

Estudio: “Análisis Asistencia Técnica Gestión de Tránsito y Transporte Público, Zona Norte”

ORDEN DE TRABAJO N° 2

INFORME FINAL

ÍNDICE MEMORIA

1	ASPECTOS GENERALES.....	1-1
1.1	INTRODUCCIÓN.....	1-1
1.2	DETALLE DE TAREAS.....	1-2
1.2.1	<i>Tarea N° 5: Calibración de Redes Tácticas en Formato Inner con Saturn.....</i>	<i>1-2</i>
1.2.2	<i>Tarea N° 4: Codificación de Redes Tácticas en Formato Inner para Modelación de Proyectos con SATURN.....</i>	<i>1-2</i>
1.3	CONTEXTO TEMPORAL DEL ANÁLISIS.....	1-3
2	RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES	2-1
2.1	CONTEOS DE TRÁNSITOS PERIÓDICOS	2-1
2.1.1	<i>Identificación de los Puntos de Medición.....</i>	<i>2-1</i>
2.1.2	<i>Días y Periodos de Medición.....</i>	<i>2-2</i>
2.1.3	<i>Tipo de Vehículos</i>	<i>2-3</i>
2.2	PROGRAMACIÓN DE SEMÁFOROS	2-4
2.3	RED DE MODELACIÓN SATURN REFERENCIAL.	2-6
2.4	VISITA A TERRENO	2-9
2.5	ZONIFICACIÓN	2-10
3	CALIBRACIÓN DEL MODELO DE ASIGNACIÓN (TAREA N°5)	3-1
3.1	METODOLOGÍA GENERAL DE CALIBRACIÓN	3-1
3.2	ACTUALIZACIÓN DE LA RED VIAL DE CALIBRACIÓN.....	3-2
3.2.1	<i>Topología.....</i>	<i>3-2</i>
3.2.2	<i>Características Operativas.....</i>	<i>3-5</i>
3.3	CALIBRACIÓN DE RUTAS FIJAS.....	3-5
3.3.1	<i>Ajuste Modo Bus-Taxibus.....</i>	<i>3-7</i>
3.3.2	<i>Ajuste Modo Taxi-colectivo.....</i>	<i>3-12</i>
3.3.3	<i>Ajuste Modo Bus Interurbano.....</i>	<i>3-17</i>
3.4	AJUSTE MATRICES ASIGNABLES.....	3-24
3.4.1	<i>Matrices A Priori.....</i>	<i>3-24</i>
3.4.2	<i>Estimación de Matrices</i>	<i>3-24</i>
3.4.3	<i>Comparación Flujos Modelados y Observados.....</i>	<i>3-33</i>

3.4.4	<i>Asignación</i>	3-38
3.5	GRADOS DE SATURACIÓN	3-46
4	CODIFICACIÓN DEL PROYECTO (TAREA N°4)	4-48
4.1	DEFINICIÓN SITUACIÓN BASE	4-48
4.2	DEFINICIÓN DEL PROYECTO	4-52
4.3	CODIFICACIÓN DEL PROYECTO	4-1
4.3.1	<i>Características Operativas</i>	4-1
4.3.2	<i>Construcción de Redes</i>	4-1
4.4	ASIGNACIÓN DEL PROYECTO	4-1
5	CONCLUSIONES	5-13

Estudio: “Análisis Tácticos de Proyectos de Transporte Urbano, Zona Norte”

ORDEN DE TRABAJO N° 2

1 ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

En el marco del Estudio “**Análisis Tácticos de Proyectos de Transporte Urbano Zona Norte**”, Sectra ha encargado a CIS Asociados S.A. el desarrollo de la Orden de Trabajo N°2, con el fin de dar cumplimiento a la petición realizada por el Alcalde de la Ilustre Municipalidad de Quillota, donde solicita a SECTRA realizar el análisis vial de operación de los flujos vehiculares, una vez que se ejecute el proyecto “Diseño de Ingeniería Circuito Vial Plaza de Armas y Plazuela San Francisco”. Dicho proyecto considera intervenir algunas de las vías céntricas de la ciudad con la finalidad de aumentar los anchos de acera y generar calles vereda, y corresponde a un proyecto desarrollado por dicha Municipalidad durante el año 2008, y el cual no se ha construido a la fecha.

En virtud de lo anterior, se le encomienda al Consultor realizar las siguientes tareas:

Tarea N° 4: Codificación de Redes Tácticas en Formato Inner para Modelación de Proyectos con SATURN.

Tarea N° 5: Calibración de Redes Tácticas en Formato Inner con SATURN.

El objetivo, a través de dichas tareas, es re-calibrar el modelo de asignación de transporte a través del modelo SATURN y codificar la nueva situación con proyecto, modificando dicha red en la zona céntrica de la ciudad, donde se ubicará el proyecto mencionado.

Para cumplir tal objetivo, se utilizan las redes SATURN provenientes del estudio “Mejoramiento Camino Troncal Quillota, La Cruz, La Calera”, y re-calibrarlas con las mediciones periódicas de flujo vehicular que se tomaron durante el mes de Mayo y Junio del presente año. Luego, se realiza la codificación del proyecto a partir del diseño original en planta de los ejes intervenidos con paseos semi-peatonales, información proporcionada por el mandante.

Las redes SATURN mencionadas anteriormente, constituyen la situación base de modelación, sobre la cual se modela el proyecto “Diseño de Ingeniería Circuito Vial Plaza de Armas y Plazuela San Francisco”. La modelación se realizará para los períodos Punta Mañana y Punta Tarde, y para un corte temporal correspondiente a la fecha de las mediciones, 2009.

1.2 Detalle de Tareas

1.2.1 Tarea N° 5: Calibración de Redes Tácticas en Formato Inner con Saturn.

La calibración de las redes de modelación de Quillota se hará a partir de las redes SATURN del estudio “Mejoramiento Camino Troncal Quillota, La Cruz, La Calera” del año 2002 y las 21 mediciones periódicas que se realizaron en la zona céntrica de la ciudad durante el mes de Mayo y Junio del presente año. Esta información fue proporcionada por SECTRA, al consultor.

Es importante mencionar que, debido a la ubicación céntrica que tienen los puntos de medición, la red sólo se modifica dentro del perímetro céntrico que se muestra en la figura subsiguiente. Específicamente perímetro definido por las calles; Arturo Prat por el norte, Bulnes por el poniente, Arauco por el sur y Portales por el oriente.

La calibración incluye primeramente un ajuste a las frecuencias y rutas fijas consideradas, para posteriormente calibrar los flujos asignables. El criterio mínimo considerado para replicar los flujos vehiculares será cumplir con una diferencia no mayor a 20% entre flujos modelados y observados para arcos con flujos mayores o iguales a 200 veq/hr.

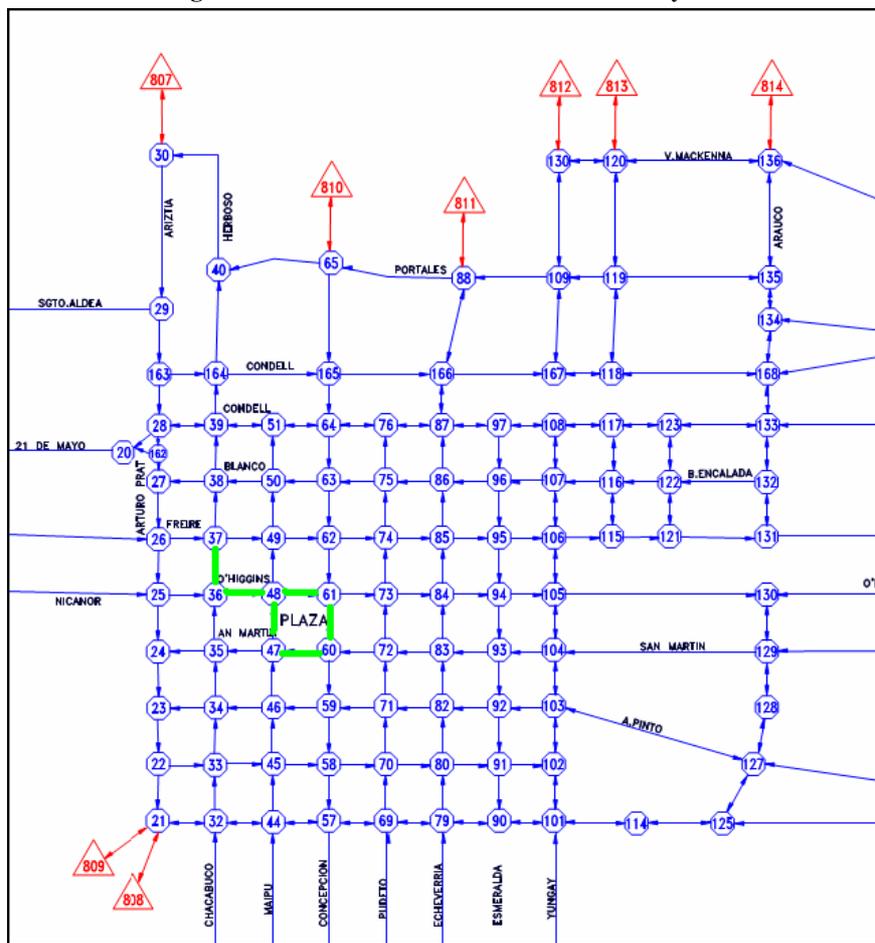
1.2.2 Tarea N° 4: Codificación de Redes Tácticas en Formato Inner para Modelación de Proyectos con SATURN.

Para esta tarea, la Situación Base será la obtenida de la tarea anterior, una vez que la red del año 2002 se actualice con los flujos del año 2009.

Luego, utilizando el proyecto “Diseño de Ingeniería Circuito Vial Plaza de Armas y Plazuela San Francisco”, en planta de los ejes intervenidos, se modela el escenario con proyecto. Para ello se codifica y construye la nueva red, de modo que se pueda utilizar para futuras aplicaciones.

La ubicación del proyecto y los arcos y nodos considerados en la red SATURN del centro de Quillota, se muestran en color verde en la siguiente figura:

Figura N° 1-1: Nodos de Intervención del Proyecto



Fuente: Bases OT N°2

A continuación se nombra la ubicación de los 6 nodos Inner afectados por el proyecto de paseos peatonales:

N° en Red Saturn Original	Calle 1	Calle2
36	O'Higgins	Chacabuco
37	Freire	Chacabuco
47	San Martín	Maipú
48	O'Higgins	Maipú
60	San Martín	Concepción
61	O'Higgins	Concepción

Fuente: Bases OT N°2

1.3 Contexto Temporal del Análisis

Dentro del contexto temporal, se analizarán los períodos punta mañana y punta tarde del año 2009.

2 RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

2.1 Conteos de Tránsitos Periódicos

El mandante puso a disposición del consultor los conteos de flujo vehicular realizados en puntos de control ubicados en el centro de Quillota, correspondiente a los períodos punta mañana y punta tarde, durante mayo y junio del presente año (2009).

2.1.1 Identificación de los Puntos de Medición

Los puntos de control medidos a nivel de movimientos se entregan en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 2-1: Puntos de Control de Conteos de Tránsito Periódicos

PC	Nodo Red	Calle 1	Calle 2
1	50	Blanco	Maipú
2	75	Blanco	Pudeto
3	96	Blanco	Esmeralda
4	37	Freire	Chacabuco
5	62	Freire	Concepción
6	85	Freire	Diego Echeverría
7	36	O'Higgins	Chacabuco
8	48	O'Higgins	Maipú
9	46	Pinto	Maipú
10	92	Pinto	Esmeralda
11	60	San Martín	Concepción
12	72	San Martín	Pudeto
13	104	San Martín	Yungay
14	57	Bulnes	Concepción
15	33	Carrera	Chacabuco
16	70	Carrera	Pudeto
17	39	Condell	Chacabuco
18	51	Condell	Maipú
19	64	Condell	Concepción
20	76	Condell	Pudeto
21	108	Condell	Yungay

Fuente: SECTRA

Figura N° 2-1: Localización de Puntos de Control de Flujos



Fuente: SECTRA

2.1.2 Días y Períodos de Medición

Las mediciones se realizaron en los siguientes días laborales del presente año, 2009:

- Martes 26 de Mayo
- Jueves 28 de Mayo
- Martes 02 de Junio
- Jueves 04 de Junio
- Martes 09 de Junio
- Jueves 11 de Junio

A continuación se presentan los períodos y las horas en los que se realizaron las mediciones:

Cuadro N° 2-2: Períodos de Medición de Flujos

Código Período	Período	Hora
P01	Punta Mañana	07:15 – 09:15
P02	Fuera de Punta	10:00 – 12:00
P03	Punta Tarde	18:15 – 20:15

Fuente: SECTRA

2.1.3 Tipo de Vehículos

Las mediciones de flujos vehiculares consideraron los flujos vehiculares de los siguientes modos:

- Automóviles - Camionetas - Jeep - Furgones - Transporte Escolar
- Taxi Básico
- Taxis Colectivos
- Taxibuses Y Minibuses
- Buses Interurbanos
- Camiones 2 Ejes
- Camión + 2 Ejes
- Motos
- Bicicletas

Los conteos entregados son cada 15 min., abarcando la totalidad de los movimientos existentes por punto de medición.

Para la conversión de tipologías de vehículos a VEQ, se utilizaron las siguientes equivalencias:

Cuadro N° 2-3: Factores de Equivalencia en VEQ

Categoría	Factor de Equivalencia (veq/veh)
Vehículos Livianos	1,00
Taxis Colectivos	1,25
Buses Urbanos	2,00
Taxibuses Urbanos	1,65
Buses Interurbanos	2,00
Buses Rurales	2,00
Camiones Simples de 2 Ejes	2,00
Camiones Pesados (más de 2 ejes)	2,50
Bicicletas	0,50

2.2 Programación de Semáforos

Con la finalidad de actualizar la programación de semáforos de las redes de modelación, el mandante puso a disposición del consultor las programaciones de los siguientes semáforos.

Cuadro N° 2-4: Programaciones de Semáforos

Horario	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Entre Verdes	Ciclo Total
	Bianco	Prat	X		
Fuera Punta	30 s	25 s		10 s	65 s
Hora Punta	38 s	32 s		10 s	80 s
	Merced	Serrano	X		
Fuera Punta	31 s	21 s		8 s	60 s
Hora Punta	42 s	30 s		8 s	80 s
	Merced	Prat	X		
Fuera Punta	30 s	25 s		10 s	65 s
Hora Punta	38 s	32 s		10 s	80 s
	Freire	Chacabuco	X		
Fuera Punta	30 s	25 s		10 s	65 s
Hora Punta	38 s	32 s		10 s	80 s
	Freire	Maipu	X		
Fuera Punta	30 s	25 s		10 s	65 s
Hora Punta	38 s	32 s		10 s	80 s
	Freire	Ahumada	X		
Fuera Punta	37 s	25 s		8 s	70 s
Hora Punta	50 s	32 s		8 s	90 s
Nocturno	30 s	22 s		8 s	60 s
Fuera Punta	Freire Paso Peaton	X	X	4 s	X
	21 de Mayo	Serrano	X		
Fuera Punta	25 s	17 s		8 s	50 s
Mañana	32 s	20 s		8 s	60 s
Med. Día-Tarde	47 s	25 s		8 s	80 s
Nocturno	25 s	17 s		8 s	50 s
	Alberdi	freire	X		
Fuera Punta	44 s	18 s		8 s	70 s
Hora Punta	59 s	23 s		8 s	90 s
	Maipu	Carrera	X		
Fuera Punta	33 s	22 s		10 s	65 s
Hora Punta	43 s	27 s		10 s	80 s

NOTA: En todos los cruces que solo figura un solo horario punta es debido, a que estos tiempos se ejecuta para todas las puntas, ya sea Mañana Medio Día y Tarde.

Para el plan nocturno se ejecutan los mismos tiempos que en Fuera de punta.

