulación de tráfico, para su identificación se deberá correr el modelo en 3D. Además, se debería tener un control de los volúmenes, velocidades, dimensiones de los carriles y la conectividad de las vías. Es importante realizar este control, para tener valores coherentes en el proceso de calibración.

Calibración y validación del modelo

El proceso de calibración del sistema asegura que nuestro modelo represente con precisión la densidad del tráfico y el comportamiento presente.

Propuestas de mejora

Análisis del proyecto

Una vez que el modelo este calibrado y validado se inicia con el análisis de la situación actual de la intersección. Por un lado, los análisis se realizan mediante los parámetros de eficiencias, como los tiempos de viaje, longitudes de colas y velocidades de viaje. Con las variables de eficiencias determinadas mediante el software se evalúan cualitativa y cuantitativa de la calidad de circulación vehicular. Por otro lado, se realiza una inspección de seguridad vial que nos permitan identificar los posibles riesgos de accidentes. Seguidamente, se plantean un rediseño de la intersección siguiendo las recomendaciones de instituciones interrelaciones.

Informe del proyecto

Esta etapa comprende realizar un reporte en donde se presentan los datos recolectados de campo, el desarrollo del modelamiento, la verificación, calibración, validación y resultados del análisis.

DESCRIPCIÓN DE LA INTERSECCION ACTUAL Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Análisis de la intersección actual

El área de investigación está conformada por la intersección de la Av. Irarrázaval con Pedro de Valdivia, en la comuna de Ñuñoa. Las dos calles mencionadas la conforman dos pistas en cada sentido. En la siguiente imagen se muestra la ubicación de la zona de estudio para la evaluación del tránsito vehicular y peatonal.

Figura 8. Intersección analizar



Fuente: Elaboración Propia, Google Earth.

En el área de estudio mencionada se realizó un análisis microscópico con la herramienta Aimsun. Para ello, se consideró como usuarios de la intersección los peatones y vehículos, cuyas características se presentan en la etapa de recolección de datos.

En la intersección existe un gran flujo vehicular y peatonal debido al comercio que se realiza a sus alrededores y la estación de metro Ñuñoa a pasos de la intersección. Por un lado, el comercio en esta intersección se debe a la presencia de talleres mecánicos, supermercados, bancos, restaurantes y centros comerciales. Por otro lado, la entrada al metro es únicamente por la calle Pedro de Valdivia como también su única salida la cual está a pasos de la intersección.

Antecedentes de periodización, diseños de fases y programaciones de la intersección

Las programaciones de la intersección analizada forman parte de la **Red SCAT N°74**, la cual se encuentra inserta en la Comuna de Ñuñoa.

Periodización Intersección de Av. Irarrázaval con Pedro de Valdivia (J074281)

A continuación, en el cuadro siguiente se presenta la periodización vigente de la intersección analizada.

Tabla N°2. Periodización

PERIODIZACION : (L:LUNES-JUEVES; V:VIERNES; S:SABADO; D:DOMINGOS Y FESTIVOS)

DIA	HORA	PLAN
L	0:01	9
L	7:00	2
L	7:30	31
L	10:00	4
L	11:00	14
L	15:30	5
L	17:00	32
L	21:00	1
L	23:00	9

DIA	HORA	PLAN
S	0:01	9
S	9:00	4
S	10:30	7
S	14:30	8
S	21:15	1
S	23:00	1

DIA	HORA	PLAN
D	0:01	9
D	10:00	1
D	22:00	9

Fuente: UOCT.

Diseño de Fases Intersección de Av. Irarrázaval con Pedro de Valdivia (J074281)

A continuación, en el cuadro siguiente se presenta el diseño de fases de la intersección analizada en la tarea de investigación.

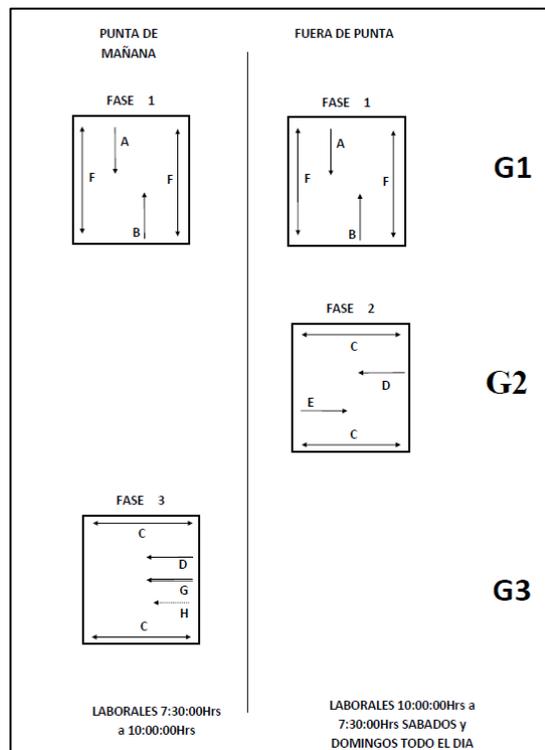
Tabla N°3. Diseño de Fases de la Intersección Analizada

RED	CODIGO	INTERSECCION	FASE 1	FASE 2	SECUENCIA
74	J 074 281	Av. Irarrázaval / Pedro de Valdivia	Pedro de Valdivia	Av. Irarrázaval	1-2-3

Fuente: UOCT.

La información anterior, adicionalmente se complementa con la representación gráfica de los diseños de fases de la intersección expuesta.

**Figura 9. Diagramas de Movimientos Peatonales
Cruce: Av. Irarrázaval / Pedro de Valdivia (J074281)**



Fuente: UOCT.

Programaciones Actuales de Semáforos de la Intersecciones Analizada

A continuación, se presentan las programaciones de la intersección analizada, la que fue adquirida a la UOCT previa ejecución de la sintonía fina:

Tabla N°4. Programaciones Actuales – Cruce: Av. Irarrázaval / Pedro de Valdivia (J074281)

PLAN	CICLO	I. FASE		ENT. VEH		I. VERDE		TPO. VERDE		ENT. PEAT		I. SISTEMA	
		F1	F2	F2aF1	F1aF2	F1	F2	F1	F2	F2aF1	F1aF2	F1	F2
31	120	70	0	5	5	75	5	45	65	20	20	55	105
32	100	86	36	5	5	91	41	45	45	20	20	71	21

Fuente: UOCT.

En el Anexo Digital N° 2 “Programaciones de Semáforos Verificadas”, se adjuntan las programaciones actuales adquiridas a la UOCT.

Datos geométricos

Esta actividad se usó como herramienta de trabajo la aplicación llamada medición y un odómetro, cuaderno de apuntes, entre otros. Las medidas que se recolectaron fueron los anchos de las pistas, las dimensiones de las medianas, las dimensiones de las islas peatonales, anchos de las veredas y longitudes adicionales que nos permitieron definir la ubicación de cada uno de los elementos de la vía. En las siguientes líneas se detalla las dimensiones geométricas registradas:

- Dimensión de carriles: Los anchos de las pistas varían entre 3.6 a 4.3 m en ambas avenidas.
- Dimensión de veredas: El ancho de las veredas varían de 5.4 a 12 metros.
- Islas peatonales: En la intersección existen cuatro islas peatonales con áreas de 5.2 y 6.1 m².
- Zonas de Área Verde: En la intersección cuenta con una mediana provista de áreas verdes.

Flujos vehiculares

Con la finalidad de contar con antecedentes cuantitativos de los niveles de flujo en la intersección, se procedió a la caracterización del flujo vehicular mediante conteos clasificados y por cuarto de hora en un día laboral de época normal.

La identificación de la(s) intersección(es), el detalle de los días y los horarios en que se efectuaron las mediciones de flujos vehiculares se presentan en el cuadro siguiente:

Tabla N°5. Puntos de Medición de Flujo Vehiculares

PC	INTERSECCION	DIAS DE MEDICION	HORARIOS
1	AV. IRARRAZAVAL – PEDRO DE VALDIVIA	JUEVES 27-04-2024	07:00-10:00 – 17:00-20:00

Fuente: Elaboración Propia.

El objetivo de contar con información de flujos vehiculares fue para analizar los periodos críticos en la intersección o de máxima demanda.

Las mediciones ejecutaron de acuerdo con las recomendaciones establecidas en el “Manual de Diseño y Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana (MESPIVU 2013)”, es decir, por movimiento vehicular, tipo de vehículos y en lapsos de 15 minutos al anterior de cada período considerado. A continuación, se presenta el cuadro con la tipología y factores asociados para su procesamiento.

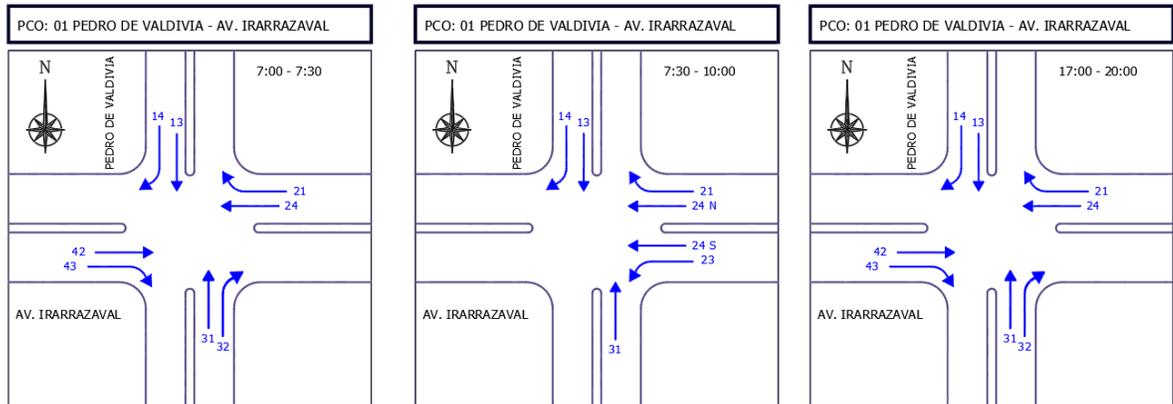
Tabla N°5. Tipología de Vehículos y Factores de Equivalencias

TIPO DE VEHICULOS	NOMENCLATURA BASE DE DATOS
Vehículos Livianos	VL
Taxi Básico	Tx
Taxi Colectivo	Txc
Bus T1 (Taxibuses)	Bus T1
Buses Tipo 2 (buses 3 puertas)	Bus T2
Buses Tipo 3 (buses articulados)	Bus T3
Bus Interurbano	BIU
Taxibus Rural	TxbR
Camiones de 2 ejes	Cam2E
Camiones de más de dos ejes	Cam+2E
Moto	Moto
Bicicletas	Bici-ac (Acera)
	Bici-ca (Calzada)
	Bici-ci (Ciclovía)
	Bici-ba (Bandejón)

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, en la figura siguiente se presenta el diagrama con la identificación de los movimientos vehiculares medidos la intersección.

Figura 10. Diagrama de Identificación de Movimientos Vehiculares Medidos



Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, en el cuadro siguiente se presentan los resultados de los flujos promedios por cuartos de hora (15 min.) a nivel de movimiento para el análisis de justificación de semáforos.

Posteriormente, en el cuadro que continua se presentan los flujos vehiculares en cuartos de hora (15 min.) a nivel de acceso. En el Anexo Digital N° 3 “Mediciones de Flujo vehicular” se presenta el detalle de las mediciones de flujo vehicular para el día de medición y actualizado, tabulada y agrupada en períodos de cuartos de una hora, por movimiento vehicular y tipo de vehículo (en veh/hr).

Tabla N°6. Flujos Vehiculares Av. Irarrázaval / Av. Pedro de Valdivia

PC	MOV.	CUARTO	TIPOLOGIA VEHICULAR (Veh/h)														TOTAL (Veh/h)				
			VL	F_Esc	Tx	Txc	Bus T1	Bus T2	Bus T3	BIU	OB	C2E	C+2E	Moto	Bici-ac	Bici-ca		Bici-ci	Bici-ba		
1	13	7,1	141	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0	5	1	1	0	0	151	
		7,2	98	0	0	2	0	2	0	0	0	1	1	3	0	1	0	0	0	107	
		7,3	129	0	2	1	0	4	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	137	
		7,4	148	1	1	5	0	4	0	0	0	0	2	1	0	1	0	0	0	162	
		8,1	141	0	3	5	0	1	0	0	0	1	0	2	0	2	0	0	0	153	
		8,2	171	0	3	5	0	2	0	0	0	1	0	2	0	2	0	0	0	184	
		8,3	129	1	4	6	0	4	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	147	
		8,4	153	0	5	5	0	3	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	168	
		9,1	158	0	4	8	0	3	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	179	
		9,2	162	1	7	12	0	3	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	189	
		9,3	143	2	8	6	0	4	0	1	0	2	0	8	0	3	0	0	0	174	
		9,4	177	0	15	6	0	1	0	0	0	4	1	7	0	0	0	0	0	211	
		17,1	234	1	6	4	0	2	0	0	0	5	1	12	0	3	0	0	0	265	
		17,2	217	0	5	5	0	3	0	0	0	10	0	21	0	4	0	0	0	261	
		17,3	296	2	4	3	0	3	0	0	0	3	1	12	0	5	0	0	0	324	
		17,4	275	0	3	6	0	2	0	1	0	3	1	16	0	4	0	0	0	307	
		18,1	226	0	6	4	0	3	0	0	0	1	1	15	0	7	0	0	0	256	
		18,2	212	0	3	4	0	2	0	0	0	3	1	24	1	12	0	0	0	249	
		18,3	253	0	4	3	0	4	0	0	0	2	0	17	0	8	0	0	0	283	
		18,4	159	0	3	2	0	2	0	0	0	1	0	7	0	4	0	0	0	174	
19,1	219	1	2	3	0	3	0	0	0	1	0	12	1	3	0	0	0	241			
19,2	246	0	1	4	0	5	0	1	0	1	0	11	0	0	0	0	0	269			
19,3	202	0	4	1	0	2	0	0	0	1	0	8	1	1	0	0	0	218			
19,4	223	0	6	3	0	3	0	0	0	0	0	14	0	2	0	0	0	249			
	23	7,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		7,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		7,3	51	0	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	55	
		7,4	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	
		8,1	41	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	43	
		8,2	26	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	28	
		8,3	39	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	40	
		8,4	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	
		9,1	33	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	38	
		9,2	40	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	45	
		9,3	26	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	29	
		9,4	22	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	25	
		17,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		17,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		17,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		17,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		18,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		18,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		18,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		18,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
19,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
19,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
19,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	24	7,1	223	4	13	0	0	8	3	0	0	1	0	14	0	3	0	0	266		
		7,2	199	2	15	0	0	10	5	0	0	1	0	8	0	2	0	0	240		
		7,3	163	2	41	0	0	9	1	0	0	1	0	6	0	3	0	0	223		
		7,4	156	0	46	0	0	14	3	0	0	1	0	9	0	11	0	0	229		
		8,1	154	1	54	0	0	9	1	0	0	0	0	9	0	7	0	0	228		
		8,2	185	1	54	0	0	15	3	0	0	1	0	4	2	4	0	0	263		
		8,3	137	1	57	0	0	15	3	0	0	1	0	9	0	4	0	0	223		
		8,4	120	3	37	0	0	8	0	0	0	4	1	9	0	7	0	0	182		
		9,1	135	0	59	0	0	13	1	0	0	4	1	11	0	4	0	0	224		
		9,2	96	0	34	0	0	8	1	0	0	4	0	4	0	7	0	0	147		
		9,3	99	0	33	0	0	19	3	1	0	6	0	4	0	4	0	0	165		
		9,4	112	0	32	0	0	11	3	0	0	5	1	6	0	1	0	0	170		
		17,1	157	1	27	0	0	15	2	0	0	1	0	12	1	9	0	0	215		
		17,2	196	2	32	0	0	5	2	0	0	5	1	20	0	3	0	0	263		
		17,3	171	0	24	0	0	5	2	1	0	4	0	15	0	9	0	0	222		
		17,4	192	1	31	0	0	8	1	0	0	4	0	11	0	9	0	0	248		
		18,1	204	0	29	0	0	11	3	0	0	2	0	22	0	18	0	0	271		
		18,2	197	0	24	0	0	9	1	0	0	0	2	21	0	12	0	0	254		
		18,3	190	0	14	0	0	13	2	0	0	5	0	17	0	15	0	0	241		
		18,4	197	1	17	0	0	16	3	0	0	3	0	18	0	10	0	0	255		
19,1	167	0	23	0	0	10	3	0	0	1	0	24	0	6	0	0	228				
19,2	196	0	17	0	0	13	4	0	1	4	0	26	0	5	0	0	261				
19,3	184	0	16	0	0	8	2	0	0	2	0	18	0	6	0	0	230				
19,4	188	0	12	0	0	13	3	0	0	2	0	31	0	7	0	0	249				