Horario	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Entre Verdes	Ciclo Total
	O'higgins	Chacabuco	X		
Fuera Punta	30 s	25 s		10 s	65 s
Hora Punta	38 s	32 s		10 s	80 s
	O'higgins	Maipu	X		
Fuera Punta	30 s	25 s		10 s	65 s
Hora Punta	38 s	32 s		10 s	80 s
	O'higgins	Concepcion	X		
Fuera Punta	30 s	25 s		10 s	65 s
Hora Punta	38 s	32 s		10 s	80 s
	Freire	Concepcion	X		
Fuera Punta	30 s	25 s		10 s	65 s
Hora Punta	38 s	32 s		10 s	80 s
	San Martin	Concepcion	X		
Fuera Punta	30 s	25 s		10 s	65 s
Hora Punta	38 s	32 s		10 s	80 s
	San Martin	Maipu	X		
Fuera Punta	30 s	25 s		10 s	65 s
Hora Punta	38 s	32 s		10 s	80 s
	Condell	Maipu	X		
Fuera Punta	35 s	20 s			65 s
Hora Punta	40 s	30 s			80 s
	Condell	Chacabuco	X		
Fuera Punta	35 s	20 s		10 s	65 s
Hora Punta	40 s	30 s		10 s	80 s
	Blanco	Concepcion	X		
Fuera Punta	30 s	25 s		10 s	65 s
Hora Punta	38 s	32 s		10 s	80 s
	Blanco	Maipu	X		
Fuera Punta	30 s	25 s		10 s	65 s
Hora Punta	38 s	32 s		10 s	80 s
	O'higgins	Yungay	X		
Fuera Punta	31 s	31 s		8 s	70 s
Hora Punta	31 s	31 s		8 s	70 s
	Alberdi	O'higgins	X		
Fuera Punta	44 s	18 s		8 s	70 s
Hora Punta	59 s	23 s		8 s	90 s

NOTA: En todos los cruces que solo figura un solo horario punta es debido, a que estos tiempos se ejecuta para todas las puntas, ya sea Mañana Medio Día y Tarde

Para el plan nocturno se ejecutan los mismos tiempos que en Fuera de punta

Horario	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Entre Verdes	Ciclo Total
	21 de Mayo(Av. Condell)	21 de Mayo(Plaza)	Paso Peaton		
Fuera Punta	21 s	9 s	12 s	8 s	50 s
Mañana	28 s	12 s	12 s	8 s	60 s
Med. Dia-Tarde	40 s	16 s	16 s	8 s	80 s
Nocturno	21 s	9 s	12 s	8 s	50 s
	Condell N-S	Condell S-N + Flecha	Yungay		
Fuera Punta	27 s	27 s + 14 s	19 s	14 s	70 s
Mañana	31 s	31 s + 16 s	24 s	14 s	85 s
Med. Dia-Tarde	24 s	24 s + 14 s	17 s	14 s	64 s
Nocturno	19 s	19 s + 12 s	14 s	14 s	49 s
	Condell N-S+Flecha	Condell S-N	Aspíllaga		
Fuera Punta	26 s + 18 s	26 s	10 s	11 s	65 s
Hora Punta	35 s + 18 s	35 s	16 s	11 s	80 s
	Condell N-S+Flecha	Condell S-N	Ariztia		
Fuera Punta	20 s + 10 s	20 s	20 s	15 s	65 s
Hora Punta	25 s + 14 s	25 s	26 s	15 s	80 s
	21 de Mayo N-S	21 Mayo S-N/ Flecha Shell	M.Rodríguez+Flecha		
Fuera Punta	11 s	19 s 9 s	9 s + 14 s	12 s	50 s
Mañana	15 s	27 s 9 s	9 s + 16 s	12 s	60 s
Med. Dia-Tarde	25 s	39 s 11 s	11 s + 22 s	12 s	80 s
Nocturno	11 s	19 s 9 s	9 s + 14 s	12 s	50 s

1° NOTA: En todos los cruces que solo figura un solo horario punta es debido, a que estos tiempos se ejecuta para todas las puntas, ya sea Mañana Medio Dia y Tarde.

Para el plan nocturno se ejecutan los mismos tiempos que en Fuera de punta.

2° NOTA: En la Fase 2: 21 de Mayo S-N/ Flecha Shell los tiempos de esta fase no se suman a los de la flecha Shell, es decir, la flecha se ejecuta durante el verde de 21 de Mayo y se prolonga asta transcurrido unos segundos en rojo.

Fuente: SECTRA

2.3 Red de modelación SATURN Referencial.

Las redes SATURN provenientes del estudio “Mejoramiento Camino Troncal Quillota, La Cruz, La Calera”, períodos punta mañana y punta tarde, fueron levantadas con el programa AGEDRES, previa definición de las coordenadas geográficas que fueron incorporadas a la tarjeta 5 de acuerdo al formato SATURN.

La topología general de la red y del área de análisis se presenta en las figuras siguientes:

Figura N° 2-2: Red SATURN Referencial



Fuente: Elaboración propia

2.4 Visita a Terreno

En la presente orden de trabajo la re-codificación de red de la situación actual no está dentro de las tareas previstas, pero considerando que las redes de modelación que representan la vialidad de Quillota corresponden al año 2002, existían altas probabilidades que las condiciones de operación hubiesen cambiado a la fecha y dado que no se cuenta con mayores antecedentes respecto a la operación de la red vial en la situación actual, al no existir, catastros operativos de ejes y de intersecciones y catastros de transporte público (taxi-buses, taxi-colectivos y buses interurbanos), se estimó necesario realizar una visita a terreno para verificar las principales condiciones de operación de la red actual, en comparación de la red proporcionada por el mandante.

En la visita a terreno se chequearon los siguientes aspectos:

- Sentido de circulación de las calles
- Tipo de regulación de las intersecciones
- Presencia de transporte público
- Tiempo de desfases en semáforos de los ejes viales principales

Cabe señalar que, si bien es cierto, el área de análisis es el sector céntrico, delimitado por las calles; A. Prat por el norte, Bulnes por el poniente, Arauco por el sur y Portales por el oriente, en la visita a terreno, se amplió el área de cobertura, por existir sectores en que su operación está estrechamente ligada con el sector céntrico, como es el área nor-oriental que incluye el eje 21 de Mayo y Merced (conexión con La Calera), con la finalidad de facilitar el proceso de calibración.

Las principales diferencias detectadas en terreno son las siguientes:

Cuadro N° 2-5: Diferencias entre Redes de Referencia y Situación Actual

Lugar	Red Referencia	Situación Actual
Calle Bulnes entre Yungay y Chacabuco	Bidireccional	Sólo sentido Sur-Norte
Calle Freire entre Yungay y Arauco	Sólo sentido sur-norte	Bidireccional
21 de Mayo entre M. Rodríguez y Simón Alamos	Bidireccional	Sólo sentido Sur-Norte
M. Rodríguez entre Merced y 21 de Mayo	Bidireccional	Sólo poniente-oriental
Intersección O'Higgins/Echeverría	Semaforizada	Prioridad
Intersección Freire/Echeverría	Semaforizada	Prioridad
Intersección Prat/Blanco	Prioridad	Semaforizada
Intersección Chacabuco/O'Higgins	Prioridad	Semaforizada
Intersección Maipú/San Martín	Prioridad	Semaforizada
Intersección Maipú/Blanco	Prioridad	Semaforizada
Intersección Condell/Concepción	Prioridad	Semaforizada
Intersección Freire/Concepción	Prioridad	Semaforizada
Intersección Valparaíso/Concepción	Prioridad	Semaforizada
Intersección Condell/Yungay	Prioridad	Semaforizada
Intersección Freire/Ahumada	Prioridad	Semaforizada
Intersección 21 de Mayo/M. Rodríguez	Prioridad	Semaforizada
Intersección Merced/Serrano	Prioridad	Semaforizada
Intersección Pinto/Alberdi	Prioridad	Semaforizada

Fuente: Elaboración propia

3 CALIBRACIÓN DEL MODELO DE ASIGNACIÓN (Tarea N°5)

En el presente capítulo se reporta la metodología, procedimiento y resultados de la Tarea N°5 denominada “Calibración del Modelo de Asignación”, a partir de la información de flujos vehiculares levantada 21 puntos de control insertos en el área de análisis, en el presente año (2009) y utilizando el modelo SATURN. Para tal efecto, se requiere previamente una calibración de las rutas fijas, a partir de la información indicada anteriormente. Para la calibración del modelo se utiliza la red proporcionada por el mandante y las matrices origen –destino (vehículos livianos y camiones) como matriz a priori ajustando dichas matrices con el módulo SATME2 de SATURN con el fin que el modelo reproduzca los flujos vehiculares observados en la situación actual, en los períodos punta mañana y punta tarde.

3.1 Metodología General de Calibración

El proceso de calibración corresponde al tradicional utilizado en este tipo de análisis, que consiste básicamente en un proceso iterativo, donde se retroalimentan los niveles de servicio de la red vial y la matriz de viajes.

Para la calibración de la situación actual, el modelo de asignación requiere de los siguientes antecedentes:

1. Oferta vial. Definición de la red (arcos y conectores) y características de los arcos e intersecciones (longitud, velocidad, regulación de la intersección, número y uso de pistas). Esta etapa considera las características actuales de la infraestructura vial que la red involucra.
2. Demanda de Transporte: Matrices preliminares y conteos de flujo vehicular por modo de transporte; privado, público y de carga.

El proceso de calibración consta de las siguientes etapas:

Calibración de la red vial: Consiste en verificar las características geométricas de los arcos e intersecciones y de la definición de la topología de la red vial (arcos, conectores, etc.), de forma de no introducir distorsiones en el ajuste de la matriz de viajes derivadas de una definición errada de la red de modelación. Para tal efecto, se efectúa una calibración inicial entre los resultados de las cargas vehiculares a nivel de la red táctica y los flujos vehiculares observados en terreno, de modo de asimilarlos, modificando para ello la localización de los conectores de zonas, los parámetros de arcos e intersecciones como tiempos de viaje y flujos de saturación. Este proceso de ajuste inicial se realiza sólo

cargando la matriz a priori en la red, es decir sin correr Satme2 para no producir distorsiones en el análisis de la red táctica

Calibración de Frecuencias de Rutas Fijas. Consiste en el ajuste de las frecuencias de las rutas fijas del transporte público (taxis-colectivos y taxi-buses) con los flujos observados, diferenciados por tipo de vehículo, en los distintos arcos de la red vial.

Calibración de la Matriz de Viajes Transporte Privado. Consiste en obtener una matriz origen destino que permita, una vez asignada, reproducir los volúmenes vehiculares en los arcos con conteos de flujo. Para tal efecto, se utilizan como matriz a priori las entregadas por el mandante. Estas matrices entran al proceso de estimación de matrices con todos los conteos disponibles a nivel de movimientos. Este proceso de estimación se realiza con el método de máxima entropía (Willumsem, 1991, 1994), implementado en el módulo SATME2 de SATURN.

3.2 Actualización de la Red Vial de Calibración

3.2.1 Topología

De acuerdo a las diferencias detectadas en terreno reportadas en el punto 2.4 se actualizó la topología de las redes originales. En la Figura N° 3-1 se muestra una representación esquemática más detallada; arcos, nodos, zonas, sentidos de tránsito de la red actualizada considerada para el área de análisis del centro de Quillota y luego en la Figura N° 3-2 la red completa.

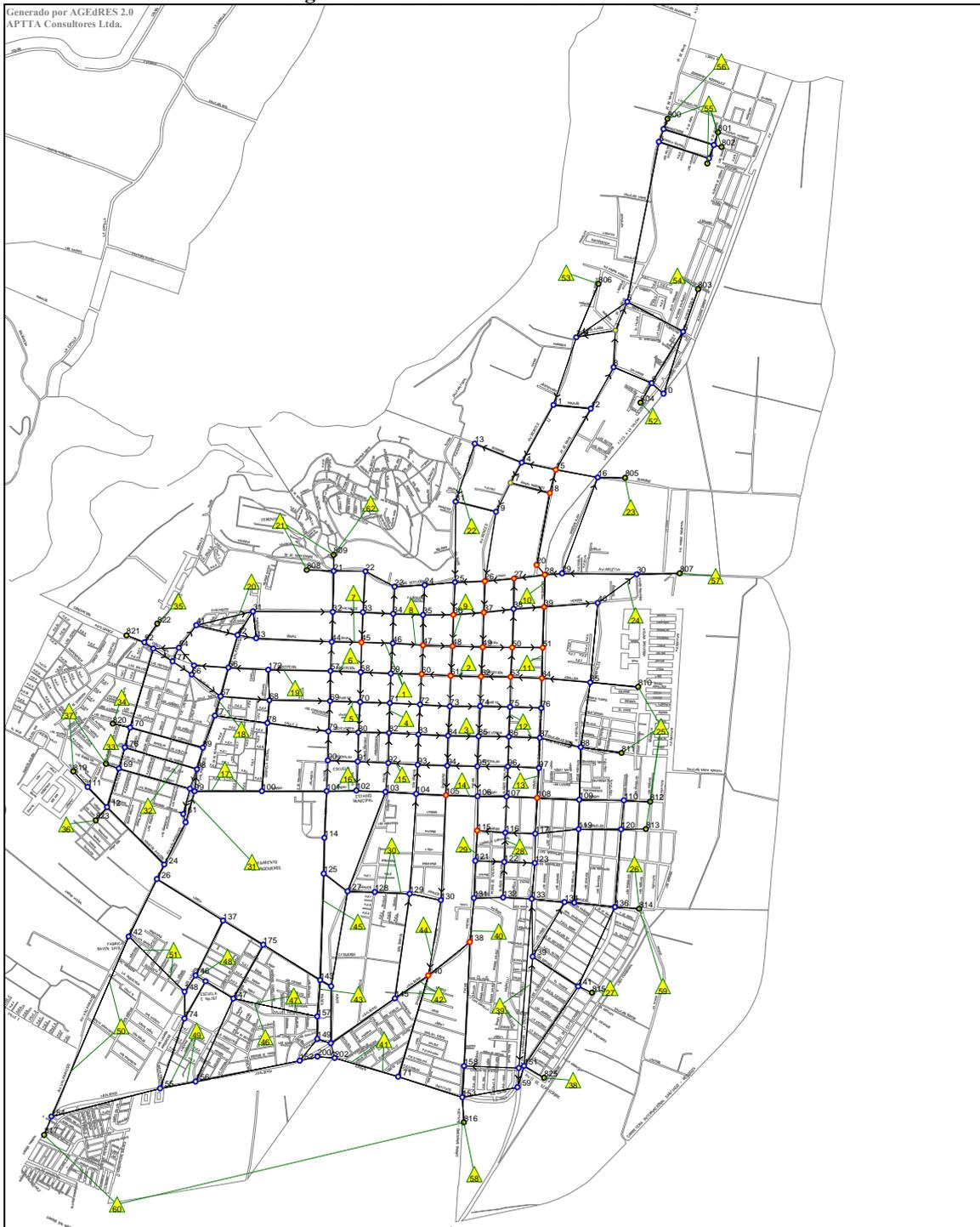
En ella se indican en color rojo los nodos semaforizados, en azul los nodos de prioridad, en gris los nodos dummy y en negro los nodos externos.

Figura N° 3-1: Red de Calibración Año 2009 – Área de Análisis



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3-2: Red de Calibración Año 2009



Fuente: Elaboración propia

A continuación en el Cuadro N° 3-1 se muestra la definición de la red de calibración considerada para el año 2008 considerada para la presente orden de trabajo.

Cuadro N° 3-1: Topología de la Red Vial de Transporte Privado Año 2009

Sector	Característica	Ambos Períodos
Red Interna	Arcos de Simulación	634
	Nodos de Simulación	199
	Intersecciones de Prioridad	146
	Intersecciones Semaforizadas	25
	Nodos Dummy	2
	Nodos Externos	26
	Nodos Rotonda	0
Toda la Red	Rutas Fijas	116

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2 Características Operativas

Las características físicas y operativas de la red vial tales como; longitudes, flujos de saturación, uso de pistas y velocidades de operación se mantuvieron en relación a las redes de referencia.

Respecto a los semáforos se incorporaron las programaciones (ciclos y repartos) por período, presentados en el punto 2.2. Respecto a los “offset” de la fase 1, se pusieron los observados en terreno, bajo el supuesto que es el mismo en todos los períodos.

3.3 Calibración de Rutas Fijas

Las rutas fijas de las redes originales corresponden a un total de 74 servicios de buses y taxibuses (líneas 1 a 11), taxis colectivos (ida: 101 – 300, vuelta 1040 – 2280) y buses interurbanos (líneas 1000 - 1009).

Como se señaló con anterioridad, la metodología de calibración de la red de modelación considera separadamente el ajuste del flujo fijo del flujo asignable.

El primer aspecto que se analizó, fue la bondad de ajuste que se alcanza al comparar los flujos observados y los que se desprenden de las frecuencias iniciales del estudio original. Los resultados claramente están lejos de ser satisfactorios como se desprende del siguiente cuadro.

Cuadro N° 3-2: Índice R2 De Ajuste De Frecuencias Iniciales Rutas Fijas

Modo	Punta Mañana	Punta Tarde
Bus-Taxibus	0,0027	0,0114
Taxi-colectivo	0,1812	0,1836
Bus Interurbano	0,0836	0,1665

Fuente: Elaboración Propia.

Las líneas allí identificadas presentan un conjunto de frecuencias operacionales catastradas (ó simplemente iniciales) por período (P) y corresponden a los valores iniciales en el proceso de calibración ($f_{inicial}^{P,i}$). La sumatoria en arco (l) de estos valores iniciales, en cada modo (m) y período (P) y que denominamos FC_m^P puede expresarse como:

$$FC_m^P = \sum_{i,l} f_{inicial}^{P,i} \text{ con } l \in L \text{ (arcos de la red de modelación) y } P=1 \text{ o } 3 \quad (1)$$

La determinación de las frecuencias definitivas ($f_{mod}^{P,i}$) por línea i y período P se ha realizado contrastando la sumatoria de frecuencias por línea en arcos donde existen flujos observados (conjunto AFO), para cada modo (m), lo que puede expresarse como:

$$FM_m^P = \sum_{i,j} f_{mod}^{P,i} \text{ con } j \in AFO \text{ donde } AFO \subseteq L \text{ y } P=1 \text{ o } 3 \quad (2)$$

Utilizando la herramienta “solver” de Excel, que opera optimizando una función objetivo sujeta a una serie de restricciones (como un problema de programación lineal), se minimiza el módulo de la diferencia entre flujos observados y frecuencias iniciales agregadas por arco, en un conjunto acotado de arcos de la red (AFO). Lo anterior puede expresarse como:

$$\text{Min } |FM_m^P - FC_m^P| \quad (3)$$

Las restricciones de este PPL corresponden a que la frecuencia modelada de cada línea debe ser no negativa y menor que un cierto umbral o frecuencia máxima ($F_{mod}^{P,j}$), todo lo cual puede expresarse como:

$$f_{mod}^{P,i} \geq 0 \wedge f_{mod}^{P,i} \leq F_{mod}^{P,j} \quad (4)$$

En el caso de taxibuses se impuso como restricción que la frecuencia modelada por servicio se encontrará en un intervalo entre 0 y 60 veh/hr., mientras que para los taxicolectivos dicha restricción fue entre 0 y 120 veh/hr y buses interurbanos entre 0 y 50 veh/hr

Cabe señalar, que para lograr un adecuado nivel de ajuste en las rutas de transporte público compuestas por taxi-buses, taxis colectivos y buses interurbanos, fue necesario incorporar nuevas rutas (ficticias, en función de lo observado en terreno) que permitan ajustar a los conteos observados, puesto que sólo con las rutas existentes no fue posible. Para los taxis colectivos se agregaron las líneas 301 a 317, para los taxi-buses, de la línea 12 a 24 y los buses interurbanos de la 3010 y 3022.