PC	MOV.	CUARTO	TIPOLOGIA VEHICULAR (Veh/h)																TOTAL (Veh/h)	
			VL	F_Esc	Tx	Txc	Bus T1	Bus T2	Bus T3	BIU	OB	C2E	C+2E	Moto	Bici- ac	Bici- ca	Bici- ci	Bici- ba		
	14	7,1	8	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	11	
		7,2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4
		7,3	7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
		7,4	23	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	26
		8,1	29	0	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	36
		8,2	39	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	43
		8,3	31	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	37
		8,4	38	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	41
		9,1	34	0	10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	45
		9,2	43	1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	55
		9,3	23	0	8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	34
		9,4	37	0	9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	48
		17,1	9	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	14
		17,2	16	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
		17,3	14	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
		17,4	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	12
		18,1	7	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	13
		18,2	8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
		18,3	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	12
		18,4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	7
	19,1	12	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	15	
	19,2	14	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	16	
	19,3	15	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	19	
	19,4	15	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	17	
	43	7,1	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
		7,2	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
		7,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		7,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		8,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		8,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		8,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		8,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		9,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		9,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		9,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		9,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		17,1	22	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23
		17,2	29	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	33
		17,3	18	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	22
		17,4	31	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32
		18,1	23	0	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29
		18,2	25	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	29
		18,3	22	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	26
		18,4	17	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
	19,1	19	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	23	
	19,2	16	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	
	19,3	14	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	20	
	19,4	17	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	21	
	31	7,1	295	2	5	4	2	2	0	0	0	3	1	8	0	2	0	0	320	
		7,2	183	1	0	4	0	2	0	0	0	3	0	6	0	4	0	0	0	199
		7,3	189	0	2	3	0	2	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	200
		7,4	199	1	3	4	0	2	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	219
		8,1	221	0	3	4	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	234
		8,2	163	0	7	5	0	3	0	0	0	3	0	14	0	0	0	0	0	195
		8,3	177	0	8	5	0	0	0	0	0	2	0	6	0	0	0	0	0	198
		8,4	158	0	5	7	0	0	0	0	0	4	0	5	0	0	0	0	0	179
		9,1	168	0	9	4	0	0	0	0	0	1	0	6	0	0	0	0	0	188
		9,2	196	0	7	2	0	0	0	0	0	3	0	10	0	0	0	0	0	218
		9,3	163	0	6	7	0	0	0	0	0	5	0	10	0	0	0	0	0	191
		9,4	178	0	11	5	0	0	0	0	0	1	3	13	0	0	0	0	0	211
		17,1	151	1	4	5	0	2	0	0	0	6	0	5	0	0	0	0	0	174
		17,2	157	2	9	4	0	2	0	0	0	4	0	7	0	0	0	0	0	185
		17,3	196	1	9	5	0	4	0	0	0	2	0	6	0	0	0	0	0	223
		17,4	221	0	2	3	0	2	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	231
		18,1	210	0	5	1	0	4	0	0	0	2	0	10	0	0	0	0	0	232
		18,2	212	0	0	7	0	2	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	239
		18,3	241	0	13	1	0	3	0	0	0	1	0	8	0	0	0	0	0	267
		18,4	179	0	4	2	0	2	0	0	0	0	1	11	0	0	0	0	0	199
	19,1	141	1	3	2	0	3	0	0	0	2	0	9	0	0	0	0	0	161	
	19,2	128	0	6	0	0	3	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	142	
	19,3	161	0	9	0	0	2	0	0	0	1	0	15	0	0	0	0	0	188	
	19,4	109	0	2	0	0	2	0	0	0	0	2	6	0	0	0	0	0	121	

PC	MOV.	CUARTO	TIPOLOGIA VEHICULAR (Veh/h)															TOTAL (Veh/h)		
			VL	F_Esc	Tx	Txc	Bus T1	Bus T2	Bus T3	BIU	OB	C2E	C+2E	Moto	Bici- ac	Bici- ca	Bici- ci		Bici- ba	
21	7,1	26	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	30
	7,2	46	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49
	7,3	35	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	38
	7,4	20	0	5	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	28
	8,1	22	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	27
	8,2	24	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	26
	8,3	13	0	1	0	0	5	0	1	0	2	0	1	0	2	0	2	0	0	23
	8,4	20	0	5	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	27
	9,1	21	0	9	0	0	3	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	36
	9,2	18	0	6	0	2	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	28
	9,3	19	0	5	0	0	4	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	30
	9,4	22	1	3	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	30
	17,1	18	0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	23
	17,2	20	0	8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	30
	17,3	21	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	33
	17,4	19	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
	18,1	13	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	18
	18,2	25	0	6	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	35
	18,3	10	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
	18,4	10	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	14
	19,1	14	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	23
	19,2	16	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
	19,3	32	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	38
	19,4	19	0	5	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	28
	42	7,1	61	0	3	0	0	7	1	0	0	0	1	1	2	1	0	0	0	74
		7,2	89	2	3	0	0	6	0	0	0	1	0	3	0	1	0	0	0	104
		7,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		7,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8,2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8,3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8,4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9,1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9,2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9,3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9,4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17,1		145	0	19	0	0	15	1	0	0	4	0	10	0	4	0	0	0	194	
17,2		111	0	9	0	0	14	1	0	0	2	0	10	0	8	0	0	0	147	
17,3		132	1	18	0	0	13	2	0	0	2	0	14	0	10	0	0	0	182	
17,4		118	2	21	0	0	12	4	0	0	0	0	12	0	3	0	0	0	169	
18,1		129	1	17	0	0	11	1	0	0	2	0	11	0	8	0	0	0	172	
18,2		136	0	26	0	0	14	0	0	1	1	1	25	0	6	0	0	0	204	
18,3		158	0	17	0	0	12	1	0	0	1	1	17	0	10	0	0	0	207	
18,4		124	0	17	0	0	7	1	0	0	1	1	18	0	8	0	0	0	169	
19,1		123	0	19	0	0	5	0	1	0	4	1	18	0	5	0	0	0	171	
19,2		120	0	19	0	0	21	1	0	0	0	1	19	0	15	0	0	0	181	
19,3		126	0	11	0	0	7	7	0	0	1	0	19	0	8	0	0	0	171	
19,4		136	0	13	0	0	18	2	0	0	1	1	19	0	8	0	0	0	190	
32		7,1	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
		7,2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
		7,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		7,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	17,1	21	0	8	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	31
	17,2	14	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
	17,3	23	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	29
	17,4	21	0	11	0	0	0	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	37
	18,1	15	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	24
	18,2	15	0	5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	21
	18,3	19	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	26
	18,4	15	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	20
	19,1	15	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	20
	19,2	8	0	7	0	0	0	0	0	0	1	0	5	0	0	0	0	0	0	21
	19,3	16	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	22
	19,4	10	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	17

PC	MOV.	CUARTO	TIPOLOGIA VEHICULAR (Veh/h)															TOTAL (Veh/h)		
			VL	F_Esc	Tx	Txc	Bus T1	Bus T2	Bus T3	BIU	OB	C2E	C+2E	Moto	Bici- ac	Bici- ca	Bici- ci		Bici- ba	
	24S	7,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		7,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		7,3	226	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	3	2	0	0	0	0	231
		7,4	347	0	2	0	0	1	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0	323	
		8,1	275	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	8	1	1	0	0	286	
		8,2	337	1	2	0	0	0	0	0	0	5	0	6	4	1	0	0	351	
		8,3	250	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	5	0	3	0	0	258	
		8,4	323	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	10	0	1	0	0	336	
		9,1	239	0	2	0	0	0	0	0	0	4	1	6	4	2	0	0	252	
		9,2	246	0	4	0	0	0	0	0	0	7	0	11	3	2	0	0	268	
		9,3	220	0	3	0	0	0	0	0	0	5	1	10	2	2	0	0	239	
		9,4	141	0	2	0	0	0	0	0	0	4	0	6	0	3	0	0	153	
		17,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		17,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		17,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		17,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		18,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		18,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		18,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		18,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		19,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		19,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		19,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		19,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Fuente: Elaboración Propia.

Flujos peatonales

Inicialmente se realizaron mediciones peatonales para los días laborales de una semana normal en las mismas fechas y horarios definidos para la medición de los flujos vehiculares, como se detalla a continuación:

Día Laboral Normal: Jueves, 27 de abril de 2024

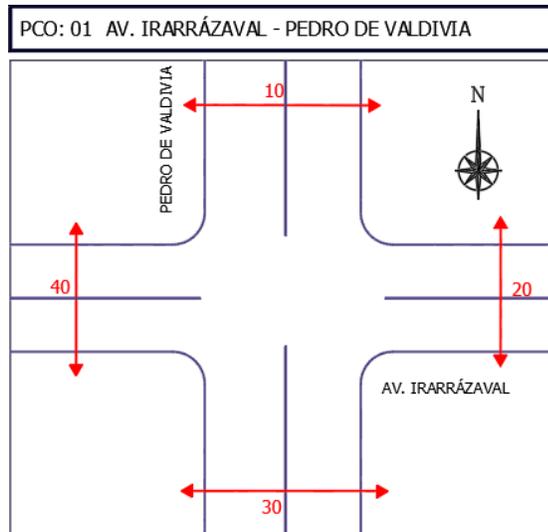
Los horarios definidos fueron los siguientes:

07:00-7:30, 07:30-10:00, 17:00-20:00 hrs.

Los peatones se contabilizaron en cada acceso de la intersección en lapsos de 15 minutos al interior de cada hora de medición.

Para una mejor interpretación de los análisis realizados en la intersección y que tiene relación con su actividad peatonal se presenta la identificación de los movimientos peatonales medidos en la intersección diferenciados, tal como sigue.

Figura 11. Diagrama de Identificación de Movimientos Peatonales Medidos



Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, en el cuadro siguiente se presentan los resultados de los flujos peatonales en períodos de cuartos de una hora (15 min.) y agrupados por movimiento (en peat./hr). En el Anexo Digital N° 3” Mediciones de Peatones” se presenta la tabulación y resultados de las mediciones peatonales realizadas para la intersección.

Tabla N°7. Flujos Peatonales de Av. Irrarrázaval / Av. Pedro de Valdivia

PC	INTERSECCION	HORA	CUARTO	MOVIMIENTO (Peatones/hr)				TOTAL (Peatones/hr)
				10	20	30	40	
1	Pedro de Valdivia - Av. Irrarrázaval	7	7,1	41	80	191	182	494
			7,2	26	83	239	341	689
			7,3	67	79	169	433	748
			7,4	53	107	317	467	944
		8	8,1	105	77	287	490	959
			8,2	79	94	293	430	896
			8,3	63	104	269	425	861
			8,4	62	167	262	410	901
		9	9,1	95	121	289	380	885
			9,2	113	91	298	302	804
			9,3	133	83	329	340	885
			9,4	124	164	344	321	953
		17	17,1	251	217	419	447	1334
			17,2	213	204	409	452	1278
			17,3	256	186	424	588	1454
			17,4	206	194	469	707	1576
		18	18,1	364	219	511	853	1947
			18,2	297	239	498	720	1754
			18,3	310	217	554	650	1731
			18,4	189	230	496	598	1513
		19	19,1	173	171	469	493	1306
			19,2	131	120	354	454	1059
			19,3	87	105	269	255	716
			19,4	95	75	227	253	650

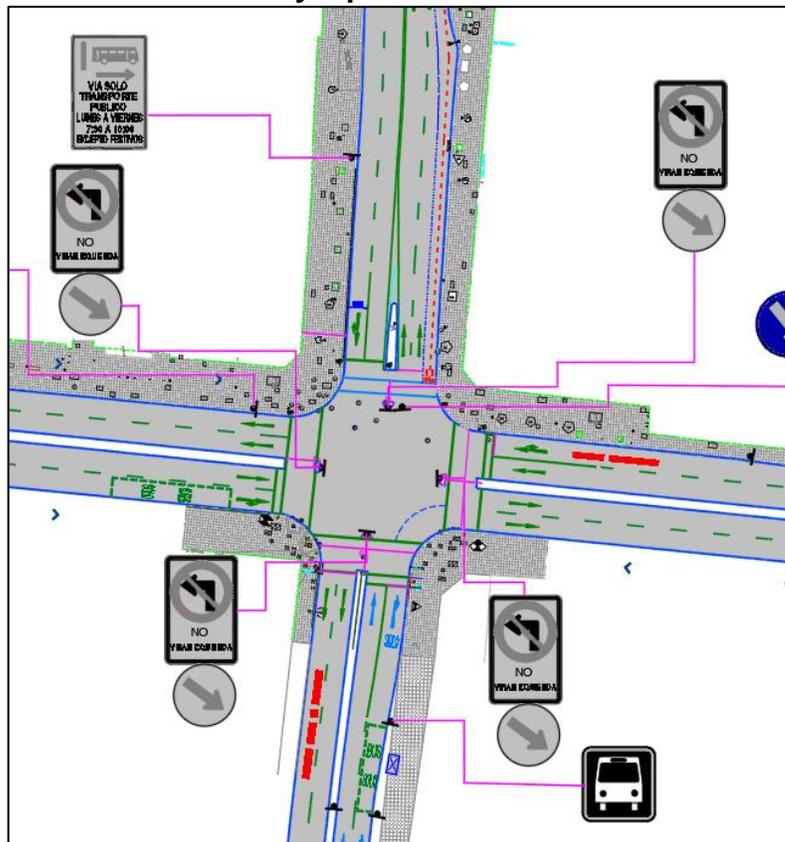
Fuente: Elaboración Propia.

Caracterización de la situación actual

Tal como se expone anteriormente, la calle analizada se encuentra inserta en un sector con alta actividad vehicular y peatonal, en que la mayor parte de las intersecciones semaforizadas forman parte de la **Red N°74 en la Comuna de La Ñuñoa**.

En la siguiente figura se presenta el esquema físico y operativo del área de análisis, en la cual se encuentra inserta la calle La Parroquia.

Figura 12. Catastro Físico y Operativo de la Intersección Analizada



Fuente: Elaboración Propia.

Intersecciones Semaforizadas

Para la realización y ejecución del análisis de cambio de diseño solicitado para la intersección Pedro de Valdivia con Av. Irarrázaval, se solicitó tanto la información de periodización y programaciones existentes de las intersecciones dentro del área de estudio la cual fue adquirida a la Unidad Operativa de Control de Tránsito, previa cancelación de los derechos respectivos.

Diseño de Fases

A continuación, en el cuadro siguiente se presenta el diseño de fases de las intersecciones que componen el área de análisis.

Tabla N°8. Diseño de fases de la intersección analizada

CÓDIGO CRUCE	INTERSECCIÓN	FASE 1	FASE 2	FASE 3
Jo74281	Pedro de Valdivia/Av. Irarrázaval	Pedro de Valdivia	Av. Irarrázaval	Av. Irarrázaval (O-P) Reversibilidad

Fuente: UOCT.

La información anterior, adicionalmente se complementa con la representación gráfica de los diseños de fases de la intersección expuesta.

CAPITULO N°4:

DESARROLLO

Simulación SIDRA

Para analizar la operación de la solución de mejoramiento a nivel microscópico, se empleó el modelo SIDRA, ampliamente conocido por su potencial en el tratamiento de intersecciones aisladas.

En general, para la construcción de la intersección simulada se realizó mediante la codificación manual sobre la base cartográfica dimensionada a escala.

Posteriormente, para mantener la consistencia de la información medida y aquella obtenida de terreno se compatibilizaron los modelos SIDRA y AIMSUN con la información de demanda por tipo de vehículos, además de los parámetros físicos y operativos, entre ellos, regulación y programaciones de semáforos, velocidades, cantidad y dimensión de las pistas, etc.

Cabe señalar, que las simulaciones se adecuaron a las distintas situaciones, es decir situación actual y propuesta de solución.

Velocidades

En cuanto a las velocidades, se efectuaron algunas muestras de velocidades para los ejes en que se materializará el nuevo proyecto de semaforización.

Las velocidades se encuentran acotadas por la actividad habitacional, servicios y ocasionalmente comercial del entorno. En cuanto a las velocidades promedio propiamente tal, se pudo constatar en terreno que estas fluctúan en torno a 50 (km/hr), las que se mantienen relativamente similares a lo largo del día.