Para expresar el grado de ajuste o error de la optimización realizada se ha utilizado el cociente entre el resultado final de (3) y (1), cálculo que presentado en porcentaje

constituye el indicador de bondad del ajuste obtenido entre frecuencias iniciales y modeladas por modo. El cuadro siguiente expone los resultados alcanzados para cada modo de rutas fijas y período de análisis.

Cuadro N° 3-3: Índice De Error De Ajuste De Flujos Observados y Modelados

Modo	Punta Mañana	Punta Tarde
Bus-Taxibus	16%	22%
Taxi-colectivo	17%	16%
Bus Interurbano	19%	23%

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro N° 3-4: Índice R2 De Ajuste De Frecuencias Definitivas Rutas Fijas

Modo	Punta Mañana	Punta Tarde
Bus-Taxibus	0,95	0,90
Taxi-colectivo	0,95	0,96
Bus Interurbano	0,92	0,90

Fuente: Elaboración Propia.

Del cuadro anterior se aprecia, que para los taxibuses se obtuvo índices de error (%) entre 15 y 22%, en los taxis colectivos un 16% y en el caso de los buses interurbanos los valores son entre 19 y 23%. Respecto al índice de ajuste (R^2) los valores son todos superiores a 0,90.

En síntesis, los valores alcanzados en el proceso son muy satisfactorios en los distintos periodos y en todas las categorías de vehículos.

3.3.1 Ajuste Modo Bus-Taxibus

En primer término, se debe señalar que en la modelación original existe un total de 11 servicios de buses y taxi-buses, sin embargo, para poder mejorar el ajuste inicial fue necesario incorporar trece nuevos recorridos. El conjunto de líneas modeladas y las frecuencias iniciales se muestra a continuación.

Cuadro N° 3-5: Frecuencias Iniciales Modo Bus-Taxibus (veh/hr)

Línea	Punta Mañana	Punta Tarde
1	2	2
2	5	5
3	5	5
4	5	5
5	2	2
6	21	21
7	19	19
8	23	23
9	23	23
10	23	23
11	35	35

12	0	0
13	0	0
14	0	0
15	0	0
16	0	0
17	0	0
18	0	0
19	0	0
20	0	0
21	0	0
22	0	0
23	0	0
24	0	0

(Líneas 12-24): Corresponde a recorridos nuevos incorporados en el proceso de calibración

Fuente: Elaboración Propia.

Para la realización del ajuste del modo bus-taxibus, se utilizó la información resultante de los conteos de tráfico periódico. En base a estos antecedentes se efectuó un ajuste de las frecuencias originales por servicio, a través de la resolución de un problema de programación lineal (PPL), para lo cual se utilizó la herramienta Solver de Excel, obteniéndose las frecuencias calibradas asociadas a todas las rutas de bus-taxibus consideradas. El detalle del ajuste para cada uno de los arcos considerados se muestra en el cuadro siguiente.

Cuadro N° 3-6: Ajuste de Flujos Modelados y Observados Modo Bus-Taxibus (veh/hr)

Na	Nb	Punta. Mañana			Punta Tarde		
		Flujo Mod	Flujo Obs	Diferencia	Flujo Mod	Flujo Obs	Diferencia
63	50	28	28	0	36	36	0
49	50	27	15	12	35	13	22
86	75	0	2	2	0	0	0
74	75	35	46	11	26	46	20
97	96	8	14	6	4	2	2
107	96	4	3	1	4	0	4
26	37	15	19	4	11	17	6
36	37	8	2	6	0	0	0
49	62	12	19	7	8	17	9
63	62	74	74	0	44	44	0
74	85	26	26	0	31	31	0
84	85	0	0	0	0	0	0
25	36	8	0	8	4	0	4
35	36	4	2	2	0	0	0
36	48	4	0	4	6	0	6
47	48	13	15	2	13	13	0
59	46	0	0	0	4	0	4
45	46	15	15	0	13	13	0
93	92	4	0	4	6	0	6
103	92	0	0	0	0	0	0
61	60	9	11	2	16	16	0
72	60	0	0	0	0	20	20
83	72	10	10	0	0	0	0

Na	Nb	Punta. Mañana			Punta Tarde		
		Flujo Mod	Flujo Obs	Diferencia	Flujo Mod	Flujo Obs	Diferencia
71	72	36	36	0	75	66	9
105	104	0	0	0	0	0	0
129	104	20	20	0	27	27	0
103	104	4	0	4	5	0	5
58	57	18	6	12	28	9	19
69	57	4	0	4	0	0	0
22	33	32	35	3	25	42	17
32	33	4	0	4	0	0	0
58	70	47	40	7	49	49	0
69	70	7	1	6	9	4	5
28	39	70	56	14	51	52	1
51	39	106	96	10	95	95	0
38	39	5	5	0	4	4	0
39	51	52	56	4	43	52	9
64	51	80	80	0	60	78	18
50	51	18	16	2	17	17	0
51	64	56	56	0	61	52	9
65	64	4	0	4	4	0	4
76	64	79	80	1	83	78	5
64	76	60	43	17	29	29	0
87	76	56	56	0	37	51	14
75	76	64	45	19	42	42	0
97	108	22	28	6	30	27	3
109	108	0	0	0	8	0	8
117	108	56	56	0	61	51	10
107	108	0	0	0	4	0	4

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se presentan las frecuencias ajustadas para el modo Bus-Taxibus.

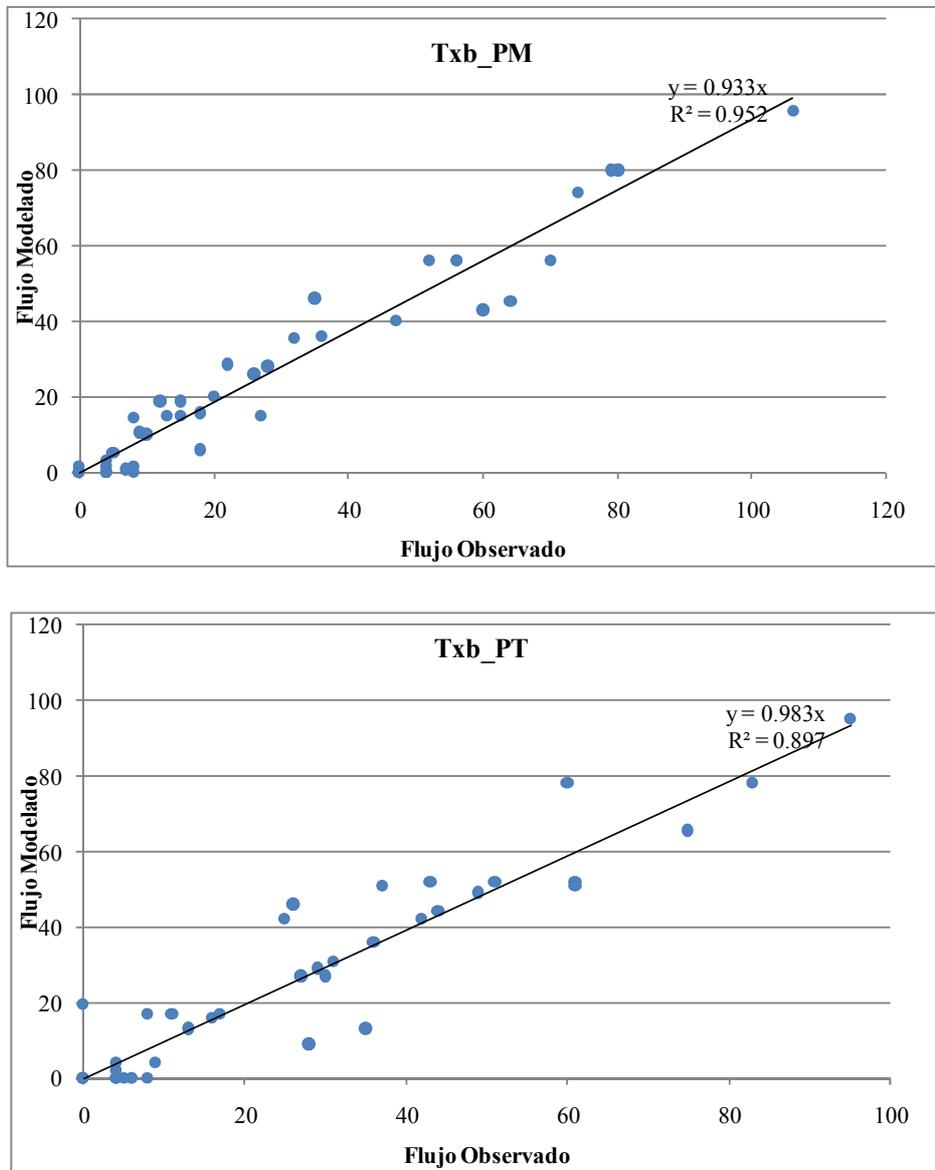
Cuadro N° 3-7: Frecuencias Ajustadas Modo Bus-Taxibus (veh/hr)

Línea	Punta Mañana	Punta Tarde
1	1	0
2	1	3
3	3	4
4	0	0
5	0	0
6	10	2
7	0	2
8	0	2
9	2	0
10	1	2
11	1	2
12	35	42
13	14	27
14	13	23
15	54	49
16	14	2
17	10	0
18	28	27
19	1	2
20	5	7
21	27	32
22	55	14
23	0	20
24	20	27

Fuente: Elaboración Propia

En las siguientes figuras se aprecia el nivel de ajuste alcanzado para el modo Bus-Taxibus.

Figura N° 3-3: Ajuste Modo Bus-Taxibus



Fuente: Elaboración Propia

3.3.2 Ajuste Modo Taxi-colectivo

En primer término, se debe señalar que en la modelación original existe un total de 51 servicios de buses y taxibuses, sin embargo, para poder mejorar el ajuste inicial fue necesario incorporar 17 nuevos recorridos (301 al 317). El conjunto de líneas modeladas y las frecuencias iniciales se muestra a continuación.

Cuadro N° 3-8: Frecuencias Iniciales Modo Taxicolectivo (veq/hr)

Líneas	Punta Mañana	Fuera de Punta
101	14	14
102	30	30
103	12	12
104	14	14
1040	14	14
105	37	37
1050	37	37
106	16	16
107	14	14
108	7	7
109	16	16
110	12	12
1100	12	12
1101	12	12
111	14	14
1110	14	14
112	14	14
1120	14	14
1121	14	14
113	7	7
1131	7	7
114	16	16
1140	16	16
1141	33	33
115	12	12
1150	12	12
1151	12	12
116	28	28
1160	28	28
117	12	12
1170	12	12
118	12	12
1180	12	12
119	2	2
1190	2	2
200	5	5
2200	5	5
221	12	12
222	7	7
2220	7	7
223	14	14
2230	14	14

224	16	16
2240	16	16
225	19	19
226	33	33
2260	33	33
227	9	9
228	14	14
2280	14	14
229	16	16
300	9	9
301	0	0
302	0	0
303	0	0
304	0	0
305	0	0
306	0	0
307	0	0
308	0	0
309	0	0
310	0	0
311	0	0
312	0	0
313	0	0
314	0	0
315	0	0
316	0	0
317	0	0

(líneas 301-317): Corresponde a recorridos nuevos incorporados en el proceso de calibración

Fuente: Elaboración Propia.

Para la realización del ajuste del modo taxi-colectivo se utilizó la información de los conteos de tráfico periódicos por punto de control entregados por el mandante. En base a estos antecedentes se efectuó proceso de ajuste idéntico al descrito en el caso del modo bus-taxibus, obteniéndose las frecuencias calibradas asociadas a todas las rutas de taxi-colectivo consideradas. El detalle del ajuste para cada uno de los arcos considerados se muestra en el cuadro siguiente:

Cuadro N° 3-9: Ajuste de Flujos Modelados y Observados Modo Taxi-colectivo (veh/hr)

Na	Nb	Punta Mañana			Punta Tarde		
		Flujo Mod	Flujo Obs	Diferencia	Flujo Mod	FlujoObs	Diferencia
63	50	187	166	21	205	197	8
49	50	205	210	5	187	191	4
86	75	76	86	10	68	77	9
74	75	26	54	28	20	29	9
97	96	43	43	0	36	35	1
107	96	61	43	18	55	42	13
26	37	213	213	0	325	314	11
36	37	19	15	4	19	20	1
49	62	263	213	50	179	179	0
63	62	154	138	16	137	143	6

74	85	83	84	1	148	148	0
84	85	15	32	17	9	15	6
25	36	11	11	0	10	20	10
35	36	10	11	1	12	20	8
36	48	22	7	15	33	20	13
47	48	227	243	16	197	205	8
59	46	28	44	16	23	17	6
45	46	206	199	7	180	188	8
93	92	4	0	4	18	0	18
103	92	8	0	8	6	0	6
61	60	95	110	15	95	100	5
72	60	9	20	11	8	31	23
83	72	19	20	1	19	31	12
71	72	27	12	15	10	2	8
105	104	14	0	14	18	0	18
129	104	38	20	18	70	31	39
103	104	16	0	16	21	0	21
58	57	99	102	3	61	80	19
69	57	52	37	15	55	39	16
22	33	6	0	6	16	0	16
32	33	23	37	14	22	39	17
58	70	76	76	0	125	125	0
69	70	17	12	5	23	2	21
28	39	59	59	0	55	55	0
51	39	130	131	1	131	131	0
38	39	63	63	0	42	53	11
39	51	30	44	14	31	50	19
64	51	42	30	12	46	37	9
50	51	101	101	0	83	94	11
51	64	56	44	12	66	50	16
65	64	46	63	17	52	52	0
76	64	41	46	5	63	63	0
64	76	40	0	40	33	0	33
87	76	41	46	5	24	63	39
75	76	51	36	15	37	27	10
97	108	23	0	23	33	0	33
109	108	19	16	3	26	25	1
117	108	34	43	9	42	42	0
107	108	17	0	17	14	0	14

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se presentan las frecuencias ajustadas para el modo Taxicolectivo. Cabe señalar que la línea que no se encuentra en el listado, mantiene su valor original, al no existir conteo para ese itinerario.

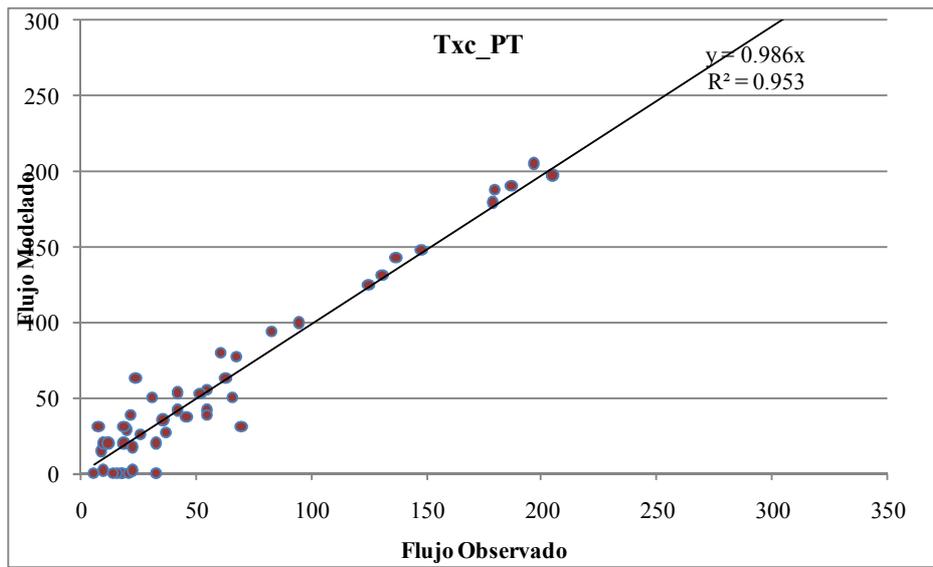
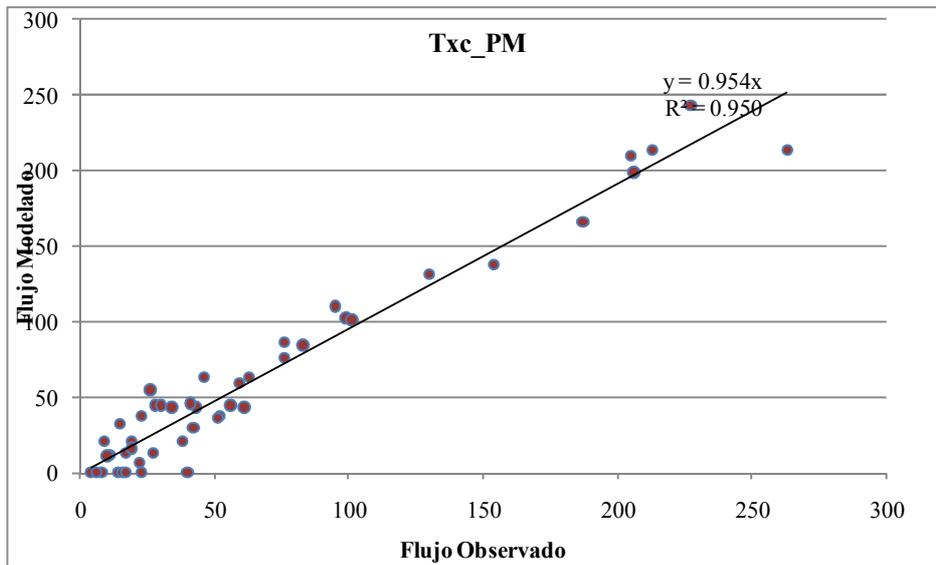
Cuadro N° 3-10: Frecuencias Ajustadas Modo Taxicolectivo (veh/hr)

Línea	Punta Mañana	Punta Tarde
101	0	0
103	1	0
1040	5	0
106	4	1
107	0	0

Línea	Punta Mañana	Punta Tarde
108	0	0
109	0	0
1100	21	30
1101	0	0
1110	8	0
1121	6	0
1131	8	0
1140	0	9
1141	0	7
1150	1	1
1151	0	0
1160	3	23
1170	0	0
118	4	1
1180	3	13
119	2	0
1190	0	1
200	0	6
2200	0	9
221	3	16
222	0	9
2220	13	0
223	1	20
2230	5	8
224	1	9
2240	16	0
225	2	0
226	0	32
227	0	0
228	3	3
2280	0	6
229	3	0
300	0	0
301	120	120
302	84	11
303	22	48
304	20	31
305	44	17
306	32	15
307	15	5
308	44	50
309	30	37
310	71	44
311	82	47
312	36	27
313	63	52
314	37	39
315	54	77
316	43	35
317	44	120

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 3-4: Ajuste Modo Taxicolectivo – Punta Mañana y Punta Tarde



Fuente: Elaboración Propia

3.3.3 Ajuste Modo Bus Interurbano

En primer término, se debe señalar que en la modelación original existe un total de 18 servicios de buses interurbanos (líneas 3000-3009). Para poder mejorar el ajuste inicial fue necesario incorporar 13 nuevos recorridos. El conjunto de líneas modeladas y las frecuencias iniciales se muestra a continuación.

Cuadro N° 3-11: Frecuencias Iniciales Modo Bus Interurbano (veq/hr)

Línea	Punta Mañana	Punta Tarde
3000	14	14
3001	2	2
3002	14	14
3003	2	2
3004	5	5
3005	5	5
3006	14	14
3007	12	12
3008	9	9
3009	2	2
3010	0	0
3011	0	0
3012	0	0
3013	0	0
3014	0	0
3015	0	0
3016	0	0
3017	0	0
3018	0	0
3019	0	0
3020	0	0
3021	0	0
3022	0	0

(líneas 3010-3022): Corresponde a recorridos nuevos incorporados en el proceso de calibración

Fuente: Elaboración Propia.

Para la realización del ajuste del modo bus interurbano se utilizó la información de los conteos de tráfico periódicos por punto de control realizados entregados por el mandante. En base a estos antecedentes se efectuó proceso de ajuste idéntico al descrito en el caso de los otros modos, obteniéndose las frecuencias calibradas. El detalle del ajuste para cada uno de los arcos considerados se muestra en el cuadro siguiente:

Cuadro N° 3-12: Ajuste de Flujos Modelados y Observados Modo Bus Interurbano (veh/hr)

Na	Nb	Punta. Mañana			Punta Tarde		
		Flujo Mod	Flujo Obs	Diferencia	Flujo Obs	Flujo Mod	Diferencia
63	50	11	12	1	4	4	0
49	50	10	8	2	0	4	4
86	75	4	0	4	4	0	4
74	75	0	5	5	4	4	0
97	96	8	9	1	8	8	0
107	96	8	12	4	0	9	9
26	37	8	8	0	4	4	0
36	37	4	4	0	0	0	0
49	62	8	5	3	0	4	4
63	62	16	13	3	12	11	1
74	85	0	0	0	4	4	0
84	85	0	3	3	0	12	12
25	36	0	0	0	0	4	4
35	36	4	4	0	0	0	0
36	48	0	0	0	0	4	4
47	48	8	5	3	4	4	0
59	46	0	0	0	0	0	0
45	46	4	5	1	8	4	4
93	92	4	0	4	4	0	4
103	92	0	0	0	0	0	0
61	60	4	13	9	11	11	0
72	60	0	0	0	0	0	0
83	72	0	0	0	0	0	0
71	72	4	0	4	0	0	0
105	104	0	0	0	0	0	0
129	104	16	15	1	22	21	1
103	104	0	0	0	8	0	8
58	57	13	13	0	6	11	5
69	57	0	0	0	0	0	0
22	33	0	0	0	0	0	0
32	33	8	9	1	0	4	4
58	70	8	8	0	10	10	0
69	70	4	0	4	0	0	0
28	39	23	18	5	15	15	0
51	39	19	16	3	24	24	0
38	39	16	16	0	0	0	0
39	51	15	18	3	15	15	0
64	51	16	16	0	16	20	4
50	51	8	8	0	8	8	0
51	64	17	18	1	15	15	0
65	64	4	4	0	4	9	5
76	64	15	16	1	20	20	0
64	76	32	31	1	32	32	0
87	76	31	31	0	41	41	0
75	76	32	31	1	21	24	3
97	108	26	30	4	36	33	3
109	108	4	0	4	4	0	4
117	108	16	16	0	23	20	3
107	108	4	0	4	0	0	0

Fuente: Elaboración Propia

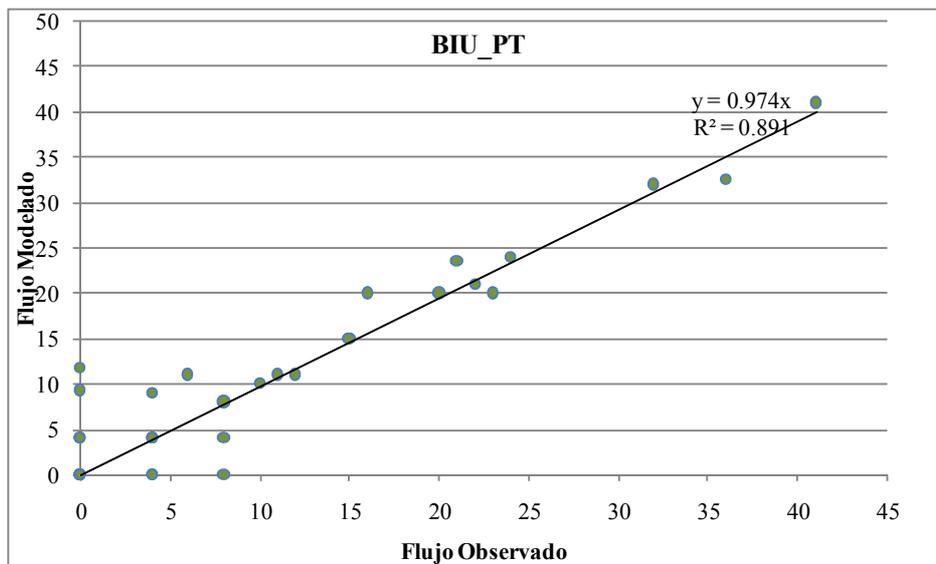
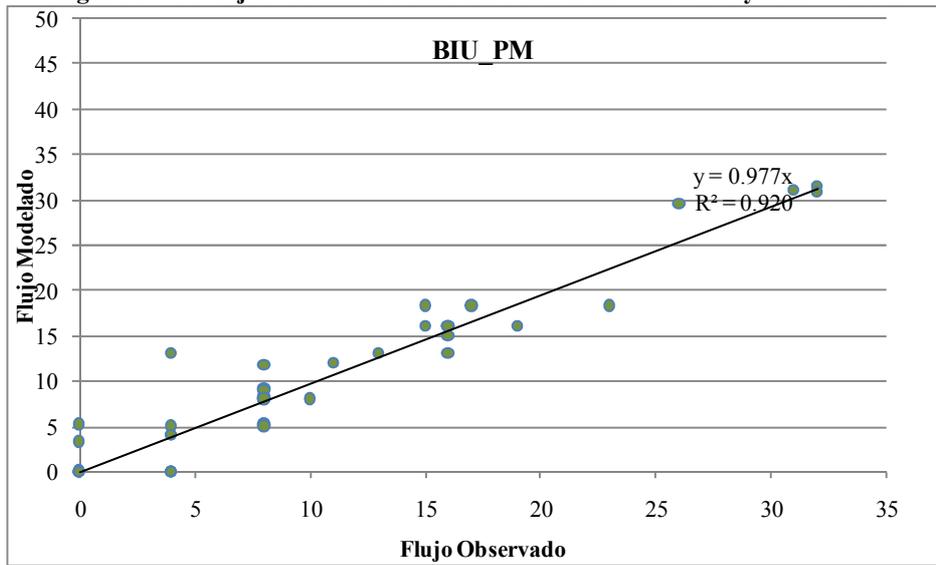
A continuación se presentan las frecuencias ajustadas para el modo Bus Interurbano.

Cuadro N° 3-13: Frecuencias Ajustadas Modo Bus Interurbano (veh/hr)

Línea	Punta Mañana	Punta Tarde
3000	0	4
3001	0	2
3002	0	0
3003	0	2
3004	1	2
3005	1	2
3006	3	4
3007	11	11
3008	0	0
3009	0	0
3010	26	24
3011	18	15
3012	3	0
3013	5	0
3014	13	11
3015	12	0
3016	12	9
3017	4	0
3018	5	4
3019	9	8
3020	8	10
3021	4	9
3022	3	12

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 3-5: Ajuste Modo Bus Interurbano- Punta Mañana y Punta Tarde



Fuente: Elaboración Propia

A continuación en las figuras siguientes se muestra la cobertura general de los trazados asociados al a cada uno de los tipos de rutas fijas consideradas en el proceso de calibración.

Figura N° 3-7: Cobertura de Recorridos Buses-Taxi-colectivos en el Área de Estudio



Fuente: Elaboración Propia

3.4 Ajuste matrices asignables

En el presente acápite se reporta el procedimiento y resultados obtenidos del ajuste de matrices asignables, en este caso, vehículos livianos y vehículos pesados (camiones).

3.4.1 Matrices A Priori

En el cuadro siguiente se presentan los totales de viajes consideradas en las matrices a priori entregadas por el mandante.

Cuadro N° 3-14: Total de Viajes Matrices A priori

Tipo de Vehículo	Periodo 1	Período 3
Vehículos Livianos	4.550	4.726
Camiones	43	10

Fuente: Elaboración propia

Estas matrices constituyen la entrada al proceso de estimación de matrices que se presenta a continuación.

3.4.2 Estimación de Matrices

3.4.2.1 Principales Parámetros SATURN

A continuación se indican los principales parámetros utilizados en el proceso de asignación y estimación de matrices:

- Asignación determinística. Por tratarse de una ciudad con congestión media.
- Se sembraron las matrices de vehículos livianos con SEED=0.8 y para los camiones de 0,25.
- $X_a=2,5$ para ambos modos asignables.
- Número de iteraciones SATME 2 = 5

3.4.2.2 Conteos Vehiculares

A partir de las mediciones de flujo entregadas, se procesó dicha información obteniéndose los flujos vehiculares por período, tipo de vehículo y a nivel de movimientos. Estos se presentan en los cuadros de resultados en comparación con los flujos modelados de cada modo.

Cabe señalar que estos flujos son previamente analizados de modo que sean conteos confiables para realizar el proceso de calibración. Se detectaron algunas inconsistencias entre algunos los puntos de control del eje Condell. Por lo cual fue necesario eliminar del listado de conteos Condell con Maipú (nodo 51) y Condell con Pudeto (nodo 76).

3.4.2.3 Indicadores de Ajuste

Con el objetivo de lograr un mejor ajuste de las matrices a los conteos observados, se procedió a realizar un proceso de estimación de matrices empleando para ello la rutina Satme2 del modelo SATURN. Conviene mencionar que en el caso de periodo punta mañana, se seleccionó la iteración N°3 ya que se observó que las siguientes empeoraban el ajuste alcanzado en los camiones. Por su parte, en el periodo Punta Tarde, también se seleccionó la iteración N°3 ya que aunque el proceso entrega mejores ajustes en la iteración N°5, presentaba un importante problema de ajuste en un conteo en Maipú con Condell y en Pudeto con Blanco Encalada (sectores muy cercanos al área de interés).

Los resultados obtenidos en el proceso de estimación es la siguiente:

Cuadro N° 3-15: Indicadores De Ajuste Por Período – Vehículos Livianos

Indicadores	Período 1	Período 3
	Punta Mañana	Punta Tarde
$R^2 Y = A + B X$	0,923	0,906
$R^2 Y = B X$	0,963	0,955
GEH calibración	1,76	1,93
N° de Conteos Totales Ajuste	91	91

Fuente: : Resultados Modelación SATURN

Cuadro N° 3-16: Indicadores De Ajuste Por Período - Camiones

Indicadores	Período 1	Período 3
	Punta Mañana	Punta Tarde
$R^2 Y = A + B X$	0,825	0,596
$R^2 Y = B X$	0,917	0,813
GEH calibración	0,47	0,71
N° de Conteos Totales Ajuste	91	91

Fuente: : Resultados Modelación SATURN

De los cuadros anteriores, se aprecian resultados satisfactorios del proceso de calibración tanto para los vehículos livianos como camiones, ya que se alcanzaron índices de ajuste en términos del R2 superiores a 0,90 en ambos períodos y sobre 0,6 para los camiones. Para el caso de los camiones, el grado de ajuste es menor, en el periodo punta tarde, explicado por los bajos volúmenes, escasa continuidad de ellos y por la matriz a priori que contenía sólo 10 viajes. Estos resultados se complementan con los bajos valores del GEH obtenidos para ambos tipos de vehículos y períodos.

En los gráficos siguientes se presentan las regresiones lineales entre flujo modelado y observado, por tipo de vehículo y período.

Gráfico N° 3.4-1: Ajuste Flujos Modelados Versus Observados – Punta Mañana

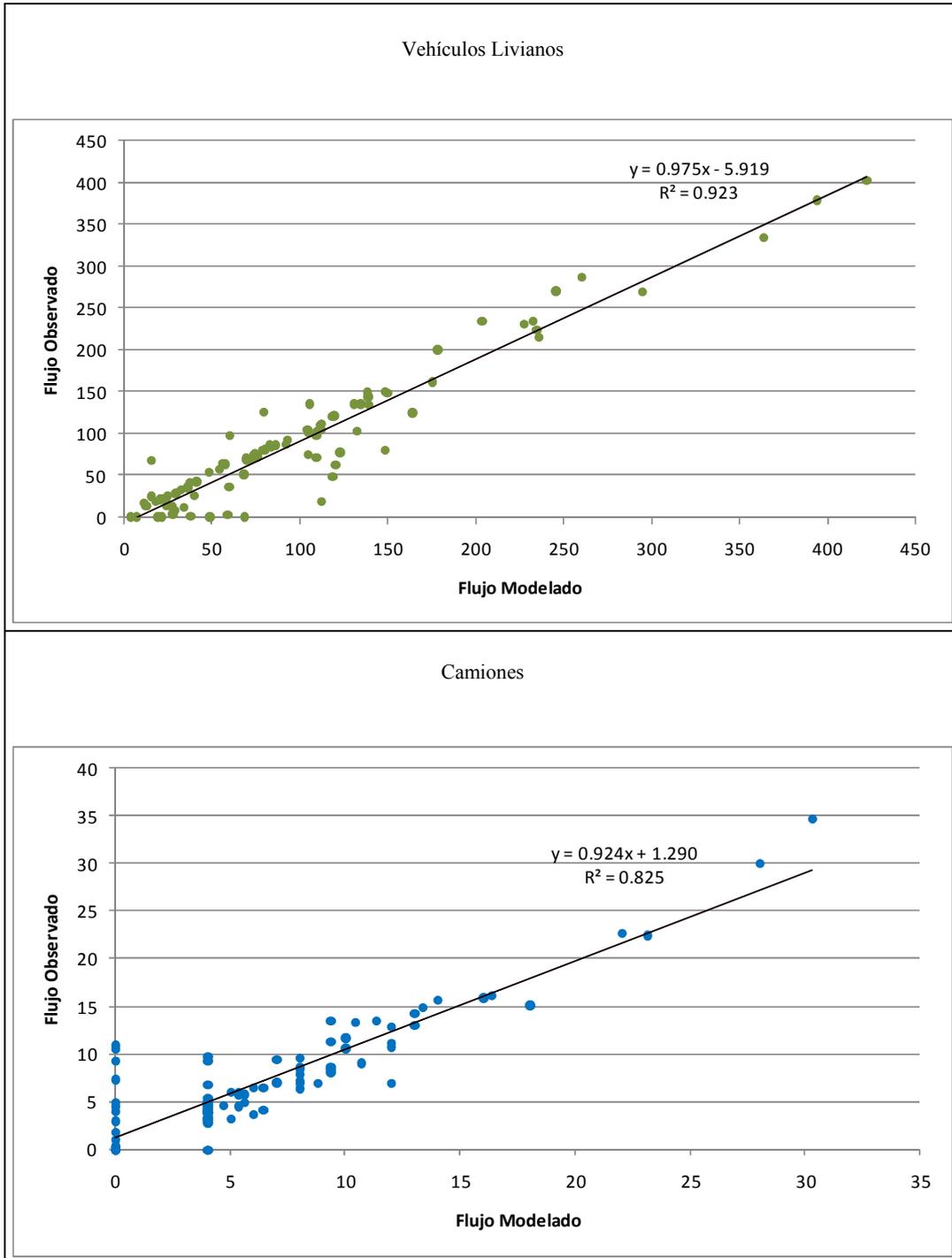
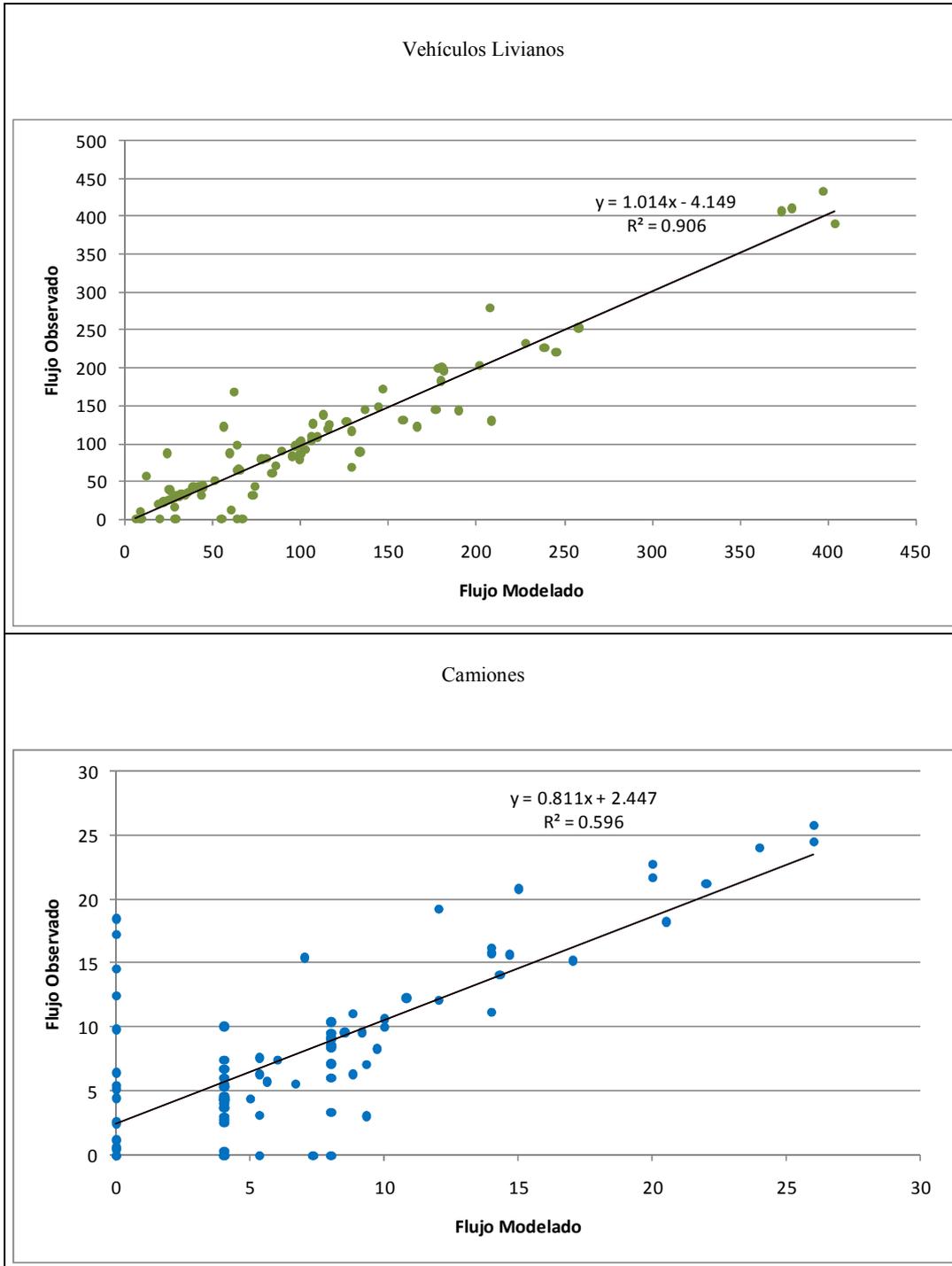