Flujos de Saturación

Los flujos de saturación utilizados en la modelación de la intersección semaforizada fueron calculados a partir de los flujos de saturación básicos, factores de viraje y composición del flujo vehicular recomendados por la Unidad Operativa de Control de Tránsito (UOCT). Esto es:

Tabla N°9. Flujos de Saturación Recomendados UOCT

FLUJOS DE SATURACION BASE (SB)	
Tipo de Pista	Valor recomendado (ADE/hr)
Sólo autos	2000
Autos y buses	1800
Con paraderos de actividad baja	1700
Con paraderos de actividad media	1600
Con paraderos de actividad alta	1500

 Flujo de Saturación Utilizados

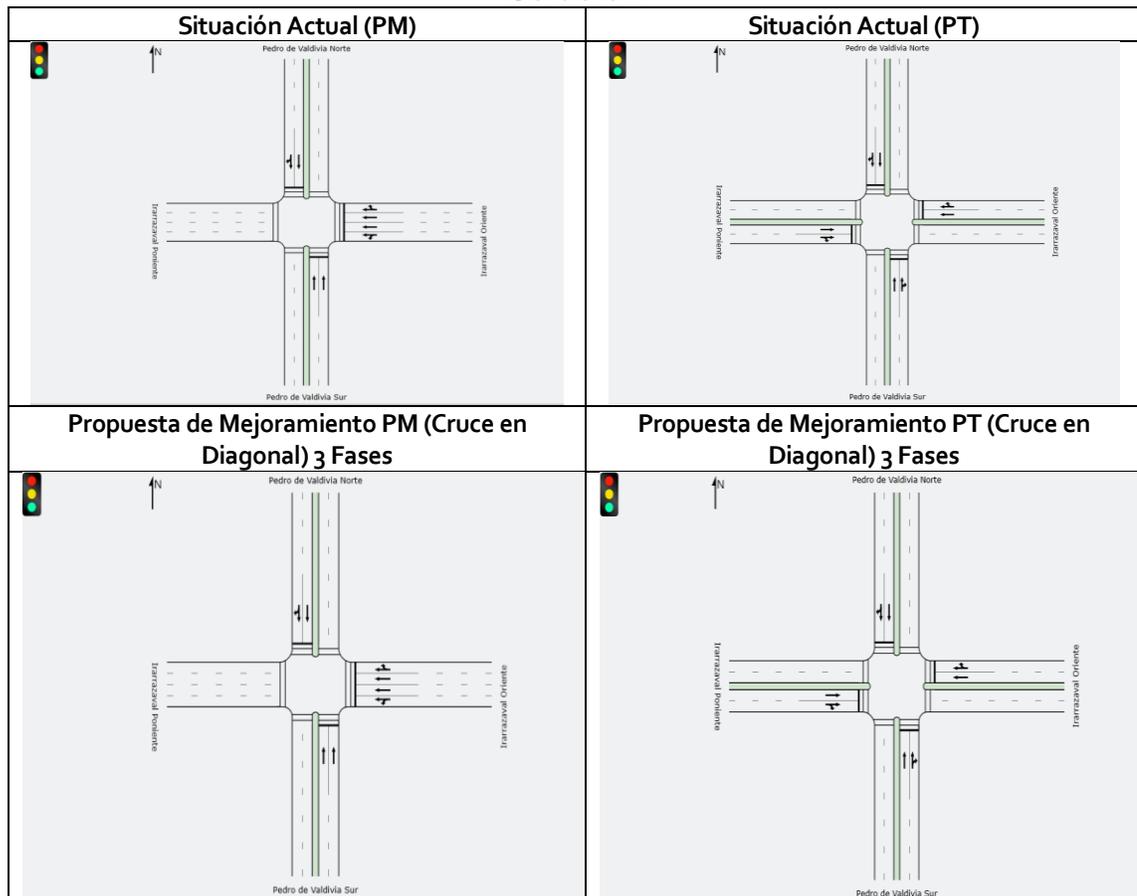
En general, los flujos de saturación básicos empleados en el proceso de simulación son conservadores y se ajustan a las distintas características geométricas y ambientales del entorno.

Cabe señalar que el modelo SIDRA, internamente corrige los flujos de saturación básicos dentro de la misma rutina de simulación, por lo que fueron introducidos como tal en el modelo.

Esquemas de Simulación SIDRA

Con la información recopilada se simuló la situación actual y a partir de esta la propuesta de mejoramiento para la cual se estimaron las programaciones definitivas de la intersección analizada con el programa SIDRA versión 5.1. El esquema de modelación de la intersección se presenta en la siguiente figura.

Figura 13. Esquemas de Simulación SIDRA Sit. Actual y Propuesta de Solución



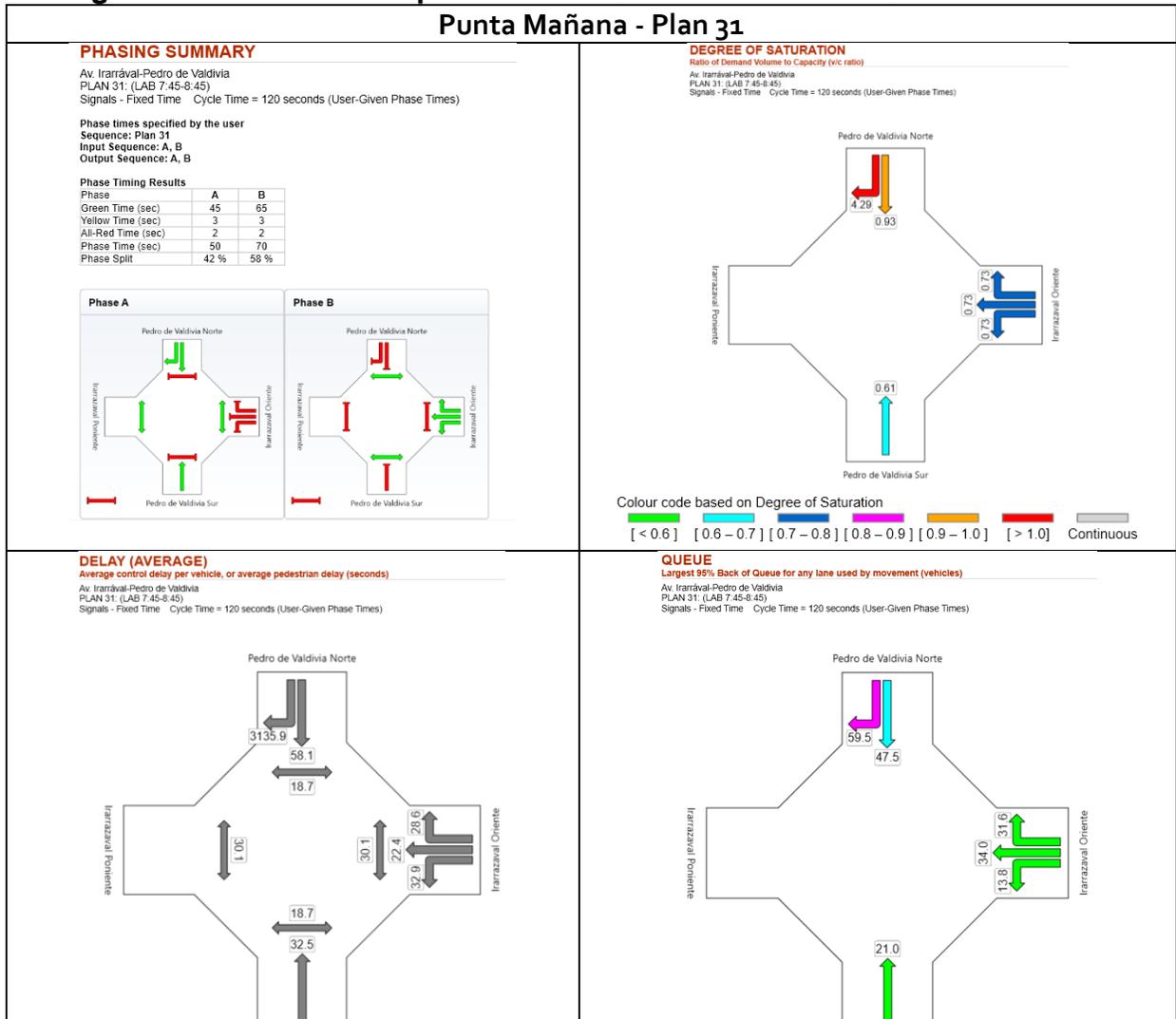
Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar si bien no hay diferencia en las imágenes de la intersección en la propuesta de mejoramiento tiene la simulación de una fase solamente para peatones.

Resultados Simulación e Indicadores Operacionales de Modelación SIDRA

A partir de la simulación realizada con el programa SIDRA versión 5.1, para cada Plan analizado de las situaciones analizadas, se obtuvieron los siguientes indicadores operacionales para ambos casos, además de las programaciones óptimas para la propuesta de mejoramiento:

Figura 14. Indicadores Operacionales Simulación SIDRA Situación Actual



Punta Tarde – Plan 32

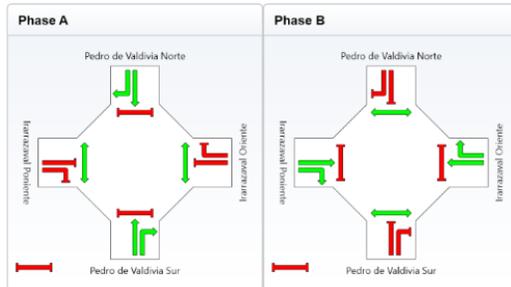
PHASING SUMMARY

Tesis SA PT
 Signals - Fixed Time Cycle Time = 100 seconds (User-Given Phase Times)

Phase times specified by the user
 Sequence: Two-Phase
 Input Sequence: A, B
 Output Sequence: A, B

Phase Timing Results

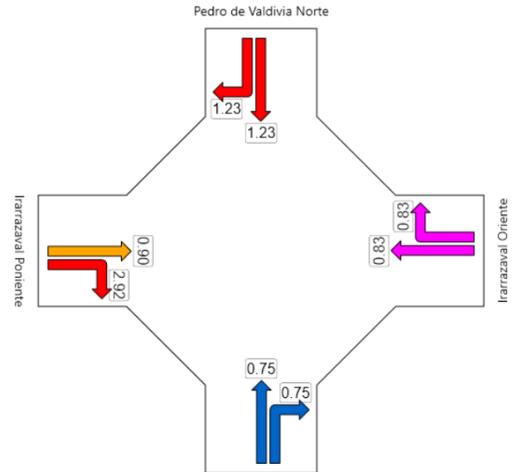
Phase	A	B
Green Time (sec)	45	45
Yellow Time (sec)	3	3
All-Red Time (sec)	2	2
Phase Time (sec)	50	50
Phase Split	50 %	50 %



DEGREE OF SATURATION

Ratio of Demand Volume to Capacity (v/c ratio)

Tesis SA PT
 Signals - Fixed Time Cycle Time = 100 seconds (User-Given Phase Times)



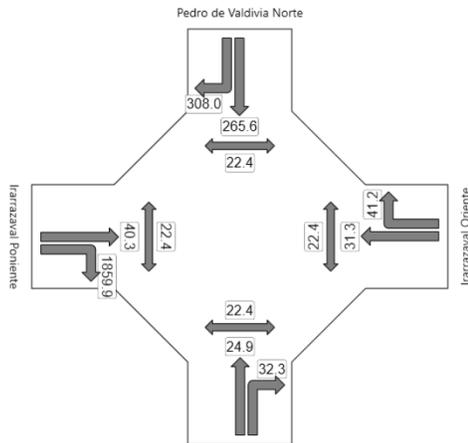
Colour code based on Degree of Saturation

- █ [< 0.6]
- █ [$0.6 - 0.7$]
- █ [$0.7 - 0.8$]
- █ [$0.8 - 0.9$]
- █ [$0.9 - 1.0$]
- █ [> 1.0]
- █ Continuous

DELAY (AVERAGE)

Average control delay per vehicle, or average pedestrian delay (seconds)

Tesis SA PT
 Signals - Fixed Time Cycle Time = 100 seconds (User-Given Phase Times)



QUEUE

Largest 95% Back of Queue for any lane used by movement (vehicles)

Tesis SA PT
 Signals - Fixed Time Cycle Time = 100 seconds (User-Given Phase Times)

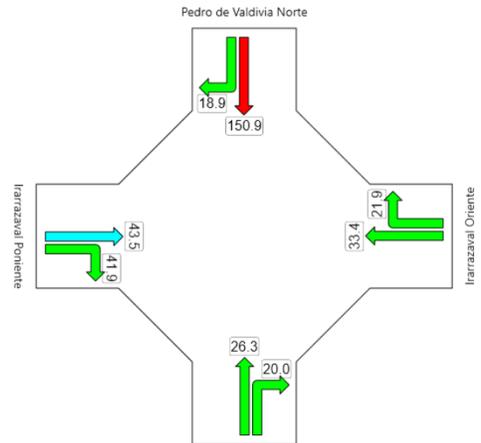
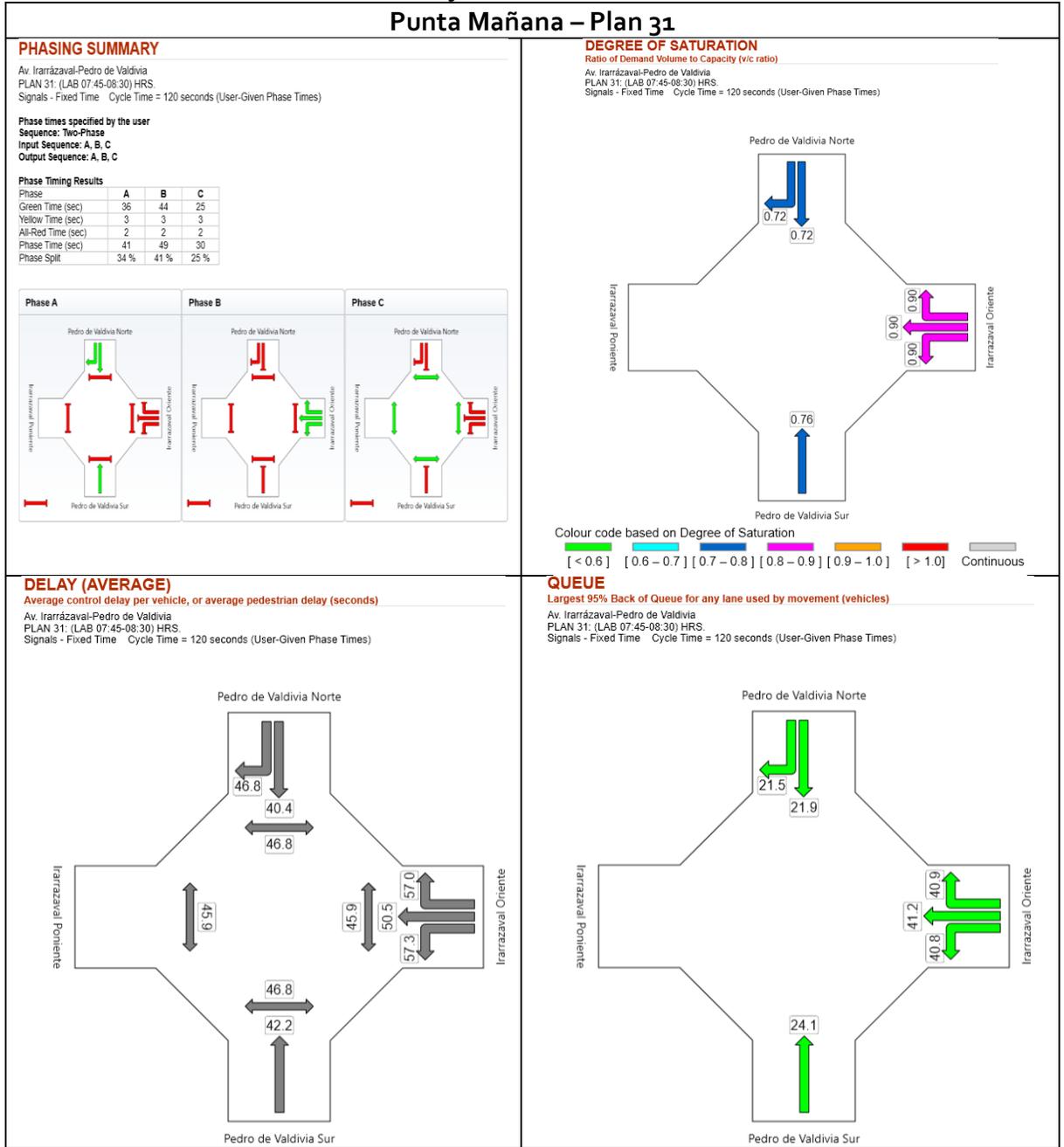
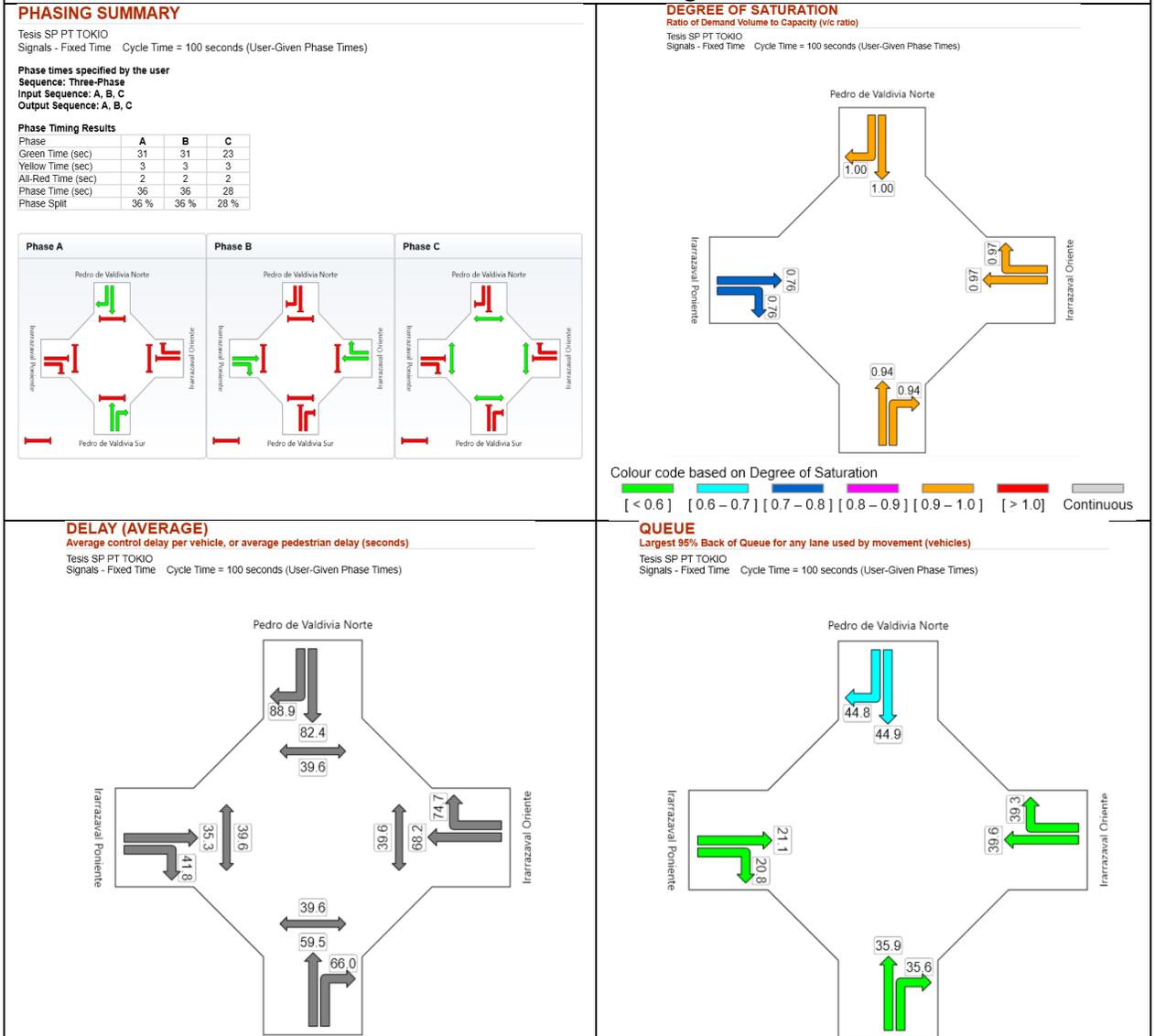