Gráfico N° 3.4-2: Ajuste Flujos Modelados Versus Observados - Punta Tarde



3.4.2.4 Matrices Estimadas

Respecto de la magnitud de las variaciones entre viajes de las matrices a priori y finales de los vehículos livianos (post Satme2), se aprecia que los volúmenes diferenciales de 1.626 y 1.837 veh/hr , período punta mañana y punta tarde respectivamente, lo que representan una variación sobre el 35%. Esto se explica puesto que las matrices iniciales son del año 1996 (actualizadas al año 2002, con un factor en las tarjetas 8)

Para los camiones, llama la atención, lo bajos volúmenes de las matrices a priori correspondiente a los camiones, situación que genera un alto crecimiento en el proceso de estimación según se presenta en el Cuadro N° 3-18

El cuadro siguiente muestra una síntesis de las modificaciones en los volúmenes de viajes derivadas del proceso de calibración:

Cuadro N° 3-17: Variaciones En Volúmenes De Viajes Por Periodo – Vehículos Livianos

Indicadores	Periodo 1	Período 3
Matriz A Priori	4.550	4.726
Matriz Final	6.176	6.267
Diferencia	1.626	1.541
Variación Porcentual	35%	33%

Fuente: Resultados Modelación SATURN

Cuadro N° 3-18: Variaciones En Volúmenes De Viajes Por Periodo - Camiones

Indicadores	Periodo 1	Período 3
Matriz A Priori	43	10
Matriz Final	381	346
Diferencia	338	336
Variación Porcentual	791%	3293%

Fuente: Resultados Modelación SATURN

Las matrices estimadas por zona (62x62) para cada uno de los períodos se presentan en los cuadros siguientes:

3.4.3 Comparación Flujos Modelados y Observados

El detalle del ajuste entre flujos observados y modelados, por período y para cada modo modelado, se presenta en los cuadros siguientes:

Cuadro N° 3-23: Flujo Vehículos Livianos Modelado y Observado

Na	Nb	Nc	Conteo	Flujo	Difer	Difer %	Conteo	Flujo	Difer	Difer %
			PERIODO 1				PERIODO 3			
63	50	51	140	134	6	4%	202	203	-1	1%
63	50	38	150	148	2	2%	181	196	-15	8%
49	50	51	164	125	40	24%	209	129	79	38%
49	50	38	149	80	69	46%	190	143	46	25%
86	75	76	22	0	22	100%	9	0	9	100%
86	75	63	118	120	-1	1%	84	60	24	28%
74	75	76	76	72	4	5%	56	121	-65	117%
74	75	63	12	17	-5	44%	24	87	-63	269%
97	96	86	105	75	30	29%	39	42	-3	8%
97	96	95	176	161	14	8%	59	87	-27	46%
107	96	86	79	79	0	0%	65	64	1	2%
107	96	95	131	135	-4	3%	89	90	-1	1%
26	37	49	295	269	26	9%	245	220	26	10%
26	37	38	106	135	-29	27%	107	125	-18	17%
36	37	49	38	1	37	98%	60	12	48	80%
36	37	38	204	233	-29	14%	208	278	-71	34%
49	62	61	113	18	95	84%	64	0	64	100%
49	62	74	236	215	22	9%	116	124	-8	7%
63	62	61	133	103	30	22%	177	143	33	19%
63	62	74	113	111	2	2%	129	68	61	47%
74	85	95	112	110	2	2%	134	88	45	34%
74	85	86	28	4	24	87%	42	42	0	0%
84	85	95	21	21	0	2%	28	31	-3	9%
84	85	86	54	57	-3	5%	32	32	0	0%
25	36	48	246	270	-24	10%	239	226	13	5%
25	36	37	35	11	24	68%	102	91	11	11%
35	36	48	38	41	-3	9%	86	70	16	18%
35	36	37	235	223	12	5%	180	199	-19	11%
36	48	61	261	286	-25	10%	258	252	6	2%
36	48	49	16	25	-9	54%	28	15	13	46%
47	48	61	60	36	24	40%	100	86	13	13%
47	48	49	110	103	8	7%	136	144	-8	6%
59	46	47	25	13	11	46%	27	28	0	1%
59	46	34	83	86	-3	4%	66	0	66	100%
45	46	47	110	97	12	11%	106	103	3	3%
45	46	34	29	8	20	71%	29	0	29	100%
93	92	82	22	22	0	2%	25	39	-14	58%

93	92	91	33	33	0	1%	34	31	3	8%
103	92	82	56	64	-8	14%	44	44	1	1%
103	92	91	4	0	4	100%	9	0	9	100%
61	60	47	59	3	56	95%	95	83	12	13%
61	60	59	80	126	-46	57%	115	119	-4	3%
72	60	47	110	71	39	36%	97	96	0	0%
72	60	59	28	13	14	51%	32	32	0	0%
83	72	73	36	35	1	3%	43	31	12	28%
83	72	60	84	84	0	0%	98	97	1	1%
71	72	73	135	135	0	0%	180	182	-3	1%
71	72	60	49	0	49	100%	73	31	42	57%
105	104	93	25	25	0	0%	31	29	2	6%
105	104	103	73	70	3	4%	80	80	0	0%
129	104	105	81	81	0	1%	74	42	32	43%
129	104	93	112	104	8	7%	113	137	-25	22%
129	104	103	121	62	58	48%	99	79	20	21%
103	104	105	139	144	-5	3%	147	172	-25	17%
103	104	93	87	86	0	0%	35	35	0	1%
58	57	44	37	37	0	0%	42	42	0	1%
58	57	172	93	93	1	1%	100	102	-2	2%
69	57	44	74	74	0	0%	64	64	0	0%
69	57	172	30	28	1	4%	23	23	0	0%
22	33	45	24	21	3	13%	25	38	-13	50%
22	33	34	105	101	4	4%	166	121	45	27%
32	33	45	70	70	-1	1%	28	0	28	100%
32	33	34	179	200	-21	12%	129	116	13	10%
58	70	80	105	104	0	0%	178	199	-21	12%
58	70	71	93	87	5	6%	106	109	-4	3%
69	70	80	13	13	0	2%	19	19	0	2%
69	70	71	58	63	-5	9%	44	41	3	8%
28	39	51	423	401	21	5%	379	410	-30	8%
51	39	40	123	77	46	37%	99	101	-2	2%
51	39	28	365	334	31	8%	374	406	-33	9%
38	39	51	60	97	-37	61%	62	167	-105	170%
38	39	40	149	149	0	0%	109	108	1	1%
38	39	28	139	149	-10	7%	158	131	27	17%
51	64	63	120	121	-1	1%	126	129	-3	2%
51	64	76	233	234	0	0%	404	390	14	4%
65	64	51	40	26	14	36%	41	41	0	0%
65	64	63	75	75	-1	1%	51	51	-1	1%
65	64	76	19	0	19	99%	19	0	19	100%
76	64	51	395	378	16	4%	398	432	-35	9%
76	64	63	69	51	17	26%	78	79	-1	1%
97	108	107	119	48	71	60%	144	147	-4	2%
97	108	117	42	42	-1	1%	64	98	-34	54%
109	108	97	21	21	0	0%	22	22	-1	2%
109	108	107	49	54	-5	11%	65	65	-1	1%
109	108	117	19	19	-1	3%	25	25	0	1%

117	108	109	7	0	7	100%	6	0	6	100%
117	108	97	228	231	-2	1%	228	232	-4	2%
117	108	107	70	69	1	2%	43	39	3	8%
107	108	117	13	13	0	1%	9	9	0	3%
107	108	109	69	0	69	100%	55	0	55	100%
107	108	97	16	68	-52	325%	12	56	-44	367%

Fuente: Resultados Modelación SATURN

Cuadro N° 3-24: Flujo Camiones Modelado y Observado

Na	Nb	Nc	Conteo	Flujo	Difer	Difer %	Conteo	Flujo	Difer	Difer %
			PERIODO 1				PERIODO 3			
63	50	51	9	8	1	13%	14	11	3	20%
63	50	38	10	13	-3	28%	14	16	-2	12%
49	50	51	9	7	2	21%	8	9	-1	7%
49	50	38	8	8	0	1%	24	24	0	0%
86	75	76	0	0	0	0%	4	0	4	100%
86	75	63	10	11	-1	6%	5	4	1	11%
74	75	76	6	6	0	8%	6	6	0	3%
74	75	63	0	4	-4	0%	4	5	-1	16%
97	96	86	12	11	1	10%	4	4	0	9%
97	96	95	0	11	-11	0%	10	10	0	0%
107	96	86	8	10	-2	20%	4	4	0	12%
107	96	95	4	4	0	1%	8	6	2	25%
26	37	49	13	14	-1	10%	14	16	-2	13%
26	37	38	5	5	0	1%	8	10	-2	30%
36	37	49	4	0	4	100%	4	0	4	92%
36	37	38	12	11	1	7%	9	10	-1	13%
49	62	61	9	11	-2	21%	4	0	4	100%
49	62	74	30	35	-4	14%	15	16	-1	7%
63	62	61	8	9	-1	7%	8	9	-1	14%
63	62	74	13	15	-2	12%	17	15	2	11%
74	85	95	11	14	-2	19%	9	7	2	24%
74	85	86	0	0	0	0%	5	3	2	41%
84	85	95	0	0	0	0%	0	1	-1	0%
84	85	86	0	1	-1	0%	0	1	-1	0%
25	36	48	4	5	-1	23%	5	8	-2	43%
25	36	37	12	7	5	42%	8	7	1	11%
35	36	48	0	5	-5	0%	4	4	0	8%
35	36	37	6	4	2	34%	4	3	1	31%
36	48	61	4	5	-1	14%	6	7	-1	25%
36	48	49	0	5	-5	0%	4	5	-1	34%
47	48	61	5	6	0	8%	4	7	-3	69%
47	48	49	8	7	1	13%	9	11	-2	26%
59	46	47	0	0	0	0%	0	5	-5	0%
59	46	34	4	4	0	1%	5	0	5	100%
45	46	47	6	5	1	11%	4	4	0	8%
45	46	34	4	9	-5	134%	4	0	4	100%
93	92	82	0	0	0	0%	0	5	-5	0%
93	92	91	0	0	0	0%	0	3	-3	0%
103	92	82	4	7	-3	69%	5	6	-1	19%
103	92	91	0	0	0	0%	0	0	0	0%
61	60	47	4	5	-1	18%	8	10	-2	20%
61	60	59	14	16	-2	12%	14	16	-2	16%
72	60	47	5	3	2	35%	7	15	-8	120%

72	60	59	4	3	1	29%	4	5	-1	34%
83	72	73	0	3	-3	0%	0	1	-1	0%
83	72	60	5	6	-1	22%	15	21	-6	39%
71	72	73	6	6	0	4%	12	12	0	1%
71	72	60	0	0	0	0%	0	0	0	0%
105	104	93	4	3	1	16%	0	15	-15	0%
105	104	103	13	13	0	1%	4	7	-3	85%
129	104	105	0	2	-2	0%	0	2	-2	0%
129	104	93	4	5	-1	37%	4	4	0	2%
129	104	103	8	8	0	6%	4	10	-6	152%
103	104	105	9	8	1	9%	10	8	1	14%
103	104	93	8	7	1	10%	4	4	0	8%
58	57	44	0	9	-9	0%	4	6	-2	51%
58	57	172	4	4	0	6%	22	21	1	4%
69	57	44	9	14	-4	45%	4	3	1	25%
69	57	172	0	0	0	0%	8	8	0	5%
22	33	45	5	6	-1	12%	0	17	-17	0%
22	33	34	12	13	-1	7%	9	3	6	67%
32	33	45	4	4	0	2%	0	0	0	0%
32	33	34	6	6	0	1%	8	3	5	58%
58	70	80	28	30	-2	7%	14	14	0	1%
58	70	71	8	6	2	20%	0	6	-6	0%
69	70	80	0	0	0	0%	4	4	0	7%
69	70	71	8	9	-1	9%	4	5	-1	13%
28	39	51	16	16	0	1%	26	26	0	1%
51	39	40	7	7	0	1%	9	10	0	5%
51	39	28	16	16	0	1%	20	23	-3	14%
38	39	51	4	5	-1	25%	0	4	-4	0%
38	39	40	4	4	0	9%	10	11	-1	6%
38	39	28	9	9	1	6%	7	6	1	17%
51	64	63	4	10	-6	144%	8	0	8	100%
51	64	76	18	15	3	16%	20	22	-2	8%
65	64	51	0	11	-11	0%	0	18	-18	0%
65	64	63	11	9	2	15%	11	12	-1	14%
65	64	76	10	12	-2	17%	0	12	-12	0%
76	64	51	0	0	0	0%	0	1	-1	0%
76	64	63	4	4	0	3%	4	6	-2	38%
97	108	107	5	5	1	15%	0	0	0	0%
97	108	117	4	0	4	100%	7	0	7	100%
109	108	97	6	4	2	38%	0	10	-10	0%
109	108	107	0	0	0	0%	0	0	0	0%
109	108	117	0	1	-1	0%	0	1	-1	0%
117	108	109	0	0	0	0%	0	0	0	0%
117	108	97	0	0	0	0%	0	0	0	0%
117	108	107	0	0	0	0%	0	0	0	0%
107	108	117	0	0	0	0%	0	0	0	0%
107	108	109	0	0	0	0%	0	0	0	0%
107	108	97	0	0	0	0%	0	0	0	0%

Fuente: Resultados Modelación SATURN

Respecto a los resultados en el cuadro anterior sólo un movimiento

3.4.4 Asignación

A continuación en la

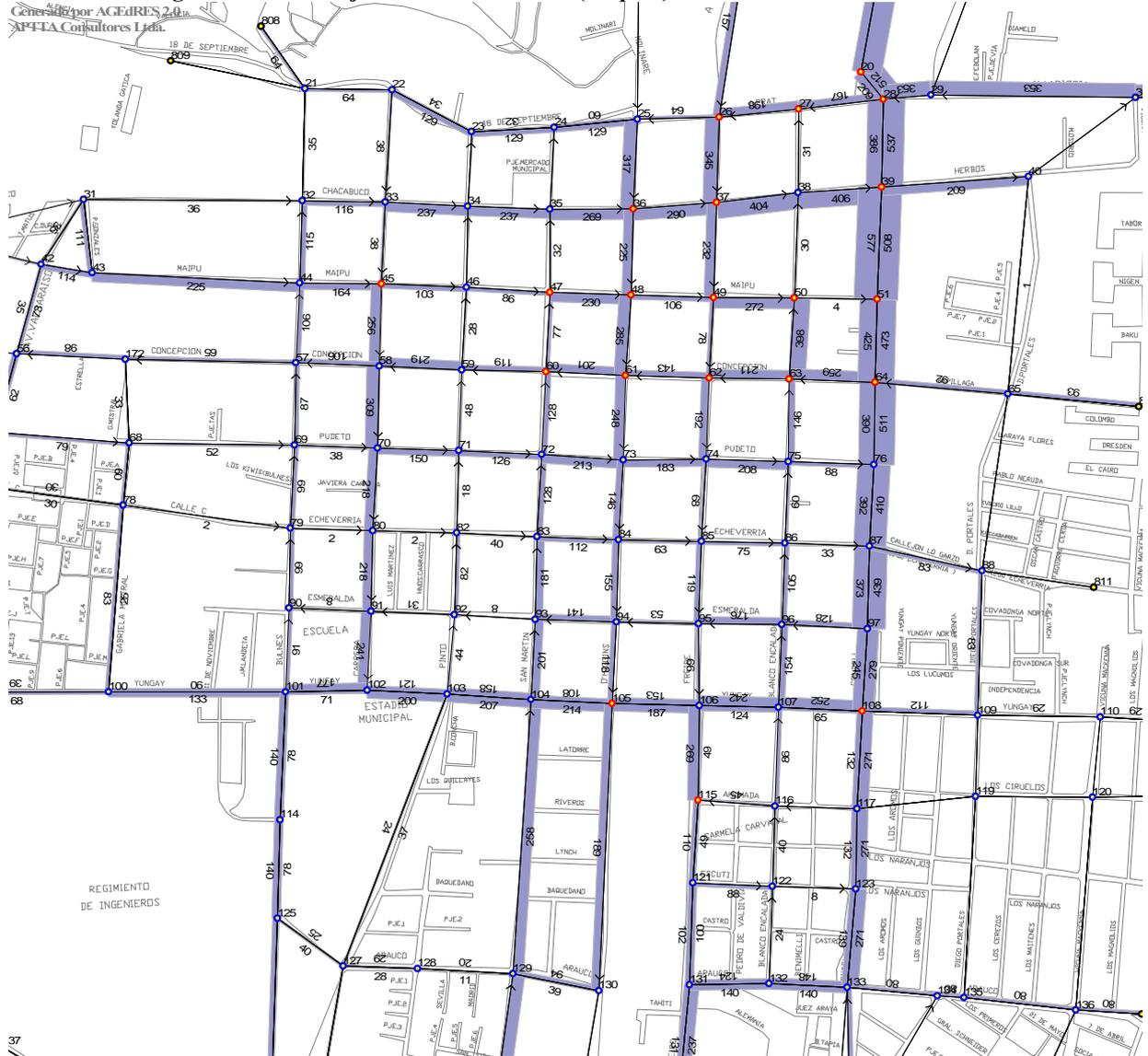
Figura N° 3-9 a la Figura N° 3-14 se muestra una representación gráfica del flujo vehicular por tipo de vehículos y total (en veq/hr.) existente en cada uno de los arcos que componen la red vial de calibración, para los dos períodos.

En ellos se aprecia que, en sentido poniente-orientado, el eje que presenta más carga de vehículos livianos corresponde a Chacabuco, con un flujo entre 234 y 395 veq/hr en el período punta mañana y 116 y 408 veq/hr, en la punta tarde. En el sentido contrario, el eje que presenta mayor volumen, corresponde a la calle Concepción con un flujo máximo de 247 veq/hr en la punta mañana y 259 veq/hr, en el período punta tarde. En el sentido norte – sur, los ejes más utilizados del sector céntrico corresponden a Freire y O’Higgins, en el sentido contrario, el eje que más se utiliza es la calle Condell, dado que no existe continuidad de la vialidad hacia el norte de la ciudad.

Los camiones circulan principalmente por el perímetro del área céntrica, especialmente por las Avdas Yungay y Condell. Además por el sector céntrico, los camiones utilizan la calle Concepción, dado que tiene continuidad desde el orientado de la ciudad.

Por otro lado, si consideramos además el transporte público, es decir, el flujo total en vehículos equivalentes, el par Maipú y Concepción cobran relevancia y el par Freire y Blanco son las calles más utilizadas en sentido norte-sur y sur-norte, respectivamente.

Figura N° 3-10: Flujo Vehículos Livianos (Veq/Hr) – Período 3 Punta Tarde



37

Figura N° 3-11: Flujo Vehículos Pesados (Veq/Hr) – Período 1 Punta Mañana



Figura N° 3-12: Flujo Vehículos Pesados (Veq/Hr) – Período 3 Punta Tarde

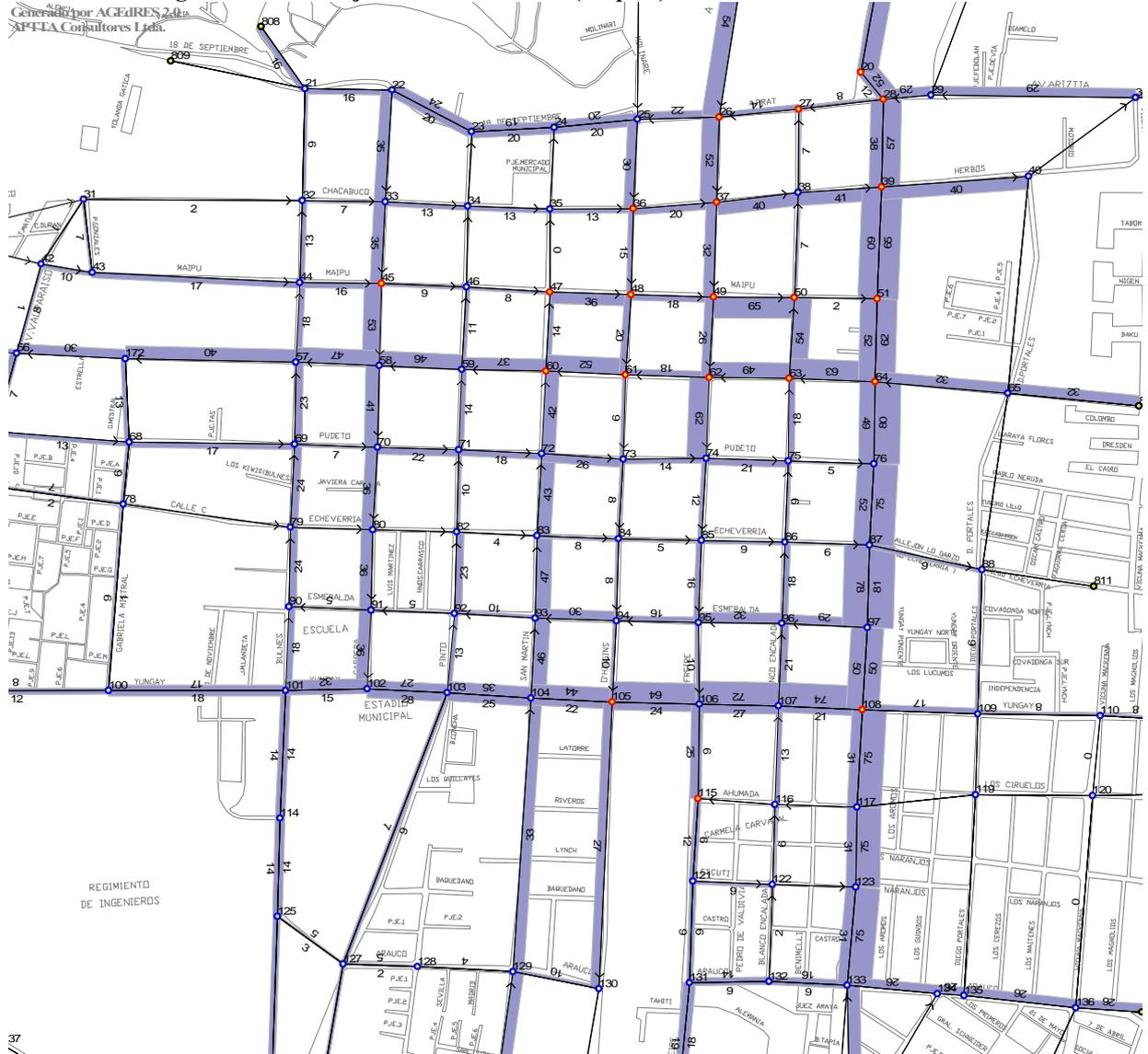


Figura N° 3-13: Flujo Vehicular Total (Veq/Hr) – Período 1 Punta Mañana

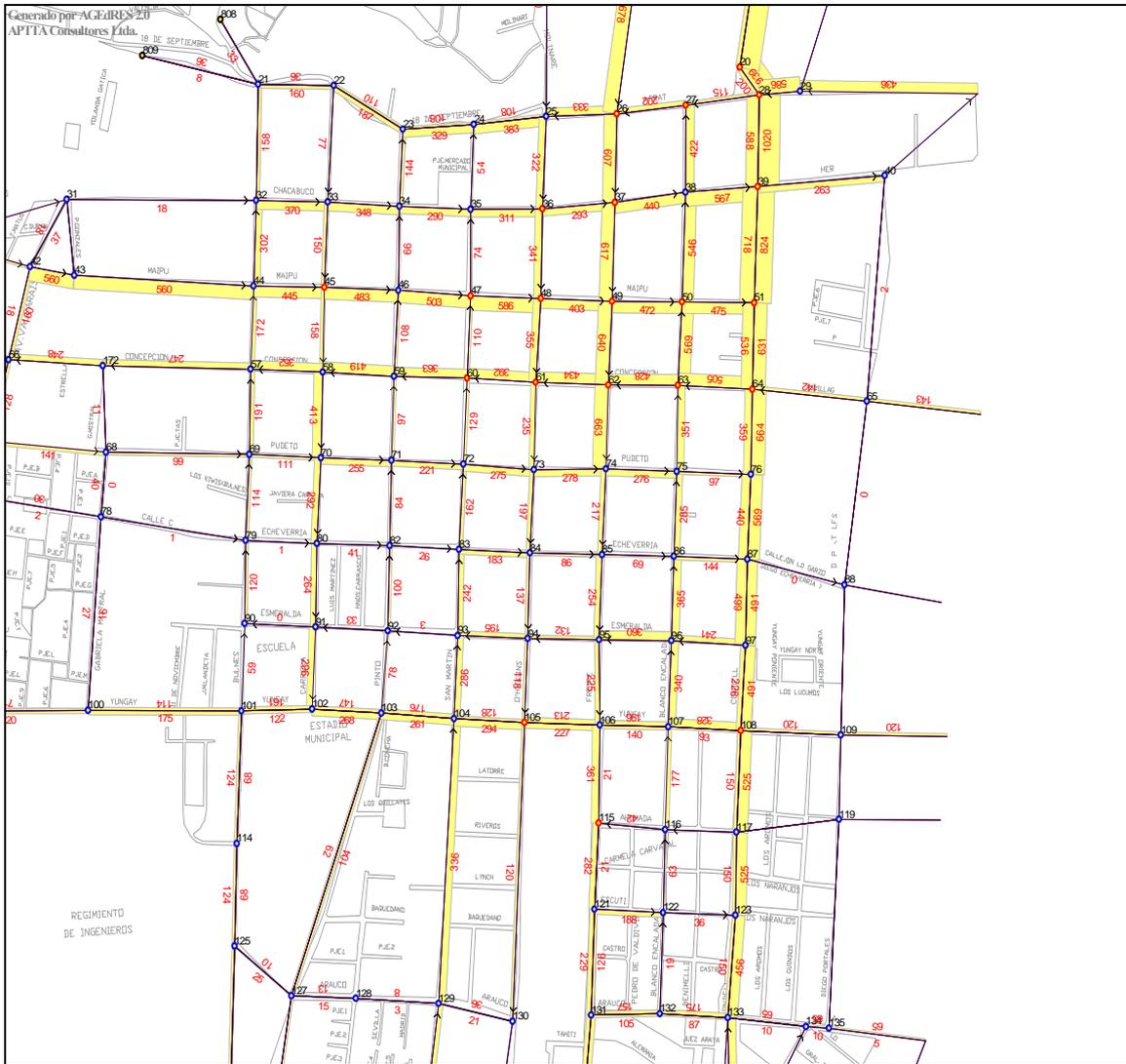
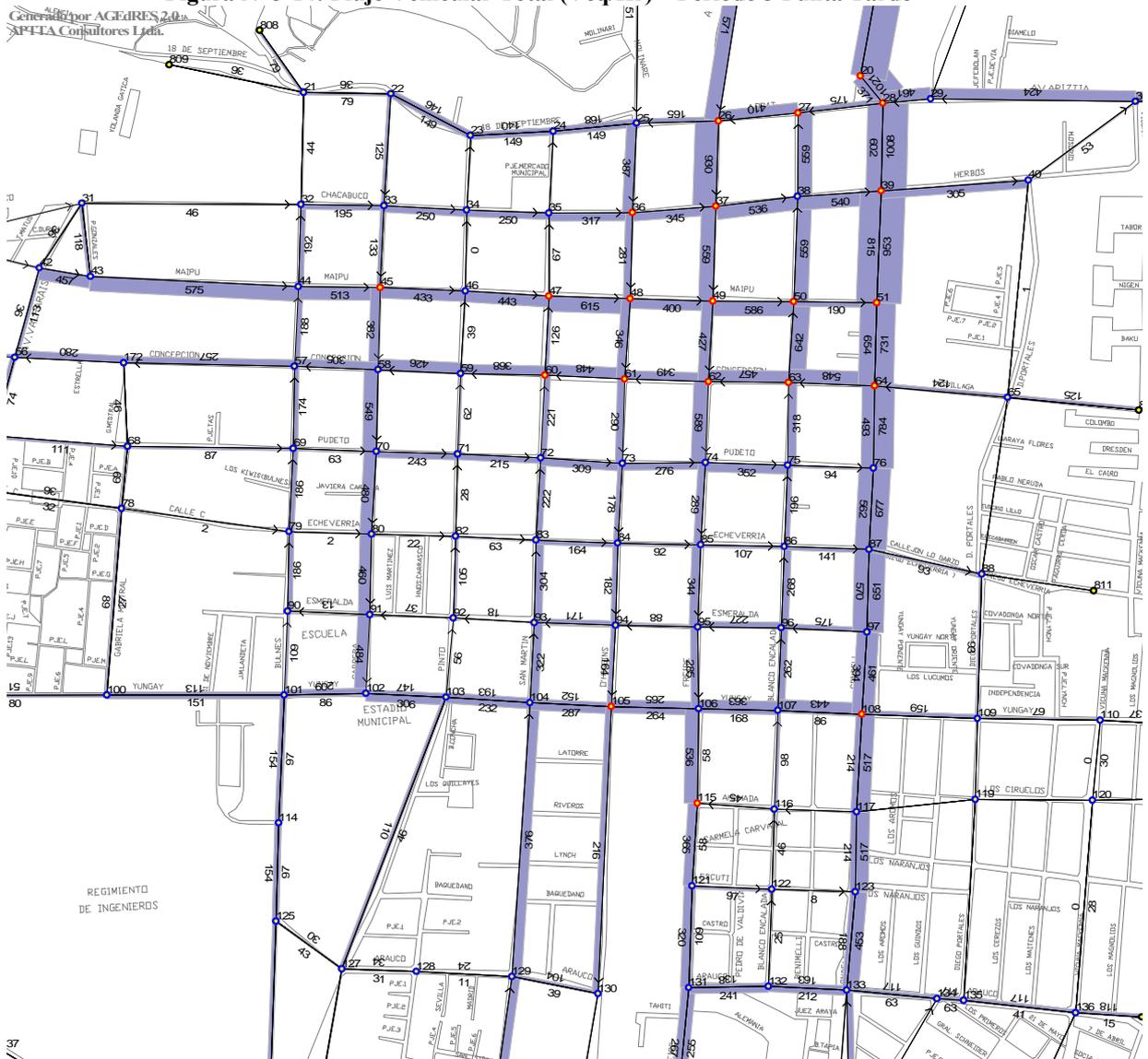


Figura N° 3-14: Flujo Vehicular Total (Veq/Hr) – Período 3 Punta Tarde



3.5 Grados de Saturación

A partir de los resultados del módulo SATLOOK de SATURN se obtienen los grados de saturación a nivel de arcos y de movimientos. A continuación se presentan las figuras correspondientes al periodo punta mañana y fuera de punta.

En ellas se aprecia que, en general, se presentan grados de saturación bajos, en ambos periodos. Sin embargo, existe una intersección con problemas de saturación, en ambos periodos, correspondiente al arco de la calle Maipú al intersectar con Blanco, sin embargo, este problema podría ser resuelto con una adecuada optimización de la programación de semáforos, dado que la otra rama (Blanco) está bastante holgada.