Figura 15. Indicadores Operacionales Simulación SIDRA Propuesta de Mejoramiento



Punta Tarde – Plan 32



En el Anexo Digital N°8 “Modelación SIDRA” se adjuntan los archivos de entrada y salida del modelo para ambas situaciones, en el caso de la situación de la propuesta de mejoramiento con la optimización de repartos manteniendo el ciclo actual para los 3 planes analizados.

Microsimulación AIMSUN

Para validar la operación y resultados obtenidos con el modelo SIDRA se empleó el modelo AIMSUN, este modelo permite visualizar el comportamiento operacional vehículo-vehículo y vehículo-peatón para un diseño y escenario dado y, de esta forma, detectar las principales fortalezas y deficiencias del mismo.

Para este análisis, el uso de AIMSUN tiene un objetivo esencialmente de visualización de la operación de ambas situaciones analizadas, es decir, actual y propuesta de mejoramiento para los cual se construyeron ambas situaciones incorporando las variables de operación, físicas y operacionales existentes y estimadas por el modelo SIDRA.

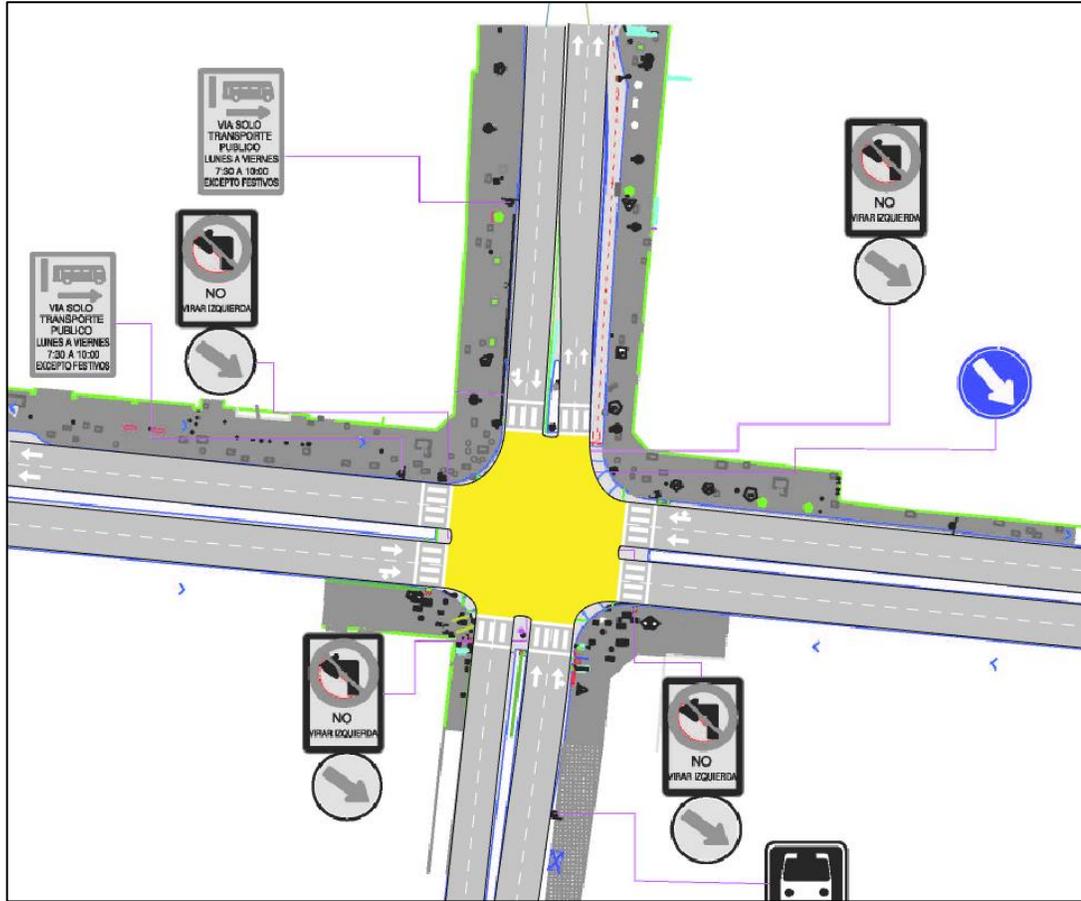
Cabe señalar que por restricciones de cantidad máxima de 1000 peatones/hora que posee AIMSUN, la demanda de peatones se focalizó especialmente en el conflicto vehículo-peatón de todos los accesos como también el cruce en diagonal.

Construcción de Red AIMSUN

El proceso de construcción de la red de microsimulación AIMSUN se hizo mediante la codificación manual incorporando la información recopilada de terreno, como velocidades, capacidades y anchos de pistas, programaciones de semáforos, etc. entre otros, sin distorsionar sus resultados.

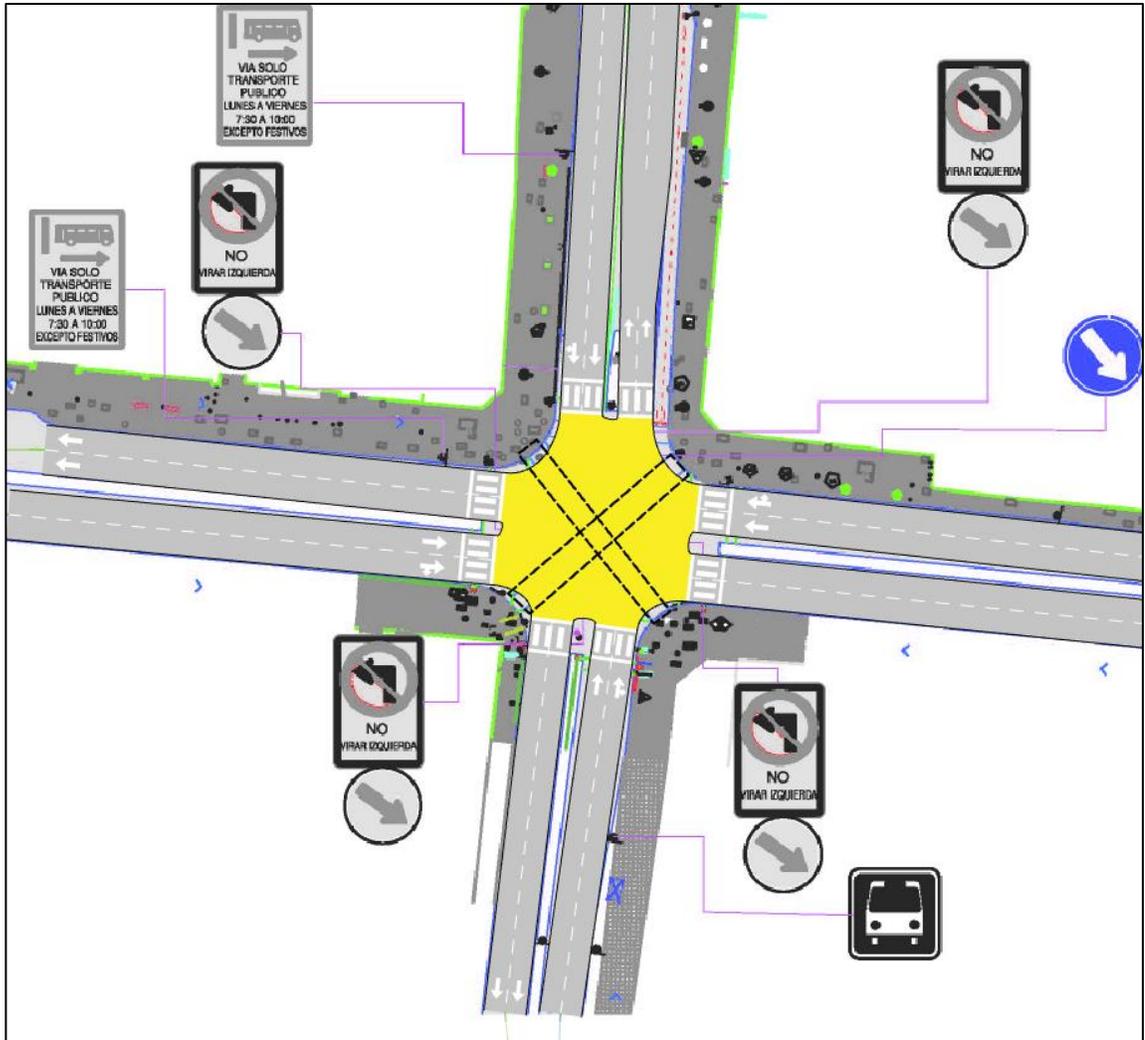
El potencial de las herramientas gráficas con que cuenta el modelo AIMSUN NEXT permite la visualización detallada de la red vial simulada. En este caso particular, su análisis y visualización se concentró específicamente en los sectores más críticos de cada una de las intersecciones del área de análisis. Al respecto, a continuación, se presenta vistas de la planta de las intersecciones que componen las redes de los casos analizados:

Figura 16. Esquema de Microsimulación AIMSUN – Situación Actual



Fuente: Elaboración Propia

Figura 17. Esquema de Microsimulación AIMSUN – Propuesta de Mejoramiento



Fuente: Elaboración Propia

Parámetros de Simulación y Operación AIMSUN

Para caracterizar los diferentes tipos de vehículos de la microsimulación AIMSUN del presente estudio, se adoptaron los parámetros básicos ajustados y recomendados del estudio denominado “Análisis Comparativo de Metodologías de Modelación de Nivel Táctico”, Consorcio CIS-ARISTO, (SECTRA, octubre 2015).

Básicamente, estos parámetros rigen su comportamiento de acuerdo a modelos de seguimiento vehicular, cambio de pista y aceptación de brecha, entre otros. El trabajo considerado contempló la revisión y análisis de varios estudios o trabajos de investigación realizados especialmente en Santiago y Viña del Mar.

Finalmente, el estudio concluye y recomienda el uso de distintos parámetros para los vehículos de transporte público y privado, los cuales se presentan en los siguientes cuadros:

Tabla N°10. Parámetros Ajustados de Vehículos Particulares

NOMBRE	MEDIA	DESVIACION	MÍN.	MÁX.	UNIDAD
Largo	4.5	0.5	3.6	5.1	Metros
Ancho	1.7	0.08	1.6	1.85	Metros
Velocidad máx. deseada	90.0	20.0	70.0	110.0	Km/h
Aceleración máx.	2.5	0.25	2.1	3.1	m/s ²
Desaceleración normal	3.5	0.5	2.7	4.5	m/s ²
Desaceleración máx.	5.5	0.5	4.5	6.5	m/s ²
Aceptación de Velocidad	1.0	0.15	0.73	1.24	
Distancia mín. entre veh.	1.7	0.87	0.5	3.0	Metros

Fuente: “Análisis Comparativo de Metodologías de Modelación de Nivel Táctico”

Tabla N°11. Parámetros Ajustados de Taxicolectivos

NOMBRE	MEDIA	DESVIACION	MÍN.	MÁX.	UNIDAD
Largo	4.5	0.1	4.4	4.6	Metros
Ancho	1.75	0.05	1.7	1.8	Metros
Velocidad máx. deseada	85.0	15.0	70.0	100.0	Km/h
Aceleración máx.	2.5	0.1	2.3	2.6	m/s ²
Desaceleración normal	3.5	0.2	3.2	4.2	m/s ²
Desaceleración máx.	5.5	0.2	5.2	5.8	m/s ²
Aceptación de Velocidad	1.0	0.15	0.73	1.24	
Distancia mín. entre veh.	1.7	0.87	0.5	3.0	Metros

Fuente: “Análisis Comparativo de Metodologías de Modelación de Nivel Táctico”

Tabla N°12. Parámetros Ajustados de Buses

NOMBRE	MEDIA	DESVIACION	MÍN.	MÁX.	UNIDAD
Largo	12.0	0	12.0	12.0	Metros
Ancho	2.5	0	2.5	2.5	Metros
Velocidad máx. deseada	70.0	10.0	60.0	80.0	Km/h
Aceleración máx.	1.2	0.3	1.0	1.8	m/s ²
Desaceleración normal	2.5	0.8	1.8	4.5	m/s ²
Desaceleración máx.	4.5	1.0	4.0	5.0	m/s ²
Aceptación de Velocidad	0.85	0.2	0.7	1.0	
Distancia mín. entre veh.	1.6	0.7	1.0	4.0	Metros

Fuente: “Análisis Comparativo de Metodologías de Modelación de Nivel Táctico”

Tabla N°13. Parámetros Ajustados de Camiones Simples

NOMBRE	MEDIA	DESVIACION	MÍN.	MÁX.	UNIDAD
Largo	8.0	2	7.0	10.0	Metros
Ancho	2.1	0.1	1.9	2.3	Metros
Velocidad máx. deseada	75.0	10.0	70.0	85.0	Km/h
Aceleración máx.	1.3	0.3	0.8	1.6	m/s ²
Desaceleración normal	2.5	0.8	1.8	4.5	m/s ²
Desaceleración máx.	4.5	1.0	4.0	5.5	m/s ²
Aceptación de Velocidad	0.9	0.2	0.8	1.1	
Distancia mín. entre veh.	1.6	0.7	1.0	3.0	Metros

Fuente: “Análisis Comparativo de Metodologías de Modelación de Nivel Táctico”