Figura N° 3-15: Grado de Saturación Situación Actual a Nivel de Arcos- Período 1 Punta Mañana



Figura N° 3-16: Grado de Saturación Situación Actual- Período 3 Punta Tarde



4 CODIFICACIÓN DEL PROYECTO (Tarea N°4).

4.1 Definición Situación Base

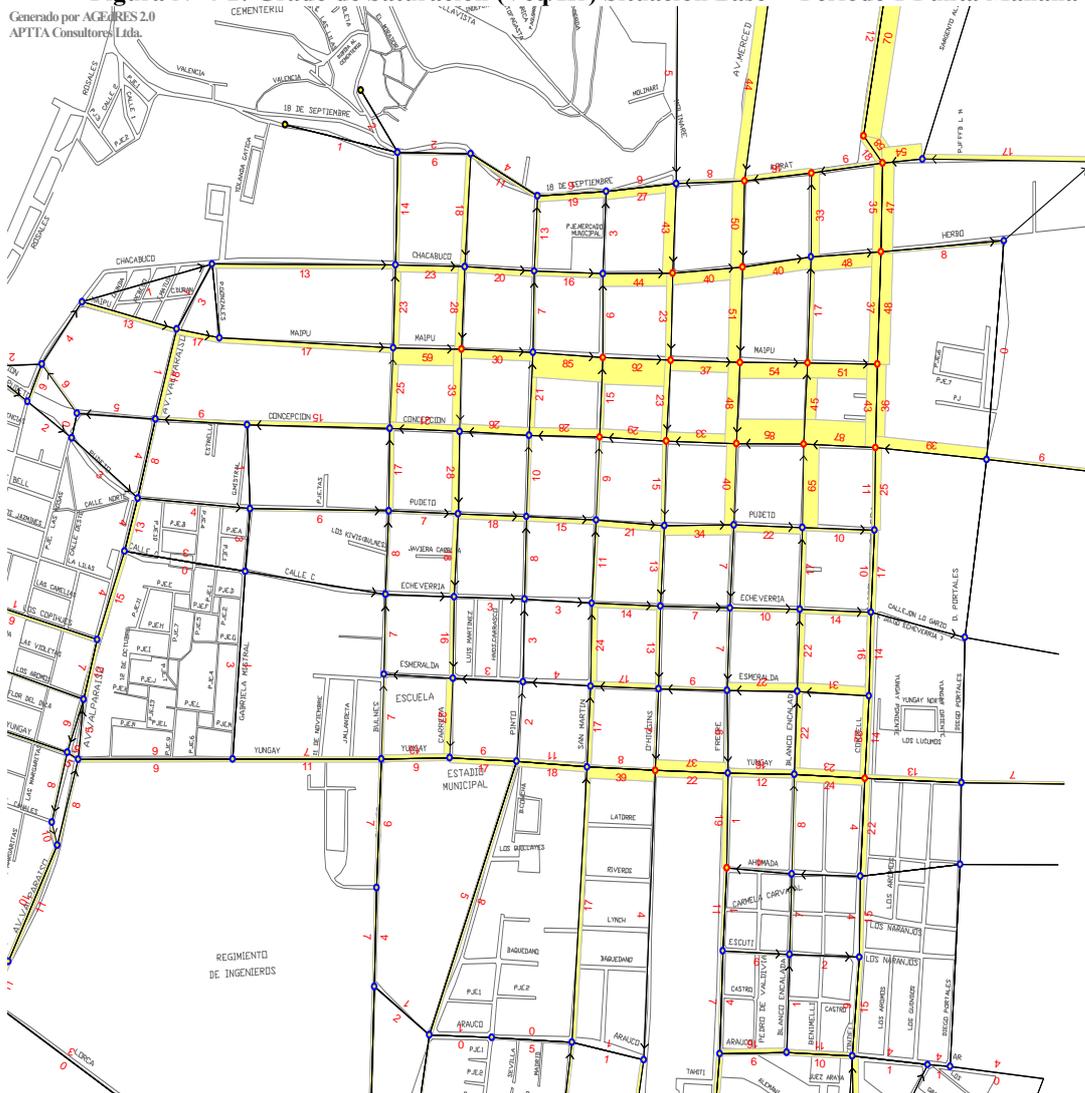
Se generó una situación base que mejora las condiciones de operación de la calle Maipú entre O'Higgins y Blanco respecto a la situación de calibración presentada en el capítulo anterior. Esta consiste en el aumento de capacidad de 1 a 2 pistas en el tramo señalado. Los resultados de la asignación y grados de saturación de esta situación se presentan en las figuras siguientes:

Figura N° 4-1: Flujo Vehicular Total (Veq/Hr) Situación Base – Período 1 Punta Mañana
 Generado por AGENRES 2.0
 APTTA Consultores Ltda.



Figura N° 4-2: Grado de Saturación (Veq/Hr) Situación Base – Período 1 Punta Mañana

Generado por AGERES 2.0
APTIA Consultores Ltda.



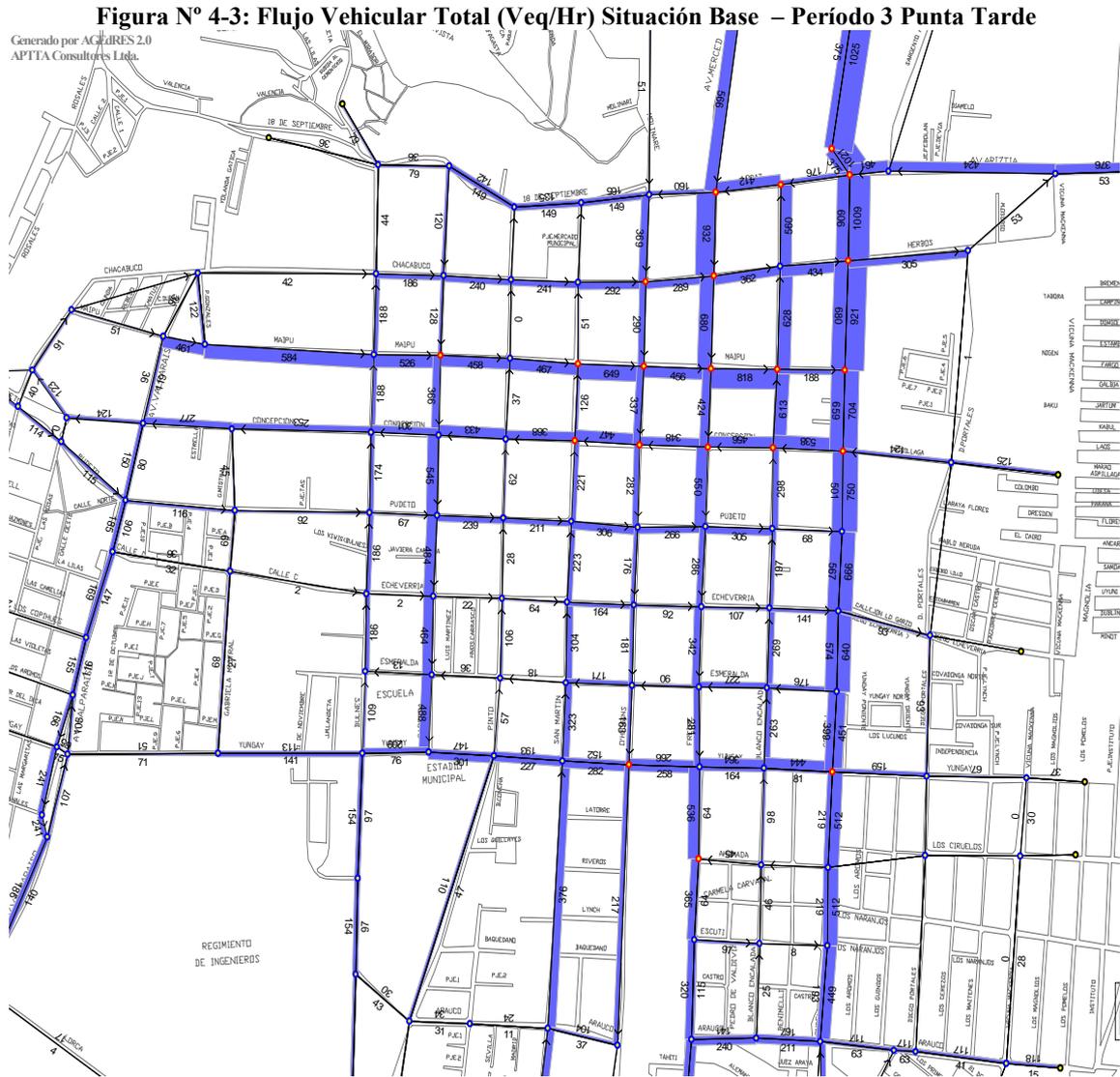
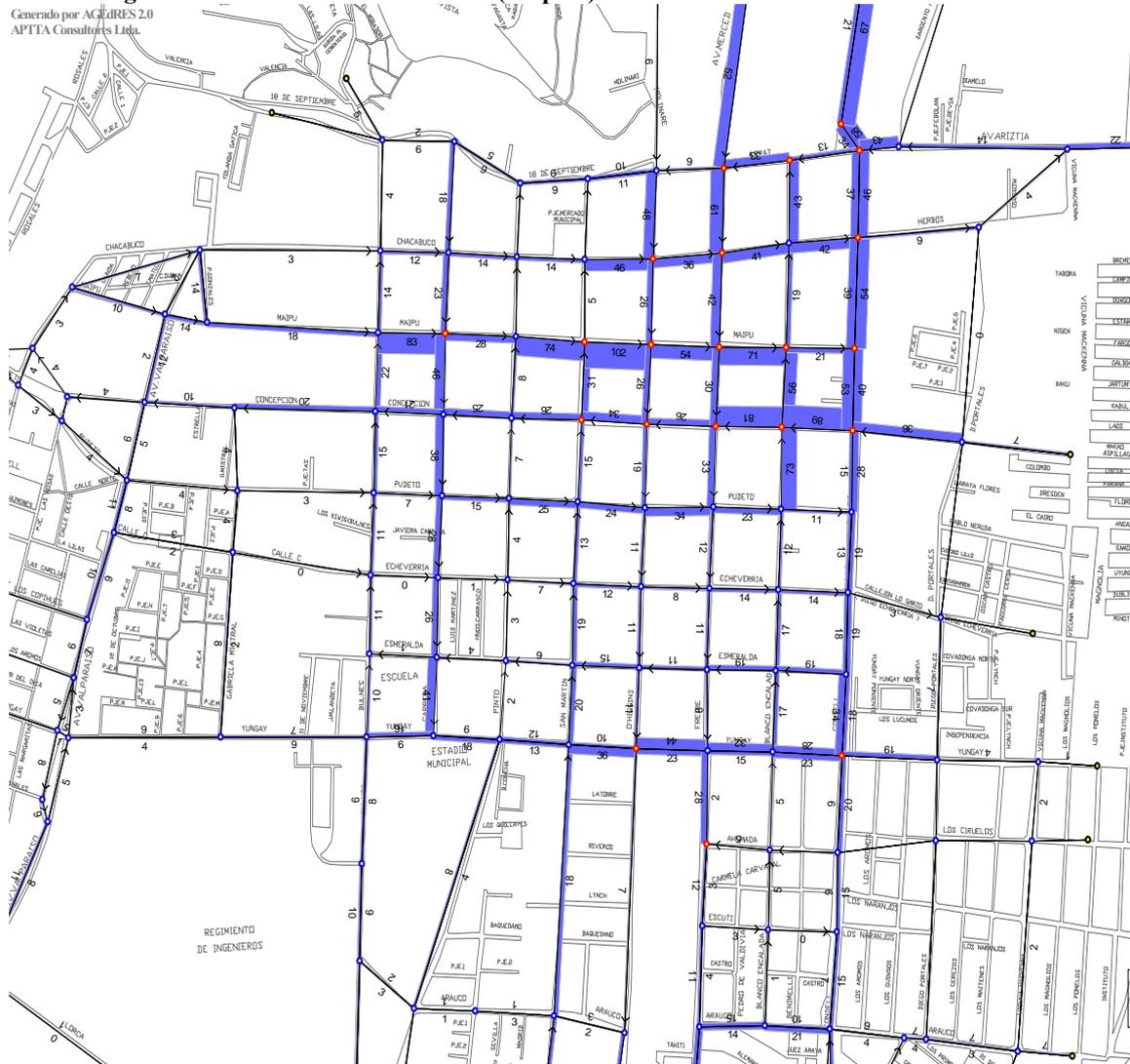


Figura N° 4-4: Grado de Saturación (Veq/Hr) Situación Base – Período 3 Punta Tarde

Generado por APTTA 2.0
 APTTA Consultores Ltda.



4.2 Definición del Proyecto

El proyecto a modelar corresponde al definido en el estudio “Diseño de Ingeniería Circuito Vial Plaza de Armas y Plazuela San Francisco”, que consiste en la implementación de calles semi-peatonales en torno a la Plaza de Quillota, específicamente sobre las siguientes calles:

Cuadro N° 4-1: Calles de Intervención del Proyecto

Calle	Entre	
Maipú	San Martin	O'Higgins
Concepción	San Martin	O'Higgins
San Martin	Maipú	Concepción
O'Higgins	Maipú	Concepción
Chacabuco	O'Higgins	Freire
O'Higgins	Maipú	Concepción

Fuente: Elaboración propia

En la figura siguiente se presenta el proyecto:

Figura N° 4-5 Diseño del Proyecto



Fuente: Diseño de Ingeniería “Circuito Vial-Peatonal Plaza de Armas – Plazuela San Francisco, Quillota”

4.3 Codificación del Proyecto

4.3.1 Características Operativas

De común acuerdo con la contraparte técnica se definieron los principales parámetros para la modelación del proyecto, tales como; velocidad de operación y flujos de saturación. Las velocidades de operación, sobre las calles semi-peatonales, se consideran de 20 km/hr y el flujo de saturación para el movimiento directo de 900 veq/hr por pista, a lo cuales se les aplica los factores de viraje de 1,25 para el viraje a la derecha y 1,15 para el viraje a la izquierda.

Cabe señalar que las condiciones de operación del proyecto son bastante restringidas, dado que la situación actual considera aproximadamente flujo de saturación para el movimiento directo de 1.700 veq/hr y velocidades de operación entre 25 y 30 km/hr.

4.3.2 Construcción de Redes

En base a la situación base se realizan las modificaciones de las redes correspondientes a cada período, interviniendo los arcos involucrados y considerando las características operativas planteadas en el punto anterior. Cabe señalar que en términos de la topología de la red, la red de proyecto no cambia respecto a la red de la situación actual y situación base (Figura N° 3-2).

4.4 Asignación del Proyecto

La asignación se realiza con la misma matriz utilizada en la situación actual. Si se compara la asignación del proyecto respecto a la situación actual, en términos generales se aprecia una reasignación de los vehículos tendientes a alejarse de la plaza (nodos 47, 48, 60 y 61) explicado por el aumento de los tiempos de viaje en torno a la plaza. Parte de los flujos vehiculares que circulaban en el sentido poniente-oriente por Maipú se traspasan a la calle Chacabuco. En el sentido oriente-poniente, también se aprecia una disminución del flujo vehicular que circula por Concepción respecto a la situación actual y un aumento de él, en la calle Esmeralda.

En el sentido norte sur se aprecia un traspaso del flujo vehicular desde la calle O'Higgins a Freire. En el sentido contrario, el flujo de San Martín también disminuye y aumenta el eje Blanco. También el volumen vehicular de la Av. Condell aumenta respecto a la situación actual.

Si bien es cierto, el proyecto genera reasignaciones de flujo vehicular en torno a al cuadrante de la plaza, de acuerdo a los resultados de la modelación se puede concluir que éstos no afectan mayormente a los grados de saturación del la red. El arco más afectado corresponde a Freire en la intersección Chacabuco en el período punta tarde, con 99% de saturación, sin embargo, esto es solucionable con una optimización de la programación del semáforo, dado que la rama por Chacabuco tiene una saturación del 63%.