Tabla N°14. Parámetros Ajustados de Camiones Articulados

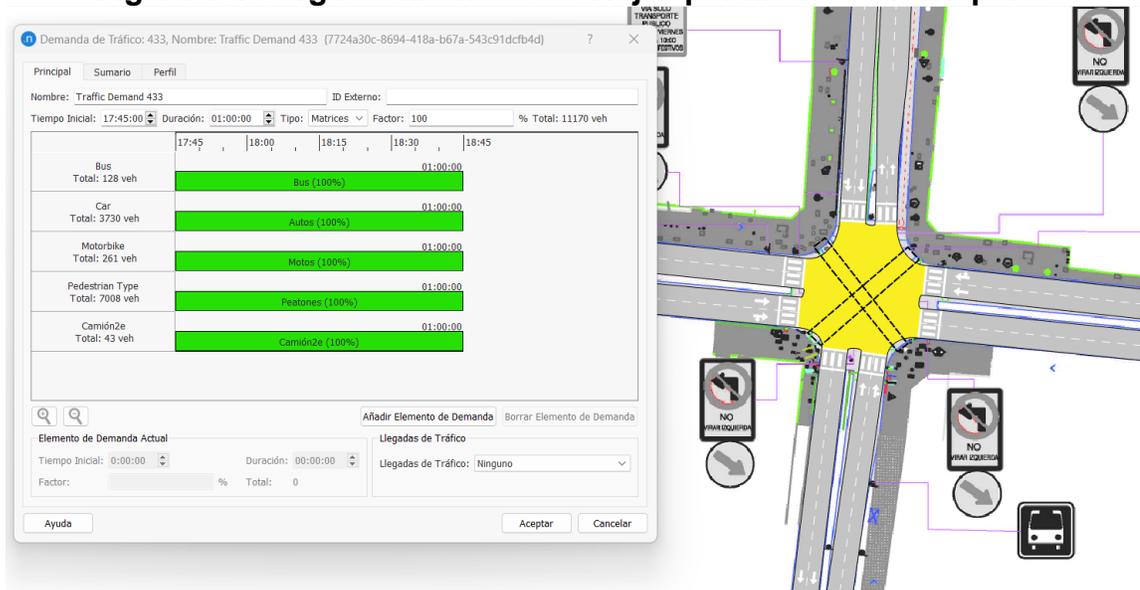
NOMBRE	MEDIA	DESVIACION	MÍN.	MÁX.	UNIDAD
Largo	13.0	2	11.0	15.0	Metros
Ancho	2.1	0.1	1.9	2.3	Metros
Velocidad máx. deseada	65.0	10.0	60.0	75.0	Km/h
Aceleración máx.	1.3	0.3	0.8	1.6	m/s ²
Desaceleración normal	2.5	0.8	1.8	4.5	m/s ²
Desaceleración máx.	4.5	1.0	4.0	5.5	m/s ²
Aceptación de Velocidad	0.9	0.2	0.8	1.1	
Distancia mín. entre veh.	1.6	0.7	1.0	3.0	Metros

Fuente: “Análisis Comparativo de Metodologías de Modelación de Nivel Táctico”

Matrices

En cuanto a la modalidad de la demanda utilizada en el modelo AIMSUN fue mediante matrices por tipo de vehículos, tal como se presenta a continuación:

Figura 18. Carga de Matrices de Viajes por Modo de Transporte



Fuente: Elaboración Propia.

Las matrices de cada periodo se construyeron con 3 agrupaciones de vehículos, la cual se detalla a continuación:

Tabla N°14. Agrupación de Vehículos de Matrices

CATEGORÍA	AGRUPACION MATRIZ AIMSUN
Vehículo Liviano (automóviles, camionetas y similares) Furgón Escolar Taxis Básicos Taxis Colectivos	Car
Bus Tipo 1 Bus Tipo 2 Bus Tipo 3 Otros Buses Bus Interurbano	BUS
Camiones de 2 ejes Camiones de más de +2 ejes	C2E
Motocicletas	Moto

Fuente: Elaboración Propia.

Calibración de la situación actual (microsimulación)

Generalidades

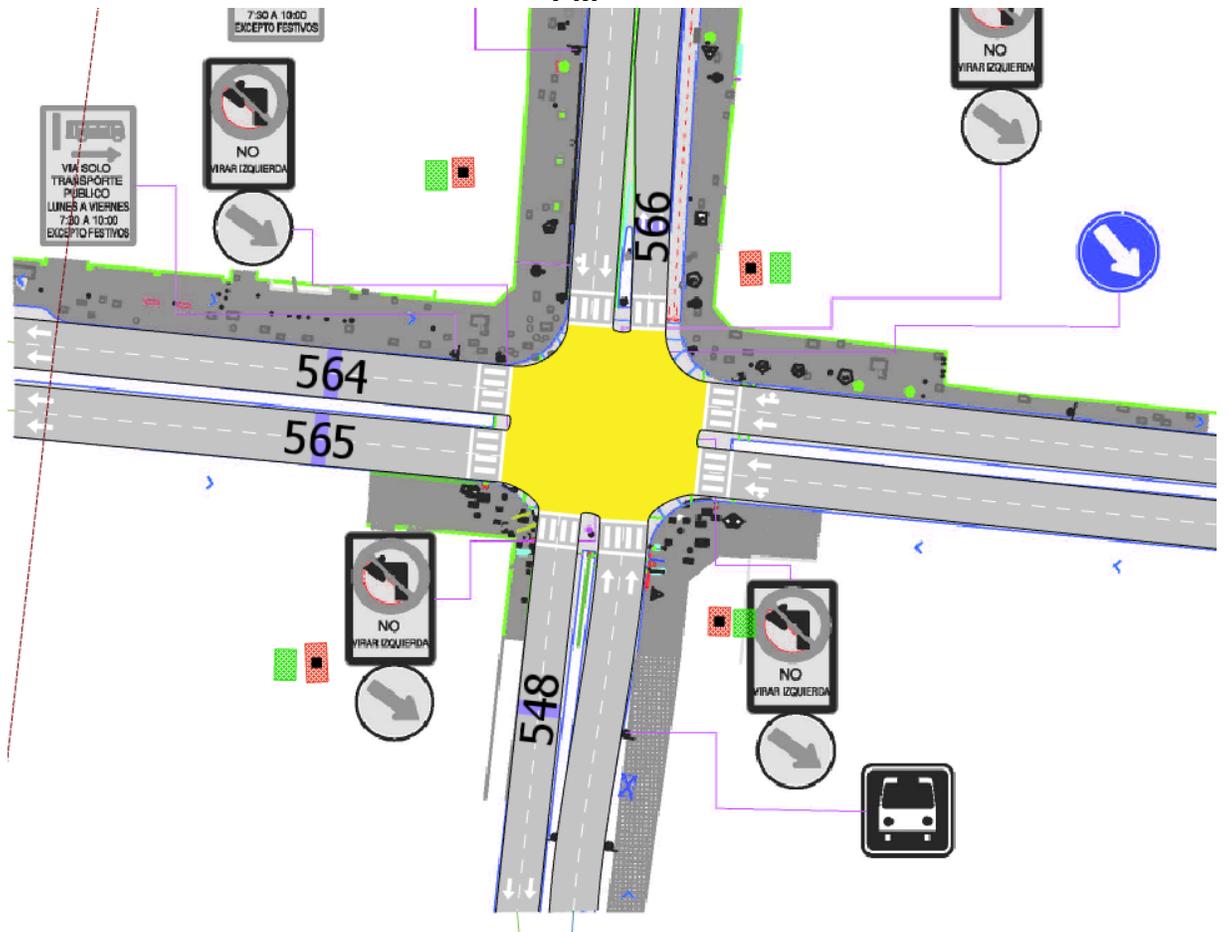
Para validar la operación y resultados obtenidos, previamente se procedió a calibrar el modelo AIMSUN a objeto de contar con un modelo confiable y capaz de reproducir los actuales niveles de demanda que circulan por los diferentes ejes que componen la vialidad que conforma el área de análisis.

Para esto, a partir de las mediciones de flujo vehicular se conformó un set de conteos para cada periodo y que circula para cada eje relevante que se contrastó o comparó con los vehículos contabilizados para cada sección del modelo AIMSUN.

Para esto, el modelo AIMSUN cuenta con herramientas como contadores que son capaces de recabar o contabilizar el flujo por tipo de vehículo que circula por cada sección y que luego mediante una regresión lineal y sus indicadores estadísticos se pueden revisar los niveles de ajuste o alcance de confiabilidad del modelo.

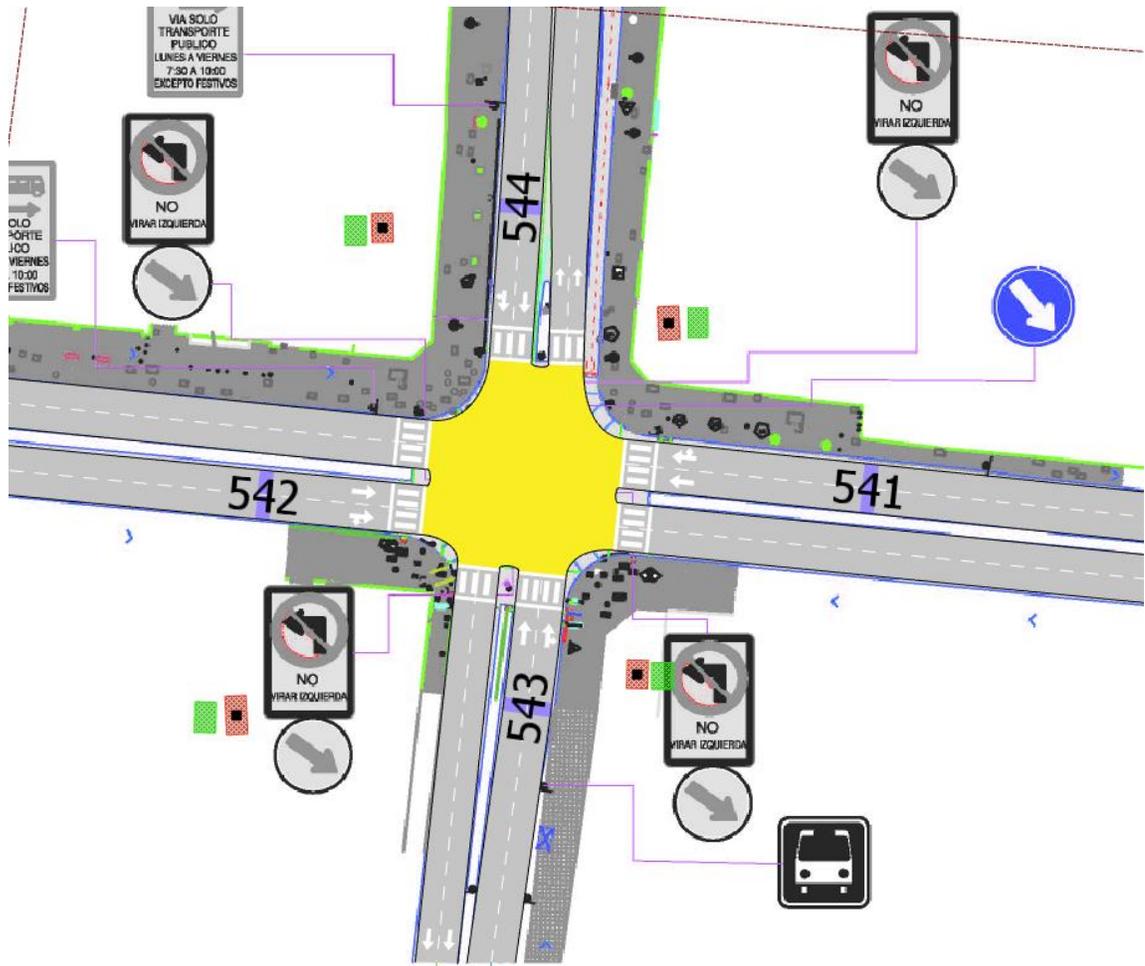
A partir del modelo calibrado se incorporarán las modificaciones propuestas de las alternativas analizadas y luego mediante la comparación de sus principales indicadores operacionales se recomendará la alternativa más conveniente.

Figura 19. Detalle de Ubicación de Contadores para Calibración de Flujos PM



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 20. Detalle de Ubicación de Contadores para Calibración de Flujos PT



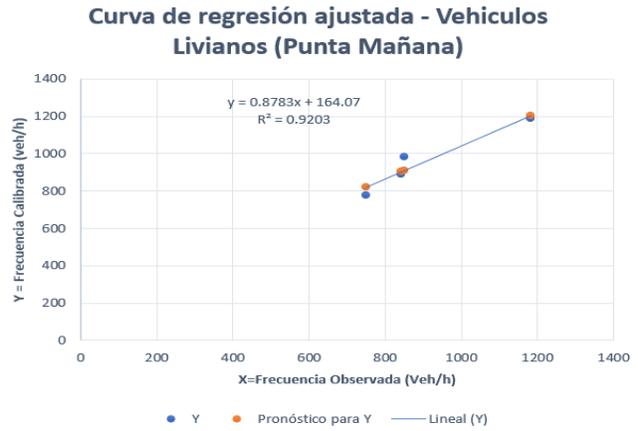
Fuente: Elaboración Propia.

Calibración Situación Actual

A continuación, se presentan los resultados de la calibración de la situación actual para los periodos analizados según agrupación de vehículos.

Tabla N°15. Comparación entre Flujo Vehicular Observado y Simulado (vehículos livianos), Período Punta Mañana

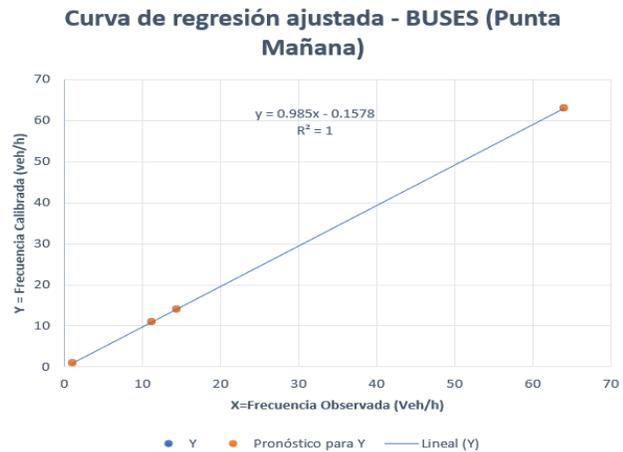
DETECTOR		FLUJO VEHICULAR (veh/h)	
Nº	ID	CONTEO	CALIBRACION
1	548	779	750
2	564	981	851
3	565	1188	1181
4	566	891	842



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°16. Comparación entre Flujo Vehicular Observado y Simulado (Bus), Período Punta Mañana

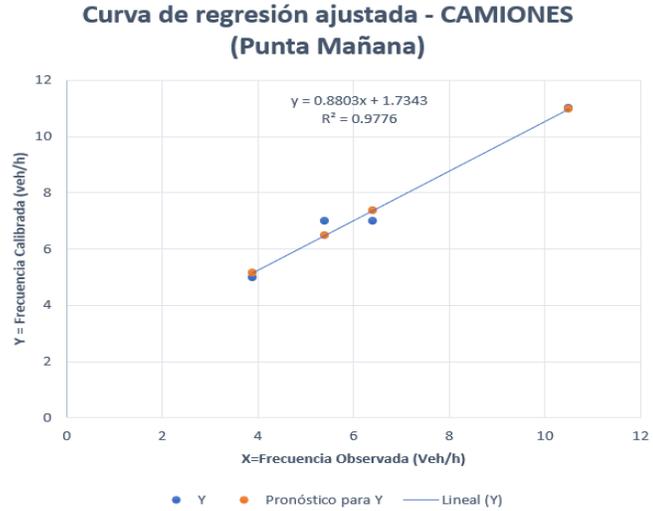
DETECTOR		FLUJO VEHICULAR (veh/h)	
Nº	ID	CONTEO	CALIBRACION
1	548	11	11
2	564	63	64
3	565	1	1
4	566	14	15



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°17. Comparación entre Flujo Vehicular Observado y Simulado (Camiones), Período Punta Mañana

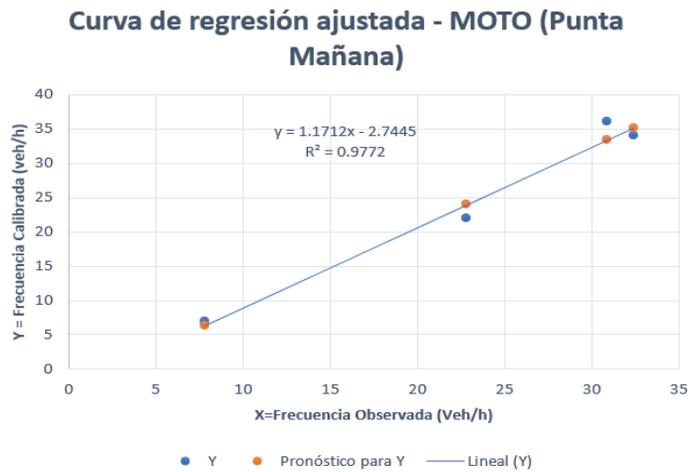
DETECTOR		FLUJO VEHICULAR (veh/h)	
N°	ID	CONTEO	CALIBRACION
1	548	7	5
2	564	5	4
3	565	7	6
4	566	11	11



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°18. Comparación entre Flujo Vehicular Observado y Simulado (Motos), Período Punta Mañana

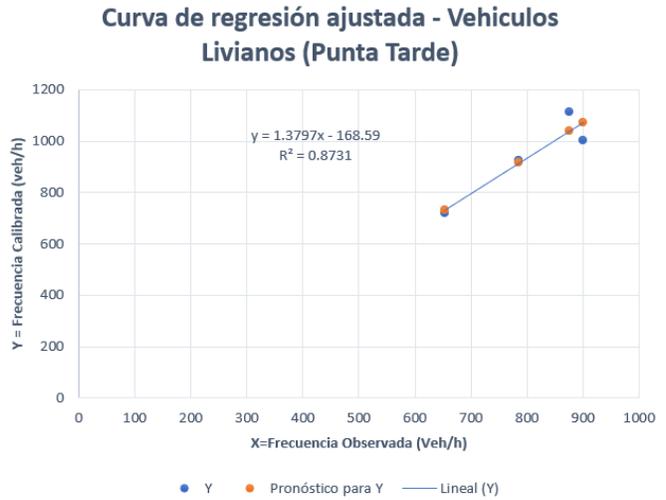
DETECTOR		FLUJO VEHICULAR (veh/h)	
N°	ID	CONTEO	CALIBRACION
1	548	7	8
2	564	36	31
3	565	22	23
4	566	34	32



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°19. Comparación entre Flujo Vehicular Observado y Simulado (Vehículos Livianos), Período Punta Tarde

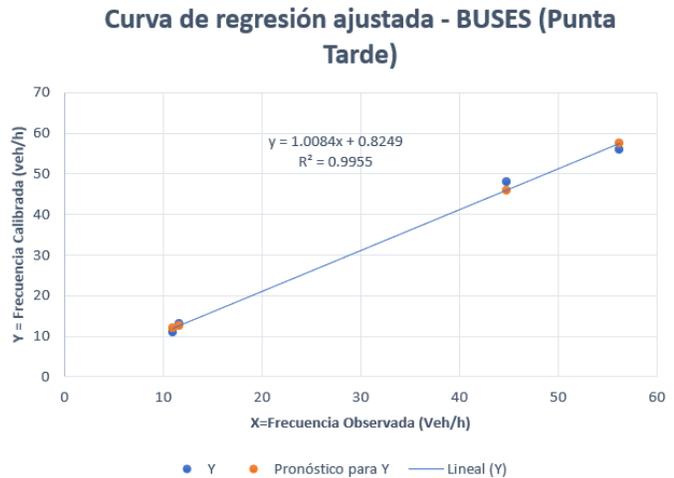
DETECTOR		FLUJO VEHICULAR (veh/h)	
N°	ID	N°	ID
1	545	924	785
2	546	721	653
3	547	1002	899
4	548	1112	876



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°20. Comparación entre Flujo Vehicular Observado y Simulado (Bus), Período Punta Tarde

DETECTOR		FLUJO VEHICULAR (veh/h)	
N°	ID	CONTEO	CALIBRACION
1	545	48	45
2	546	56	56
3	547	11	11
4	548	13	12



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°21.
Comparación
entre Flujo
Vehicular
Observado y
Simulado
(Camiones),
Período Punta
Tarde

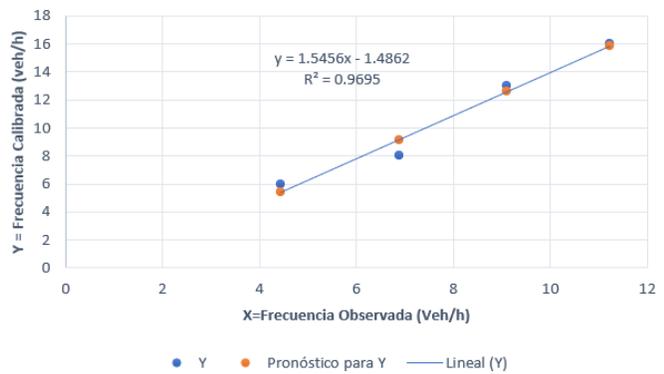
DETECTOR		FLUJO VEHICULAR (veh/h)	
N°	ID	CONTEO	CALIBRACION
1	545	16	11
2	546	8	7
3	547	6	4
4	548	13	9

Fuente: Elaboración Propia.

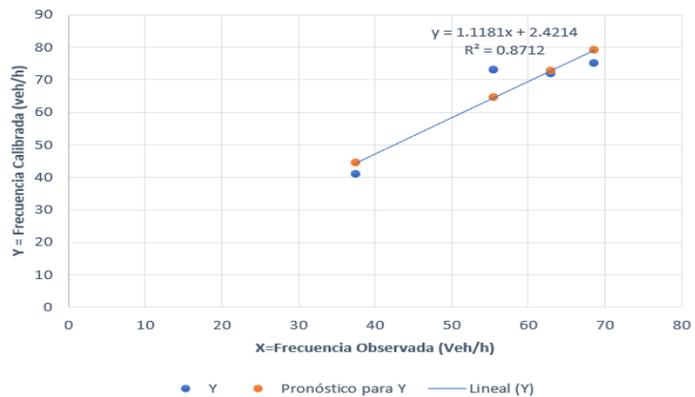
Tabla N°22.
Comparación
entre Flujo
Vehicular
Observado y
Simulado (Motos),
Período Punta Tarde

DETECTOR		FLUJO VEHICULAR (veh/h)	
N°	ID	CONTEO	CALIBRACION
1	545	72	63
2	546	75	69

Curva de regresión ajustada - Camiones
(Punta Tarde)



Curva de regresión ajustada - Motos (Punta Tarde)



3	547	41	38
4	548	73	56

Fuente: Elaboración Propia.

En general todos los ajustes son satisfactorios con niveles por sobre el 85% para vehículos livianos y sobre el 95% para buses, camiones y motos, dado el carácter estocástico del modelo. Por lo tanto, cualquier modificación introducida en la operación de la red producirá resultados confiables.

CAPITULO N°5: RESULTADOS

Resultados Simulación e Indicadores Operacionales de Escenarios de Microsimulación AIMSUN

A partir de la microsimulación realizada con el programa AIMSUN NEXT para todos los escenarios analizados, se obtuvieron indicadores operacionales globales que se compararon respecto a la situación actual (base) y también entre sí para medir el impacto del rediseño operacional para la intersección de Pedro de Valdivia con Av. Irarrázaval para los periodos punta mañana y punta tarde.

Para este análisis, el uso de AIMSUN tiene un objetivo esencialmente de visualización de la operación de las alternativas de modificación operacional de la intersección antes mencionada, las que se construyeron a partir de la situación actual incorporando las variables físicas y operacionales.

Los resultados se concentran en los indicadores globales de la red, que son: Densidad, distancia total recorrida, flujos totales y por tipo de vehículo, Cola media en vehículos, detenciones por vehículo, demoras,

tiempos de detención, tiempo total de viaje y velocidad promedio del grupo y por vehículos que operan en la red.

Un resumen con estos resultados para cada eje se reporta en los cuadros siguientes, que, por su carácter estocástico en cuanto a intervalos de salida entre vehículos, tiempos de viaje, elección de ruta, etc., se reporta la estimación del valor medio de todas las replicaciones efectuadas.

Tabla N°23. Indicadores Operacionales Globales Según Escenario de Microsimulación, Punta Mañana

RESULTADO PERIODO PUNTA MAÑANA			
INDICADORES	SIT. ACTUAL	TIPO TOKIO	UNIDADES
Cola Media - Todos	44.32	38.91	veh
Cola Media - Bus	0.79	0.94	veh
Cola Media - Car	40.69	36.74	veh
Cola Media - Motorbike	2.61	1.02	veh
Cola Media - Camión2e	0.23	0.22	veh
Contaje de Entrada - Todos	3897	3934	veh
Contaje de Entrada - Bus	99	90	veh
Contaje de Entrada - Car	3671	3721	veh
Contaje de Entrada - Motorbike	107	105	veh
Contaje de Entrada - Camión2e	20	18	veh
Densidad - Todos	38.66	34.89	veh/km
Densidad - Bus	0.83	0.87	veh/km
Densidad - Car	35.75	32.93	veh/km
Densidad - Motorbike	1.88	0.89	veh/km
Densidad - Camión2e	0.2	0.19	veh/km
Distancia Total de Viaje - Todos	695.23	696.91	km
Distancia Total de Viaje - Bus	18.91	16.73	km
Distancia Total de Viaje - Car	654.17	659.27	km
Distancia Total de Viaje - Motorbike	18.59	17.84	km
Distancia Total de Viaje - Camión2e	3.56	3.07	km
Flujo - Todos	3820	3883	veh/h
Flujo - Bus	98	90	veh/h
Flujo - Car	3600	3674	veh/h
Flujo - Motorbike	102	102	veh/h
Flujo - Camión2e	20	17	veh/h
Número de Paradas - Todos	0.45	0.43	#/veh/km
Número de Paradas - Bus	0.46	0.46	#/veh/km
Número de Paradas - Car	0.46	0.43	#/veh/km
Número de Paradas - Motorbike	0.38	0.42	#/veh/km
Número de Paradas - Camión2e	0.58	0.53	#/veh/km
Número de Paradas de Peatón - Pedestrian Type	1.01	0.87	
Número Total de Paradas - Todos	2844	2763	
Número Total de Paradas - Bus	73	69	
Número Total de Paradas - Car	2689	2609	
Número Total de Paradas - Motorbike	63	70	
Número Total de Paradas - Camión2e	19	15	
Tiempo de Demora - Todos	192.16	227.6	seg/km
Tiempo de Demora - Bus	175.28	230.69	seg/km
Tiempo de Demora - Car	193.14	226.95	seg/km
Tiempo de Demora - Motorbike	161.06	238.82	seg/km
Tiempo de Demora - Camión2e	256.55	284.47	seg/km
Tiempo de Parada - Todos	171.74	206.12	seg/km
Tiempo de Parada - Bus	155.95	211.58	seg/km
Tiempo de Parada - Car	172.83	205.63	seg/km
Tiempo de Parada - Motorbike	136.82	210.1	seg/km
Tiempo de Parada - Camión2e	230.75	259.14	seg/km
Tiempo de Parada de Peatón - Pedestrian Type	32.31	41.63	seg/km
Tiempo de Parada Máximo de Peatón - Pedestrian Type	111.8	99.5	seg/km
Tiempo de Viaje - Todos	266.2	301.72	seg/km
Tiempo de Viaje - Bus	260.52	317.48	seg/km
Tiempo de Viaje - Car	267.16	301.05	seg/km
Tiempo de Viaje - Motorbike	224.67	301.17	seg/km
Tiempo de Viaje - Camión2e	332.03	364.78	seg/km
Tiempo de Viaje de Peatón - Pedestrian Type	120.01	118.37	seg/km

Tiempo Total de Viaje - Todos	50.99	56.96	h
Tiempo Total de Viaje - Bus	1.36	1.44	h
Tiempo Total de Viaje - Car	48.17	53.77	h
Tiempo Total de Viaje - Motorbike	1.13	1.45	h
Tiempo Total de Viaje - Camión2e	0.33	0.3	h
Velocidad - Todos	24.18	20.1	km/h
Velocidad - Bus	21.42	17.85	km/h
Velocidad - Car	24.25	20.17	km/h
Velocidad - Motorbike	25.74	20.56	km/h
Velocidad - Camión2e	18.27	14.22	km/h
Velocidad de Peatón - Pedestrian Type	2.56	2.46	km/h

Fuente: Elaboración Propia.

Respecto a los cambios que sufre la intersección con la medida de un cruce tipo Tokio en este periodo se puede comentar que existe un aumento del tiempo de viaje que pasa de 266.2 (seg/km) y 301.72 (seg/km), lo cual es un aumento del 13.3%.

Así mismo, también con esta medida se aumentan los tiempos de demora de 192.16 (seg/km) a 227.6 (seg/km) que significa un 18.4%.

Lo mismo ocurre con el tiempo de detención que pasa de 171.74 (seg/km) a 206.12 (seg/km), lo que significa un incremento en el tiempo de 34.38 seg/km que se traduce en un 20%.

Pero se puede apreciar que hay una disminución en la cola de vehículos que se formaría en la intersección con el cambio que pasa de 44.32 Veh y 38.91 Veh, lo cual es una disminución de 12.2%.

Tabla N°24. Indicadores Operacionales Globales Según Escenario de Microsimulación, Punta Tarde

RESULTADO PERIODO PUNTA TARDE			
INDICADORES	SIT. ACTUAL	TIPO TOKIO	UNIDADES
Cola Media - Todos	65.16	57.77	veh
Cola Media - Bus	1.19	2.13	veh
Cola Media - Car	59.66	51.01	veh
Cola Media - Motorbike	3.31	3.93	veh
Cola Media - Camión2e	0.99	0.7	veh
Contaje de Entrada - Todos	3734	3790	veh
Contaje de Entrada - Bus	132	103	veh
Contaje de Entrada - Car	3332	3408	veh
Contaje de Entrada - Motorbike	248	246	veh
Contaje de Entrada - Camión2e	22	33	veh
Densidad - Todos	51.08	47.76	veh/km
Densidad - Bus	1.21	1.73	veh/km
Densidad - Car	46.42	42.28	veh/km
Densidad - Motorbike	2.74	3.2	veh/km
Densidad - Camión2e	0.71	0.55	veh/km
Distancia Total de Viaje - Todos	639.52	626.67	km
Distancia Total de Viaje - Bus	25.55	18.68	km
Distancia Total de Viaje - Car	565.65	560.93	km
Distancia Total de Viaje - Motorbike	44.45	41.55	km
Distancia Total de Viaje - Camión2e	3.88	5.51	km
Flujo - Todos	3653	3716	veh/h
Flujo - Bus	132	100	veh/h
Flujo - Car	3255	3341	veh/h
Flujo - Motorbike	244	242	veh/h
Flujo - Camión2e	22	33	veh/h
Número de Paradas - Todos	0.33	0.54	#/veh/km
Número de Paradas - Bus	0.35	0.67	#/veh/km
Número de Paradas - Car	0.33	0.53	#/veh/km
Número de Paradas - Motorbike	0.33	0.56	#/veh/km
Número de Paradas - Camión2e	0.51	0.67	#/veh/km
Número de Paradas de Peatón - Pedestrian Type	0.96	0.99	
Número Total de Paradas - Todos	1938	3186	
Número Total de Paradas - Bus	75	107	
Número Total de Paradas - Car	1714	2827	
Número Total de Paradas - Motorbike	131	217	
Número Total de Paradas - Camión2e	18	35	
Tiempo de Demora - Todos	263.71	339.47	seg/km
Tiempo de Demora - Bus	197.83	422.12	seg/km
Tiempo de Demora - Car	262.36	334.9	seg/km
Tiempo de Demora - Motorbike	254.34	350.56	seg/km
Tiempo de Demora - Camión2e	962.84	470.46	seg/km
Tiempo de Parada - Todos	244.85	311.17	seg/km
Tiempo de Parada - Bus	179.84	393.59	seg/km
Tiempo de Parada - Car	243.85	307.17	seg/km
Tiempo de Parada - Motorbike	230.64	315.98	seg/km
Tiempo de Parada - Camión2e	939.66	431.64	seg/km
Tiempo de Parada de Peatón - Pedestrian Type	24.41	38.99	Seg/km
Tiempo de Parada Máximo de Peatón - Pedestrian Type	94.1	164.8	Seg/km
Tiempo de Viaje - Todos	337.13	413.36	seg/km
Tiempo de Viaje - Bus	283.62	508.28	seg/km
Tiempo de Viaje - Car	336.01	409.13	seg/km
Tiempo de Viaje - Motorbike	317.63	414.08	seg/km
Tiempo de Viaje - Camión2e	1040.71	549.11	seg/km
Tiempo de Viaje de Peatón - Pedestrian Type	113.09	117.56	Seg/km

Tiempo Total de Viaje - Todos	59.82	74.67	h
Tiempo Total de Viaje - Bus	1.94	2.69	h
Tiempo Total de Viaje - Car	52.84	66.11	h
Tiempo Total de Viaje - Motorbike	3.9	5	h
Tiempo Total de Viaje - Camión2e	1.13	0.88	h
Velocidad - Todos	26.86	16.38	km/h
Velocidad - Bus	22.83	11.62	km/h
Velocidad - Car	26.97	16.54	km/h
Velocidad - Motorbike	28.2	16.74	km/h
Velocidad - Camión2e	19.01	12.21	km/h
Velocidad de Peatón - Pedestrian Type	2.59	2.42	km/h

Fuente: Elaboración Propia.

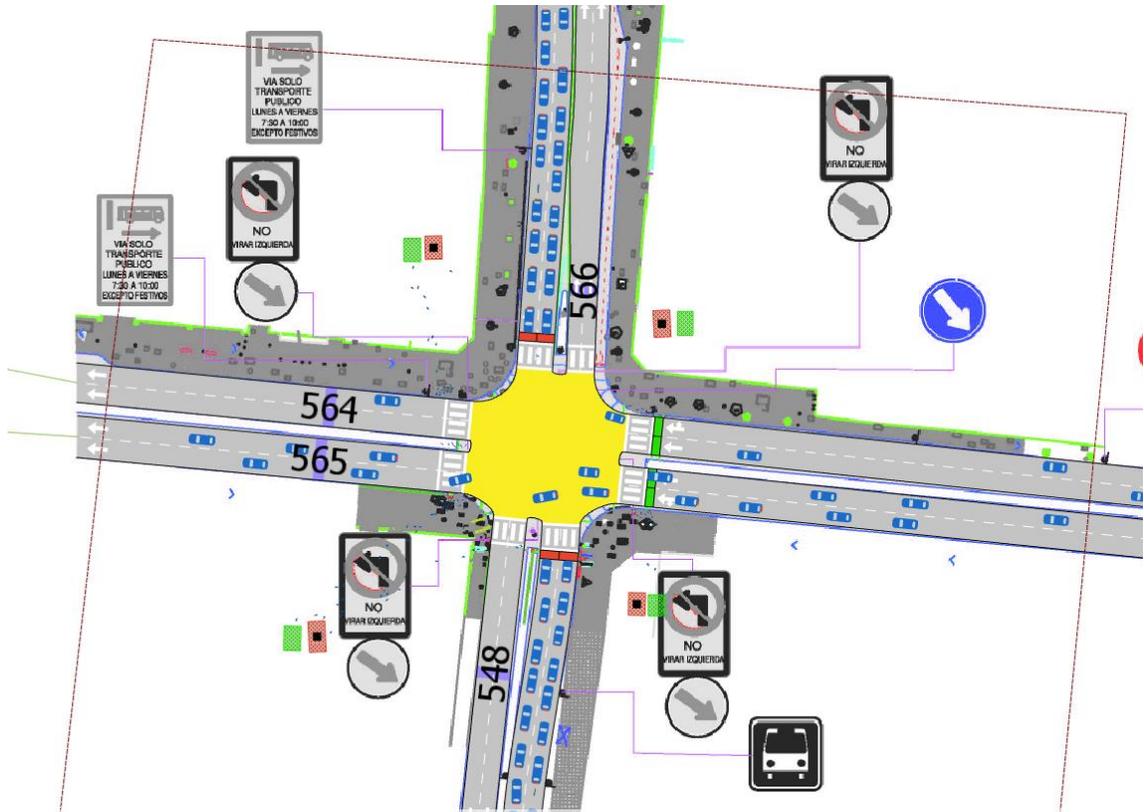
En cuanto a este periodo, se producen cambios similares en el aumento del tiempo de viaje de la red que pasa 337.13 (seg/km) y 413.36 (seg/km), que en términos porcentuales es una disminución del 22.6%.

Respecto a los tiempos de demora, también se produce un aumento que va de 263.71 (seg/km) a 339.47 (seg/km) que se significa un 28.7%.

En cuanto a al tiempo de detención también se produce un incremento de esta variable que pasa de 244.85 (seg/km) a 311.17 (seg/km), lo que significa un aumento porcentual de un 27.08%.

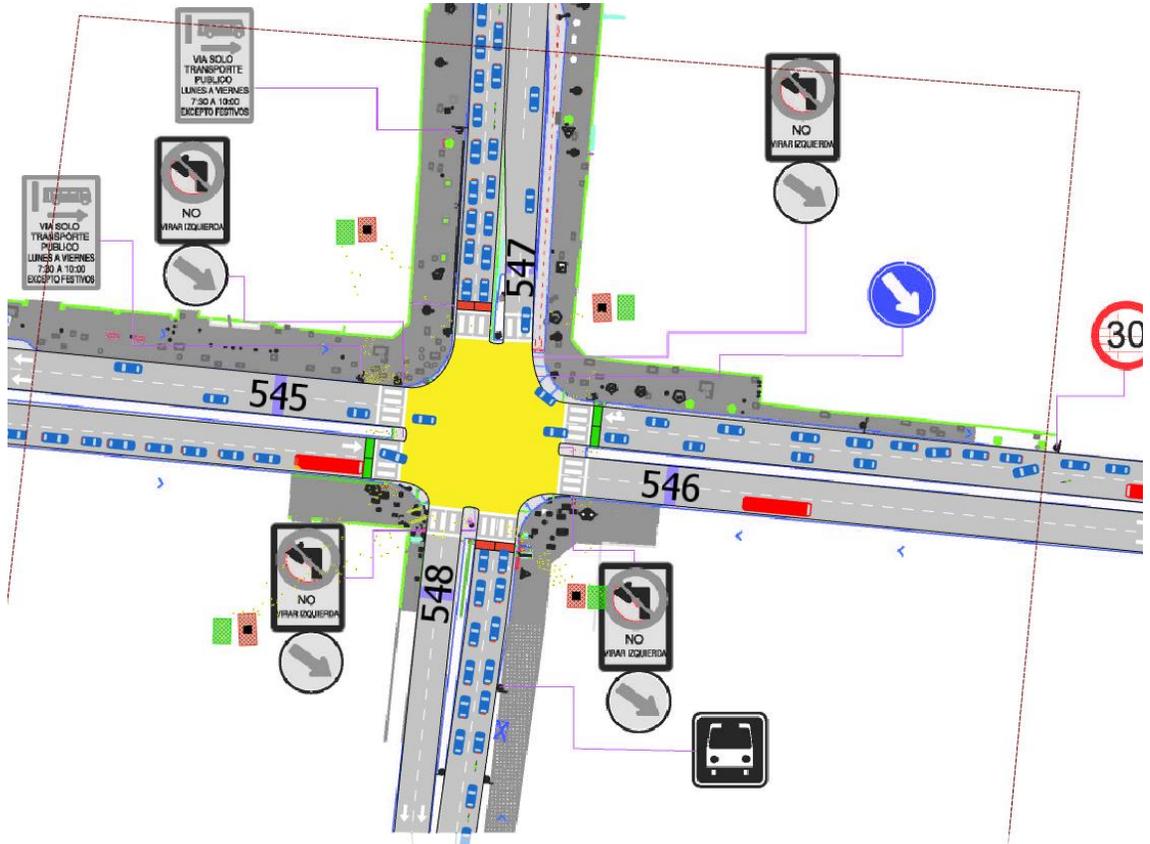
Pero se puede apreciar que hay una disminución en la cola de vehículos al igual que en el periodo punta mañana que se formaría en la intersección con el cambio que pasa de 65.16 Veh y 57.77 Veh, lo cual es una disminución de 12.79%.

Tabla N°25. Microsimulación Sit. Actual – Punta Mañana



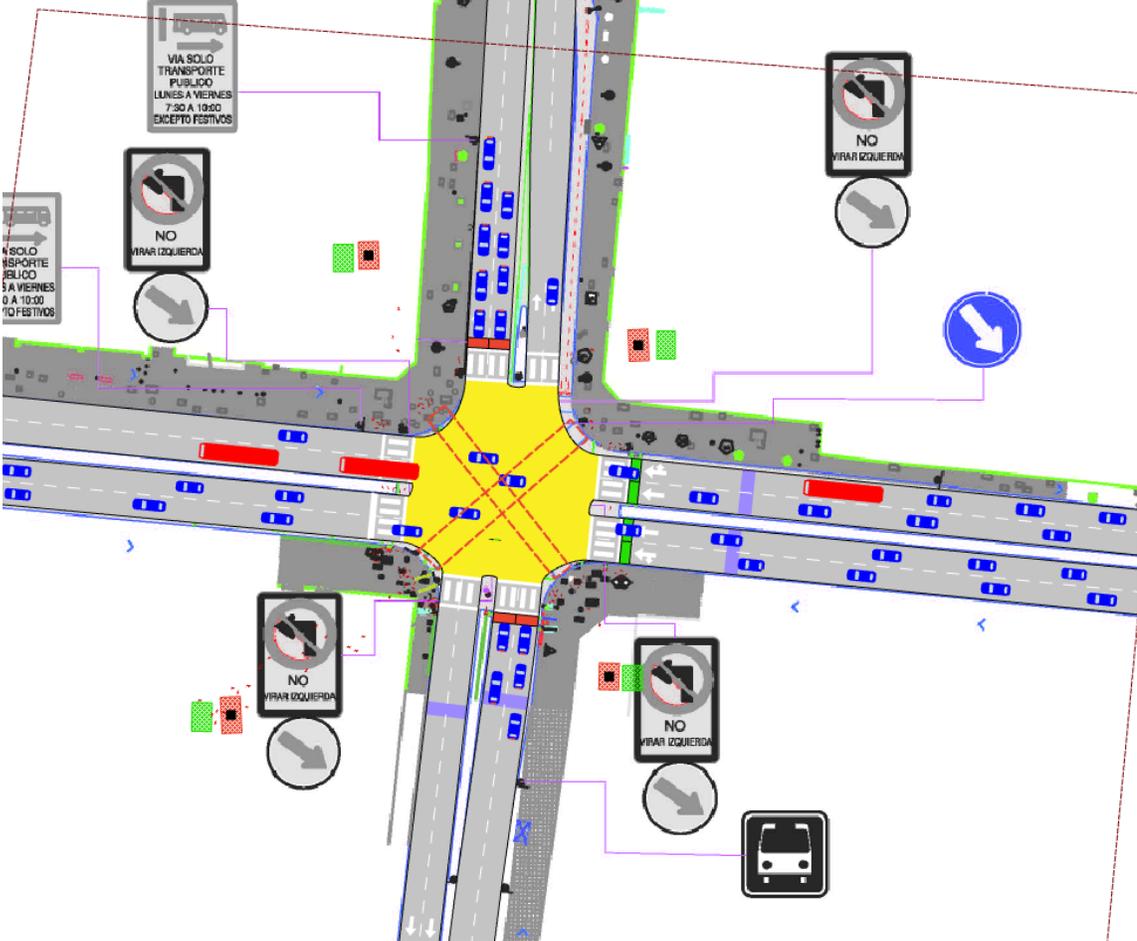
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°26. Microsimulación Sit. Actual – Punta Tarde



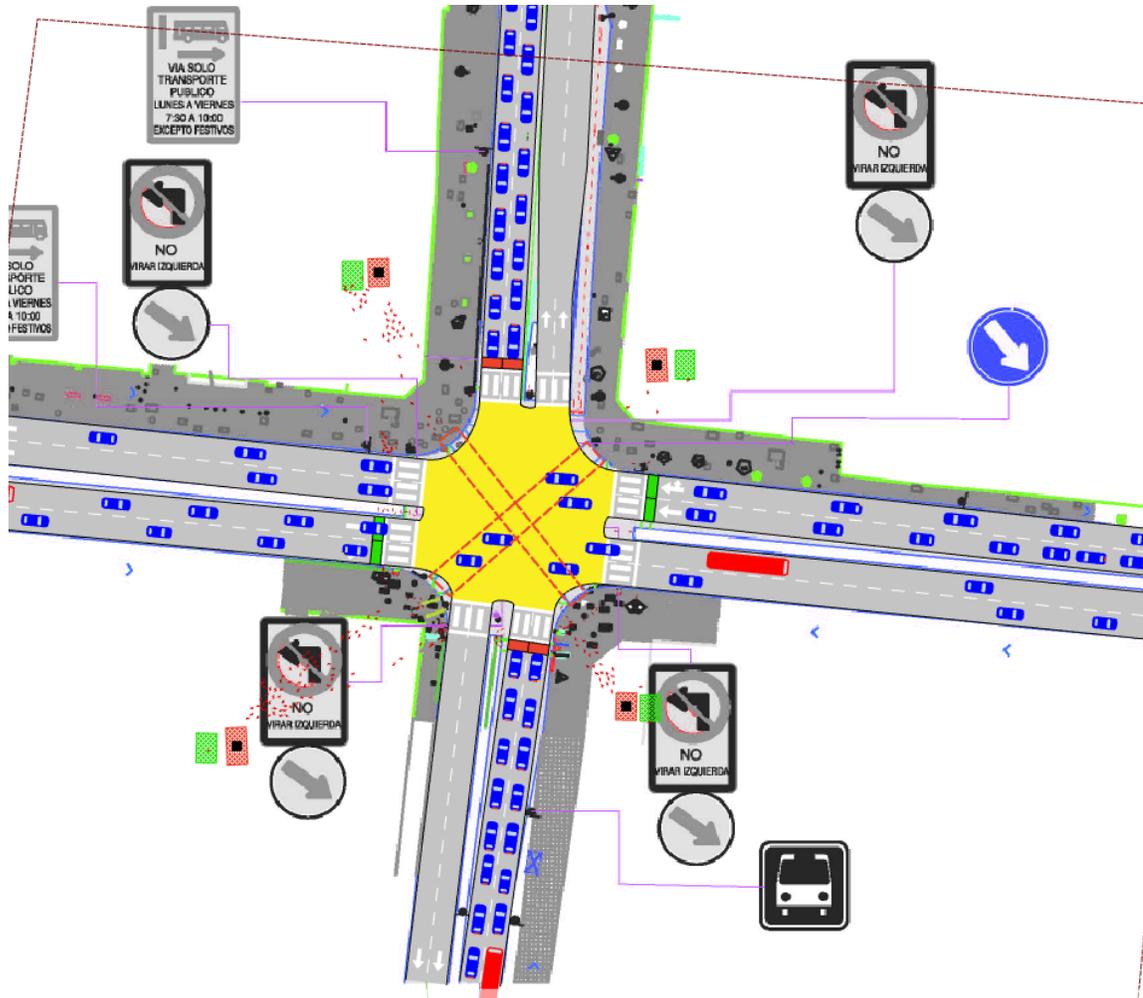
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°27. Microsimulación Cruce tipo Tokio – Punta Mañana



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°28. Microsimulación Alternativa Cruce tipo Tokio – Punta Tarde



Fuente: Elaboración Propia.

El detalle con las microsimulaciones se reporta en el Anexo Digital N° 6 “Microsimulación AIMSUN”. Los resultados de la microsimulación AIMSUN se pueden extraer de la base de datos SQLITE que entrega el modelo.

En esta base de datos se reportan todas las variables relevantes del sistema a nivel desagregado para cada una de las secciones modeladas.

En el mismo anexo se incluye un video 2D en formato (webcam) de cada eje tanto de la situación actual (Base) y de la alternativa evaluada en los periodos analizados. Este video contiene la grabación de un lapso de tiempo comprendido entre la hora de simulación y en él se puede observar la circulación y operación de los vehículos en cada una de las intersecciones más complejas o de mayor demanda, de manera de visualizar los conflictos y validar el nuevo esquema de operación.

Determinación de los Niveles de Servicio Existentes

a) Generalidades del Contexto Metodológico Análisis

A partir de la información obtenida de la caracterización de la situación actual y de la calibración de las modelaciones efectuadas, se determinan los estándares existentes en la situación actual en función del costo social global de operación de la red vial modelada, considerando los tiempos de viaje y los consumos de combustible. La estimación del costo social se calculará para cada período “p”, según lo siguiente:

b) Costo Social del Tiempo de Viaje

Figura 21. Formulación del Costo Social del Tiempo de Viaje

$$CT^p = VST \cdot \sum_i TO_i^p \cdot D_i^p$$

Donde:

CT^p : Costo social total por tiempo de viaje para el período p, en \$/h.

VST : Valor social del tiempo en \$/pax vigente, definido por el Ministerio de Desarrollo Social.

TO_i^p : Tasa de ocupación del vehículo tipo i en el período p, en pax/veh. La tasa de ocupación podrá ser la indicada por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones mediante resolución o en estudios que éste ponga a disposición de los interesados a través del SEIM.

D_i^p : Demora total en la red de los vehículos tipo i en el período p, en veh-h/h.

El valor de D_i^p se determina como:

$$D_i^p = \sum_a \frac{F_{ip}^a}{fe_i} \cdot TT_{ip}^a$$

con:

F_{ip}^a : Flujo del vehículo tipo i, en el arco a, en el período p, en veh/h.

fe_i : Factor de equivalencia del vehículo tipo i, en veh/veh.

TT_{ip}^a : Tiempo total (demora en línea de detención o pista + tiempo de recorrido en arco) para el vehículo tipo i en el arco a en el período p, en horas

Fuente: Decreto Supremo N°30.

c) Costo Social del Consumo de Combustible

Figura 22. Formulación del Costo Social del Consumo de Combustible

$$CC^p = \sum_i PSC_i \cdot \left(\sum_a \frac{F_{ip}^a}{fe_i} \cdot L_a \cdot \frac{CM_i(V_p^a)}{1000} + \sum_a \frac{F_{ip}^a}{fe_i} \cdot \frac{d_p^a}{3600} \cdot CR_i \right)$$

Donde:

CC^p : Costo social total por consumo de combustible (movimiento+ ralenti) en el período p , en \$/h.

PSC_i : Precio social del combustible asociado a los vehículos tipo i , en \$/litro, definido por el Ministerio de Desarrollo Social.

F_{ip}^a : Flujo en el arco a , del vehículo tipo i , en el período p , en veq/h.

fe_i : Factor de equivalencia del vehículo tipo i , en veq/veh.

L_a : Longitud del arco a , en km.

CM_i : Consumo específico de combustible en movimiento en función de la velocidad de operación en el arco a en el período p , definidos en el MESPIVU.

V_p^a : Velocidad de operación en el arco a en el período p , en km/h, sin considerar las detenciones.

d_p^a : Demora en el arco a , en el período p , en segundos.

CR_i : Consumo específico de combustible en ralenti, estimado a partir de lo indicado en el MESPIVU para vehículos tipo i , en L/h.

Fuente: Decreto Supremo N°30

En el MESPIVU se definen los consumos de combustible por ralenti y movimiento, que se muestran en las figuras a continuación:

Figura 23. Consumo de Combustible al Ralentí.

Tipo de Vehículo HDM4	CT (l/h)
Autos, camionetas y todo terreno	1,20
Taxis básicos y colectivos	1,04
Camiones simples	1,85
Camiones articulados	2,52
Taxibuses	1,80
Buses	2,03
Buses articulados	2,45
Buses interurbanos	2,52

Fuente: MESPIVU 2013.

Figura 24. Consumo de Combustible por Movimiento.

Velocidad Crucero (km/h)	Autos, camionetas y todo terreno (ml/det)	Taxis básicos y colectivos (ml/det)	Camiones simples (ml/det)	Camiones articulados (ml/det)	Taxibuses (ml/det)	Buses (ml/det)	Buses articulados (ml/det)	Buses interurbanos (ml/det)
10	205,6	182,0	362,8	791,9	259,6	331,1	415,9	395,1
20	110,2	97,8	216,6	483,8	165,0	210,8	259,0	230,7
30	81,3	72,7	179,5	397,0	141,7	182,4	214,4	183,5
40	68,9	61,9	169,5	367,1	137,9	178,3	203,1	170,6
50	63,7	57,3	173,3	366,4	144,8	187,5	207,8	174,0
60	62,4	56,0	186,7	377,9	158,2	204,7	221,9	186,9
70	64,0	57,5	205,5	403,0	178,2	230,1	243,7	207,7
80	67,5	60,8	234,1	440,0	206,1	265,1	274,9	237,4
90	73,1	65,2	-	-	-	-	-	-
100	80,1	71,3	-	-	-	-	-	-

Fuente: MESPIVU.

d) Precios Sociales Vigentes

Los precios sociales empleados corresponden a los publicados por el Ministerio de Desarrollo Social año 2024 para el consumo de combustible y valor social del Tiempo de Viaje, que se muestran en las figuras siguientes:

Tabla N°24. Valor Social del Tiempo de Viaje Urbano.

VALOR SOCIAL DEL TIEMPO URBANO. AÑO 2024		
Tipo	Unidad	Valor
VIAJE	\$CLP/Hora-Pasajero	3.11 4
VIAJE PARA ACTIVIDADES DEPORTIVAS Y RECREATIVAS	\$CLP/Hora-Pasajero	2.60 5
ESPERA	\$CLP/Hora-Pasajero	6.22 8
CAMINATA	\$CLP/Hora-Pasajero	6.22 8

Fuente: Ministerio de Desarrollo Social.

Tabla N°25. Precio Social de Combustibles.

PRECIO SOCIAL DEL COMBUSTIBLE, POR TIPO DE VEHÍCULO. AÑO 2024		
Tipo de Vehículo	Unidad	Valor
AUTOMÓVIL	\$CLP/Litro	809
CAMIONETA	\$CLP/Litro	837
CAMIÓN 2 EJES	\$CLP/Litro	855
CAMIÓN +2 EJES	\$CLP/Litro	855
BUSES	\$CLP/Litro	855

Fuente: Ministerio de Desarrollo Social.

e) Tasas de Ocupación

Para cuantificar monetariamente los costos asociados los distintos escenarios analizados se emplearon las tasas de ocupación del estudio “Informe Final N°2 Estudio Etapa II Táctica”, el cual incluyó la comuna de Ñuñoa. En el cuadro siguiente se presentan las tasas de ocupación según periodo y modo de transporte.:

Tabla N°26. Resumen de Tasas de Ocupación

Período	Vehículo Liviano	Buses	Taxi Colectivo	Camión Simple	Camión Pesado
Punta Mañana	1,3	38,5	1,7	1.00	1.00
Fuera de Punta	1,3	23,1	1,9	1.00	1.00
Punta Tarde	1,3	37,1	2,1	1.00	1.00

Fuente: “Informe Final N°2 Estudio Etapa II Táctica”, CIS Asociados Consultores en Transporte S.A.

f) Costo Social Total

El Costo Social Total se calcula como la suma entre el Costo Social del Tiempo de Viaje y el Costo Social de Consumo de Combustible, como se muestra en la figura siguiente:

Figura 25. Costo Social del Consumo de Combustible.

$$CS^p = CT^p + CC^p$$

Fuente: Reglamento 30.

Cálculo del Costo Social Total en la Situación Actual

En general, la cuantificación del nivel de servicio de la situación actual respecto de la circulación de vehículos livianos motorizados y buses se determina en función del costo social global de operación de la red vial modelada, considerando los tiempos de viaje y los consumos de combustible. Los precios sociales utilizados son los precios vigentes de acuerdo con el Ministerio de Desarrollo Social presentados anteriormente.

Este costo social de por tiempo y combustible se determinó a partir de los costos de cada tipo de vehículo. A continuación, se presenta el costo social total por cada variable y periodo:

Tabla N°26. Costo Social del Tiempo de Viaje, Situación Actual Año 2024.

Periodo	Alternativa	Total Costo
PM	Sit. Actual	\$ 17,473,138,790
PT		\$ 29,405,824,545
FP		\$ 48,794,451,951

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°27. Costo Social Total de Combustible, Situación Actual Año 2024.

Periodo	Alternativa	Total Costo
PM	Sit. Actual	\$28,044,869
PT		\$33,474,691
FP		\$189,398,561

Fuente: Elaboración Propia.

Cálculo del Costo Social Total en la Situación con Proyecto

A partir de los resultados obtenidos de simulación de la situación con proyecto, se analizó su nivel de servicio en función del costo social global de operación de la red vial modelada, considerando los tiempos de viaje y los consumos de combustible. Los precios sociales utilizados son los precios vigentes de acuerdo con el Ministerio de Desarrollo Social:

Cabe señalar que la estimación del costo social global para la situación con proyecto corresponde a la determinación de los costos sociales para los flujos de la situación base, pero con los niveles de servicio de la situación con proyecto. La metodología de cálculo es la misma descrita para la situación base, pero considerando los flujos por arco de la situación base y las demoras por arco de la situación con proyecto, es decir:

Figura 26. Costo Social Total en la Situación con Proyecto.

$$CCP_c^p = CT_c^p(FSB_{ia}^{pc}, DCP_a^{pc}) + CC_c^p(FSB_{ia}^{pc}, DCP_a^{pc})$$

Donde:

CCP_c^p : Costo social global de la situación con proyecto para el período p, en el corte temporal c, en \$/h.

CT_c^p : Costo social global por tiempo de viaje para el período p en el corte temporal c, en \$/h, dependiente de los flujos por tipo de vehículo i por arco en el período p en el corte temporal c de la situación base (FSB_{ia}^{pc}) y las demoras por arco en el período p en el corte temporal c en la situación con proyecto (DCP_a^{pc}).

CC_c^p : Costo social global por consumo de combustible (movimiento+ralentí) para el período p en el corte temporal c, en \$/h, dependiente de los flujos por tipo de vehículo i por arco, en el período p, en el corte temporal c de la situación base (FSB_{ia}^{pc}) y las demoras por arco en el período p, en el corte temporal c en la situación con proyecto (DCP_a^{pc}).

Fuente: Reglamento N°30.

A partir de la función expuesta anteriormente para la estimación del costo total para la situación con proyecto, se determinó el costo social por tiempo y combustible para cada tipo de vehículo. A continuación, se presenta el costo social total por cada variable y periodo:

Tabla N°28. Costo Social del Tiempo de Viaje, Situación con Proyecto Año 2025.

Periodo	Alternativa	Total Costo
PM	Sit. Proyecto	\$ 17,620,538,801
PT		\$ 48,439,389,995
FP		\$ 64,526,305,010

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°29. Costo Social Total de Combustible, Situación con Proyecto Año 2025.

Periodo	Alternativa	Total Costo
PM	Sit. Proyecto	\$33,862,015
PT		\$53,133,795
FP		\$230,137,657

Fuente: Elaboración Propia.

A modo de comparar el impacto que genera el proyecto del rediseño de la intersección y cuantificar el impacto en los costos sociales que produciría se ve reflejado lo siguiente:

Tabla N°30. Indicador de Impacto del Proyecto.

COSTO SOCIAL ANUAL POR PERIODO DE COMBUSTIBLE			
ALTERNATIVA	CT	CC	TOTAL
S. ACTUAL	\$95,673,415,286	\$250,918,120	\$95,924,333,406
S. PROY	\$130,586,233,806	\$317,133,467	\$130,903,367,273
			-\$34,979,033,867

Fuente: Elaboración Propia.

CAPITULO N°6:

CONCLUSIÓN

En el desarrollo del presente trabajo de título se analizó el rediseño, funcional y operacional de la intersección pasando a ser un cruce tipo "TOKIO" de Pedro de Valdivia con Av. Irarrázaval, cuya verificación funcional se efectuó mediante la iteración de los modelos SIDRA-AIMSUN para los periodos punta mañana y punta tarde de un día laboral normal se pudo constatar que dicha implementación efectivamente genera más beneficios cuantificables y de seguridad respecto de la situación actual.

- **Respecto a los resultados obtenidos de las simulaciones con el modelo SIDRA, especialmente basados en el indicador del grado de saturación se puede comentar lo siguiente:**

En cuanto a los grados de saturación de la situación actual con la situación con proyecto para el periodo más crítico que resulta ser el periodo punta tarde ya que como se describe en este trabajo de título es el que se observa mayor cantidad de flujo vehicular en la operación de entrada estos indicadores sobrepasan el mínimo exigido (85%) llegando a 292% respectivamente.

En el caso de la propuesta del cruce tipo "TOKIO" según este mismo indicador sería el de mejor desempeño ya que en sus resultados presentan menores grados de saturación en ambos periodos.

Respecto de la comparación entre estas situaciones, es la propuesta la que presenta mejor rendimiento, ya que en su fase más crítica que corresponde a la que da derecho de paso en la maniobra de viraje a la derecha en el periodo punta tarde alcanza el 100% respecto a la situación actual que es de 292%.

- **Respecto a los resultados obtenidos de las simulaciones con el modelo AIMSUN, se puede comentar lo siguiente:**

Respecto a la microsimulación AIMSUN, la propuesta experimenta aumentos en los distintos indicadores globales, tanto en los periodos punta mañana y punta tarde. No obstante, en el periodo punta mañana las variaciones tienden a ser menores respecto del periodo punta tarde.

Basado en los indicadores más representativos de AIMSUN (tiempos de viaje, demora y detenciones) la propuesta experimenta incrementos en los indicadores en el periodo punta mañana el cual estos son bastante moderados con aumentos del 13.3%, 18.4% y 20%.

Para esta propuesta, al igual que en el periodo de la punta mañana en este caso el periodo punta tarde sufre aumentos mucho mayores llegando a ser 22.6%, 28.7% y 27.08%.

En consecuencia, tanto los indicadores obtenidos de las simulaciones SIDRA y AIMSUN, permiten concluir que si bien la propuesta experimenta aumentos en los tiempos de viaje, demora y detenciones también reduce el tiempo de cola y el grado de saturación en la intersección, además de añadirle mayor seguridad dejando solo una fase a los peatones evitando el conflicto vehiculo-peaton.

- **Respecto a los resultados obtenidos de la cuantificación de los costos sociales, se puede comentar lo siguiente:**

Según los resultados obtenidos de la cuantificación monetaria del impacto del proyecto de la situación actual es marginal en la punta mañana, por el contrario, en los periodos fuera de punta y punta tarde se puede verificar que tienen diferencias.

Como se ve reflejado en la tabla de indicador de impacto del proyecto no genera beneficios la propuesta arrojando un precio negativo todo esto evaluando un año solamente, pero esto también demuestra que una propuesta de este tipo la cual genera otros beneficios como mayor seguridad, menos riesgos de accidentes, etc. No se cuantifica un parámetro importante en este tipo de cruces que son los peatones por lo que este método demuestra que no es el más apropiado para evaluar

costos sociales no es el mas correcto para realizar este tipo de evaluaciones sino que diseñar uno que cuantifique a los peatones.

Bibliografía

- 24horas. (2022, Junio 6). *24horas*. From <https://www.24horas.cl/regiones/zona-centro/biobio/semaforos-tendran-fase-peatonal-exclusiva>
- Aquiles. (1995).
- Bovy, Bottom, & Ben-Akiva. (2007). ITS and Traffic Management, ser. In *Handbook in Operations Research and Management Science* (pp. 715-774).
- Burghout, W. (2004). *Hybrid microscopic-mesoscopic traffic simulation* . Stockholm.
- Carranza, V., & Suarez, J. M. (n.d.). *mxcity*. From mxcity: <https://mxcity.mx/2019/01/estos-son-los-primeros-cruces-diagonales-para-peatones-en-la-cdmx/>
- Conaset. (2006). *Fatiga en la conduccion* . Santiago.
- Dallos Lizcano, J. J., & Galeno Leon, L. M. (2016, Mayo). *ResearchGate*. From https://www.researchgate.net/publication/303697174_Estado_del_Arte_para_el_Modelo_Estocastico_para_la_optimizacion_de_las_operaciones_en_el_sistema_de_transporte_Stochastic_model_for_optimizing_operations_in_the_mass_transit_system_Metrolinea_in_the_c
- Delgado, M. (2019, Octubre 8). *Rastreator*. From Rastreator.mx: <https://www.rastreator.mx/seguros-de-auto/articulos-destacados/cruces-en-diagonal>
- FHWA. (2004). Federal Highway Administration . In *Traffic Analysis Toolbox Volumen III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software*.
- Gob, C. (Director). (2021). *Cruces Tokio - #TodxsSomosVialistas* [Motion Picture].
- Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. (2020). Fichas para la Gestión de Aglomeraciones. *Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones*, 33.

- Mobilitas. (2019, Marzo 15). *Mobilitas*. From Mobilitas:
<https://mobilitas.lat/es/2019/03/15/cruces-peatonales-diagonales/>
- Organizacion Mundial de la Salud . (2013). *Informe sobre la situacion mundial de la seguridad vial* . Ginebra: Bloomberg Philanthropies.
- Paez, F., Urriza, J., Orozco, J., & Buckle, C. (2011). Un Modelo de Eventos Discretos para la Simulación de Sistemas de Tiempo Real. *XVII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*. La Plata, Arg.
- Pimentel, J. (2014, 7 14). *Slideshare*. From
<https://es.slideshare.net/slideshow/deterministico-y-probabilistico-36982154/36982154>
- Porcellinis, S. D. (2009).
- Robles, D., Ñañez, P., & Quijano, N. (2009, Mayo). Control y simulación de trafico urbano en Colombia. *Revista de Ingenieria* , pp. 59-69.
- Sastre, J. (2017, Octubre 23). *JuliánSastre* . From JuliánSastre :
<https://juliansastre.com/interseccion-en-cruz-cruce-japonesa/>
- Seremi de Desarrollo Social y Familia Metropolitana . (2019). *Analisis de proyecciones de poblacion INE*. Santiago.
- Tarifa. (2001). *Teoria de modelos y simulación*.
- Taylor, H., & Karlin, S. (1998). *An introduction to Stochastic Modeling*.
- TV, L. C. (Director). (2017). *Conoce la solución Tokio, un eficiente sistema de cruce peatonal* [Motion Picture].
- Twarogowska, M., Goatin, P., & Duvigneau, R. (2014). Comparative study of macroscopic pedestrian models. In *Transportation Research Procedia* (pp. 477-485).