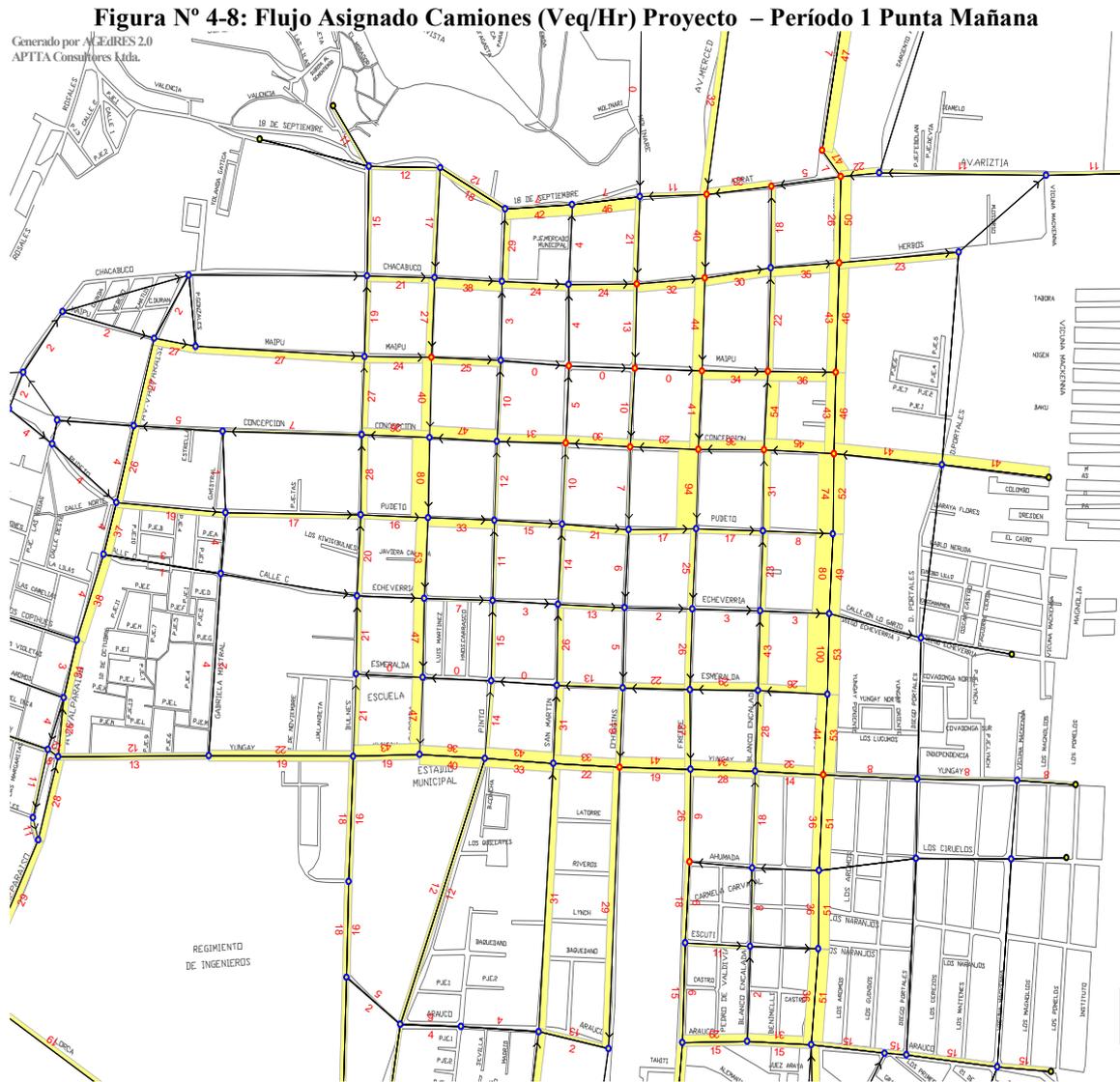


Figura N° 4-11: Flujo Vehicular Total (Veq/Hr) Proyecto – Período 3 Punta Tarde

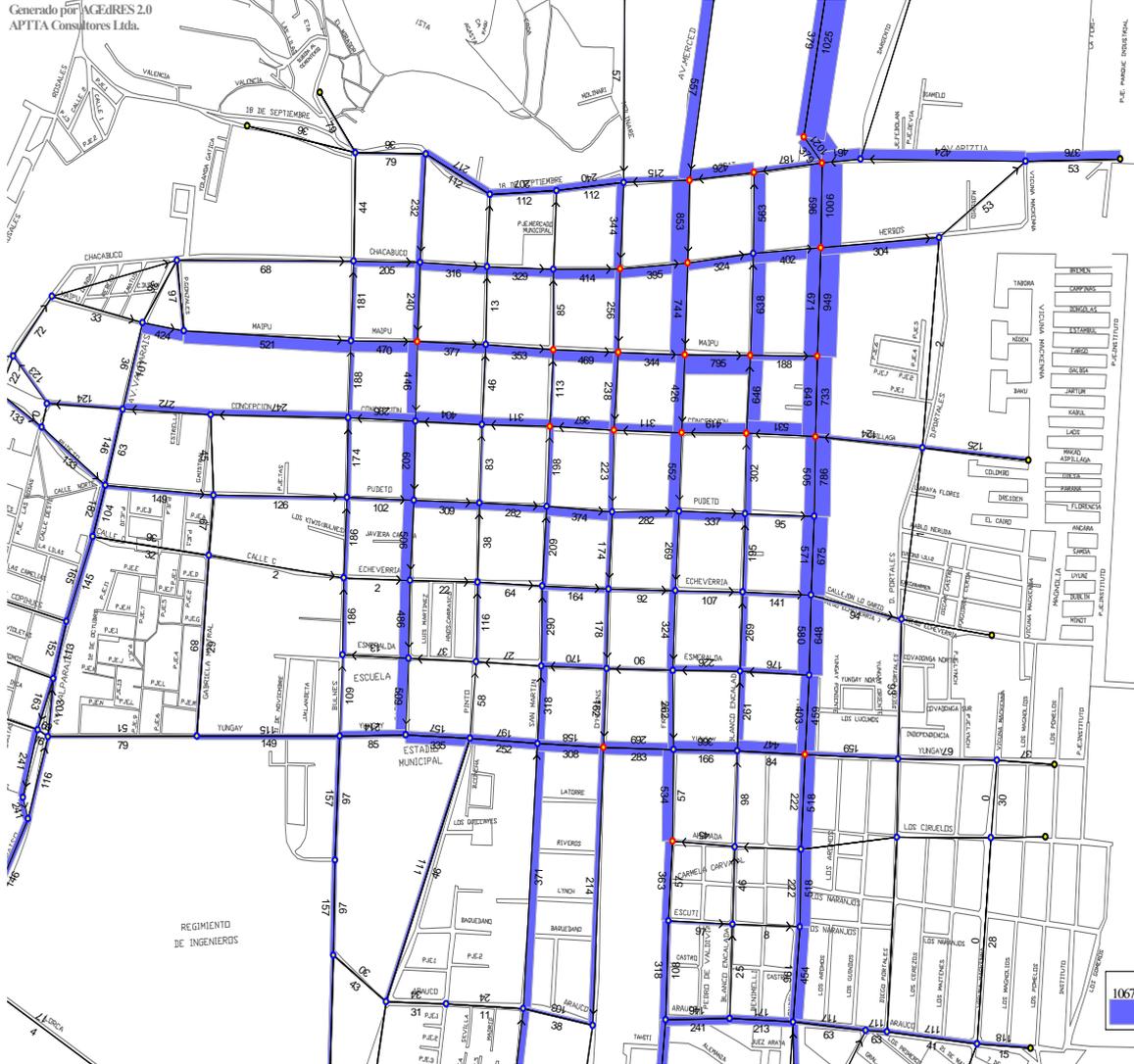
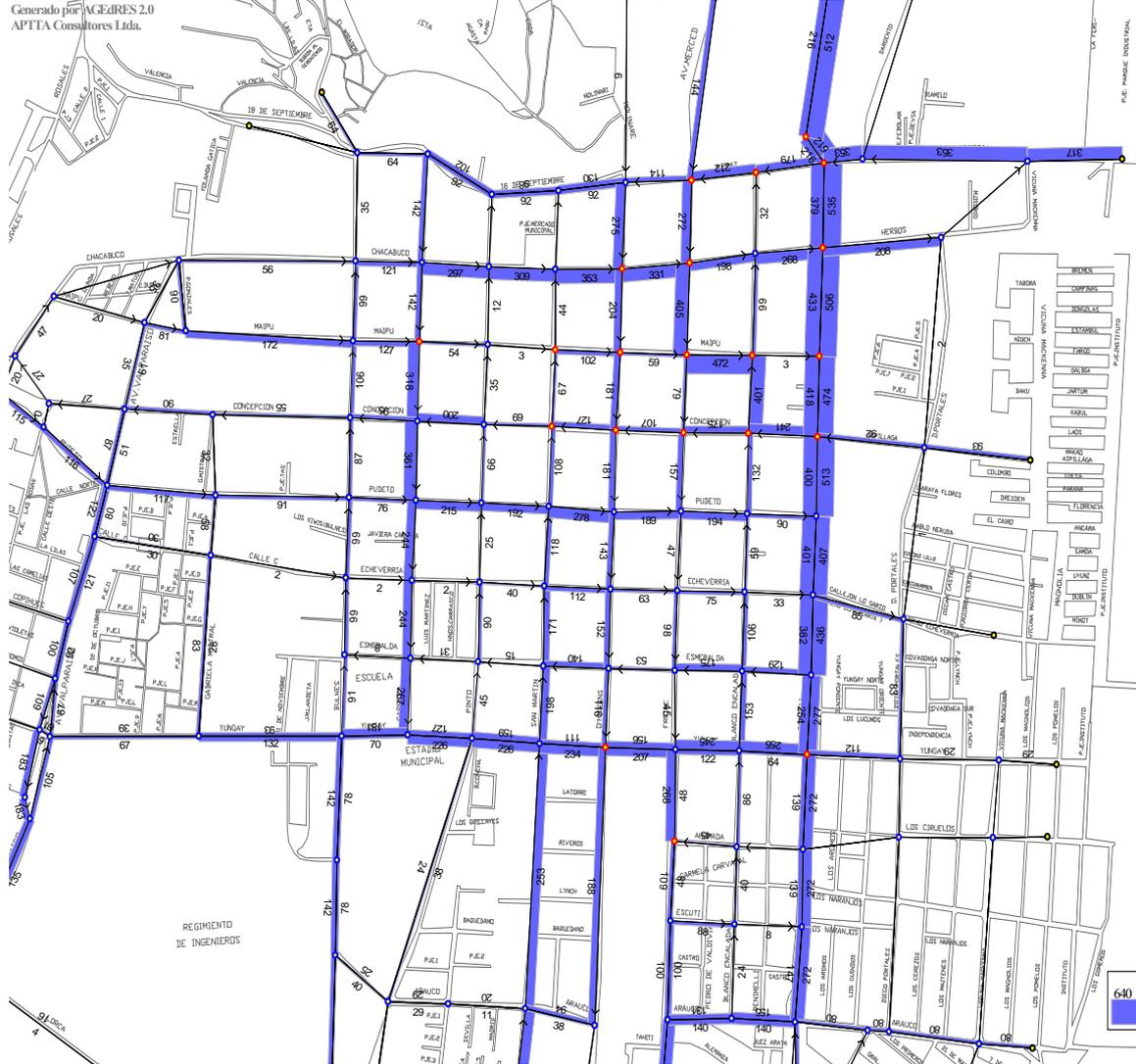


Figura N° 4-12: Flujo Asignado Vehículos Livianos (Veq/Hr) Proyecto – Período 3 Punta Tarde

Generado por VEGEdRES 2.0
APTTA Consultores Ltda.



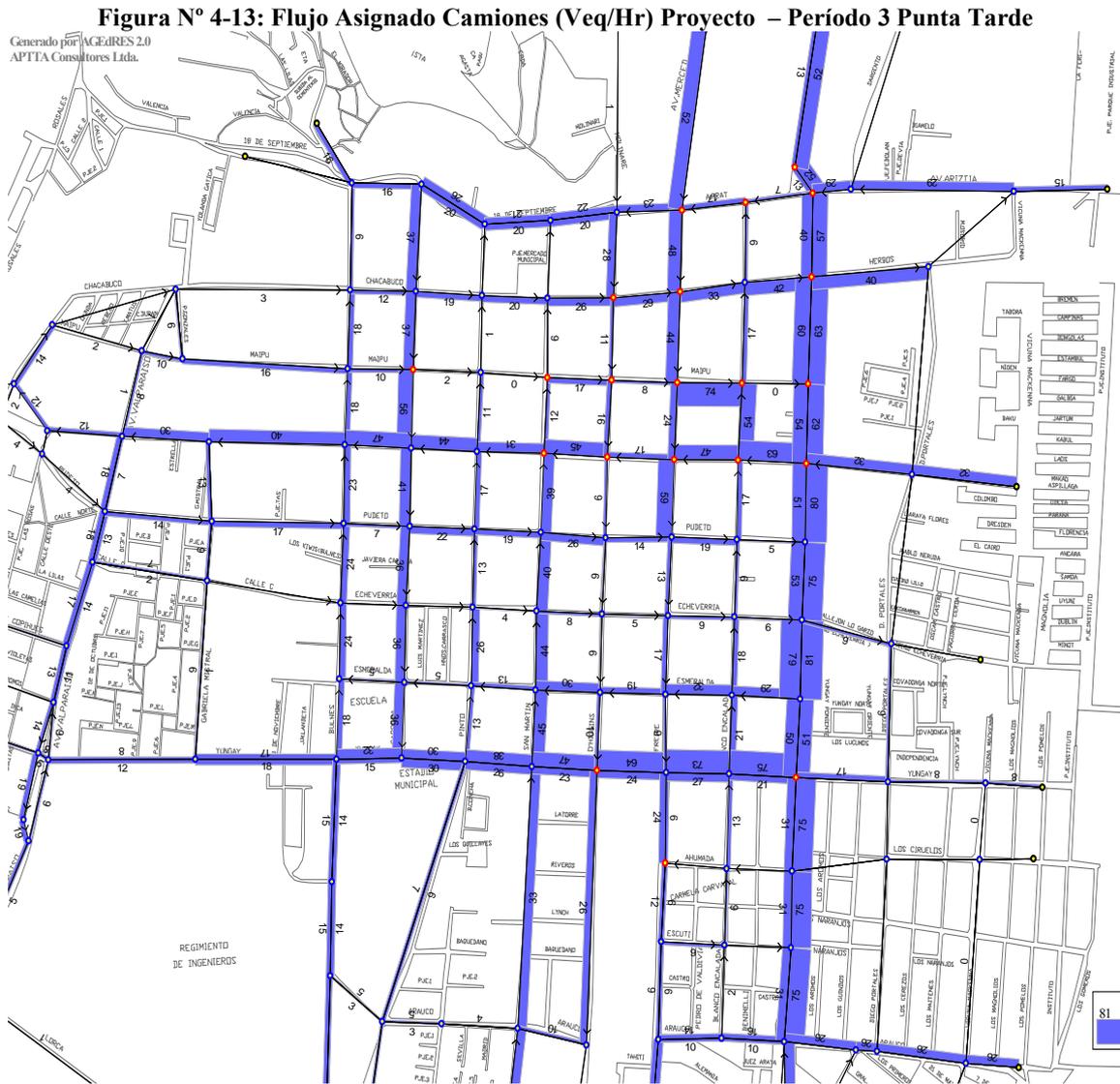
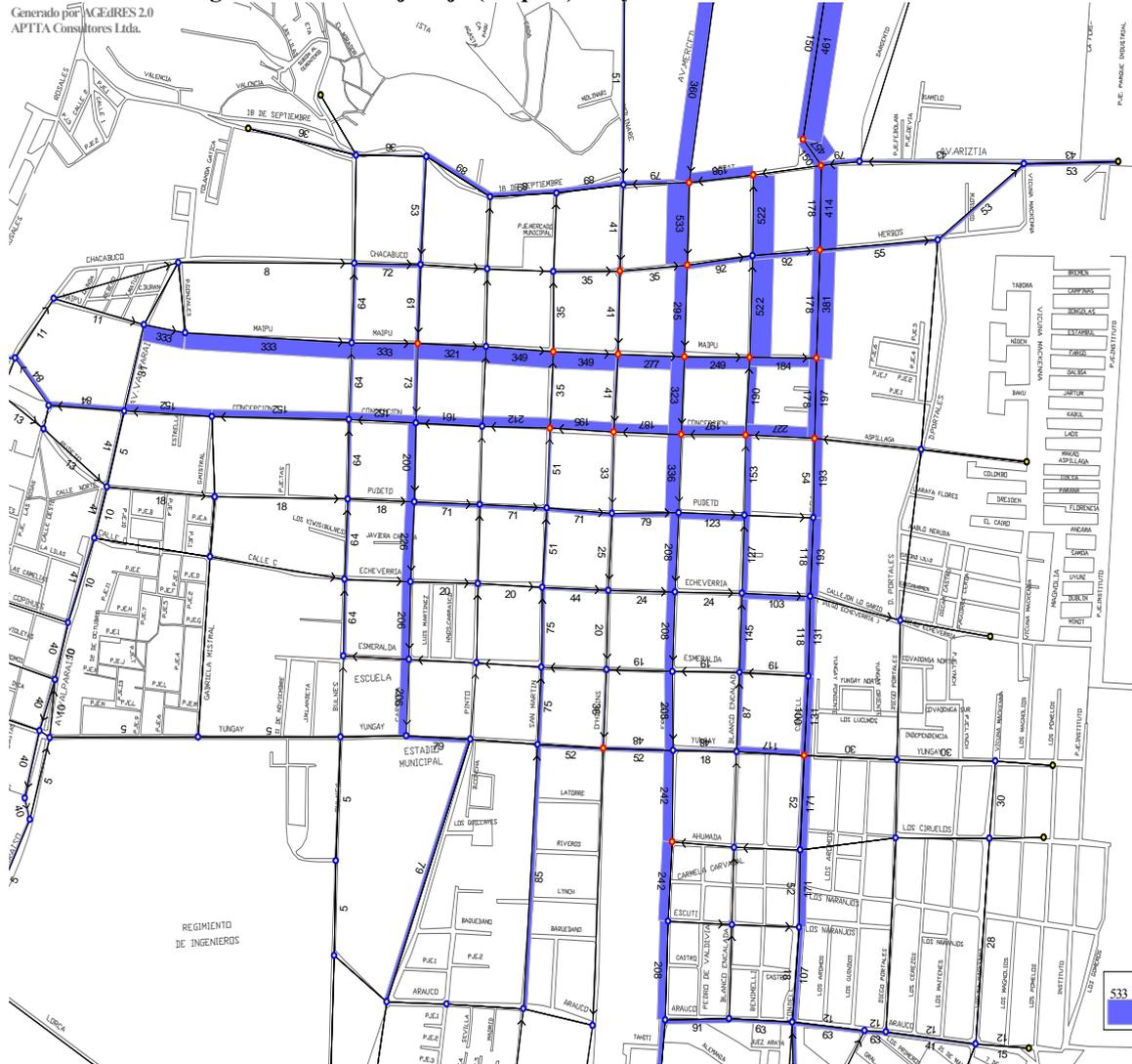


Figura N° 4-14: Flujo Fijo (Veq/Hr) Proyecto – Período 3 Punta Tarde



5 CONCLUSIONES

A partir de los resultados alcanzados de la modelación realizada, se puede concluir que la construcción del proyecto mantendrá las condiciones operacionales observadas actualmente en la red céntrica de Quillota, es decir, no se prevén problemas de operación de la red producto de la ejecución del circuito vial-peatonal.

No obstante, se estima necesario incluir como parte del proyecto, por una parte, la normalización UOCT y sincronismo de, al menos, las ocho intersecciones semaforizadas que se nombran a continuación, con el fin de optimizar la operación vehicular de la red vial y, por otro lado, un estudio de programaciones ex-post con grabaciones de memoria EPROM:

- | | |
|---------------------------|-------------------------------|
| 1. Chacabuco / O'Higgins | 2. Maipú / O'Higgins |
| 3. Concepción / O'Higgins | 4. San Martín / La Concepción |
| 5. San Martín / Maipú | 6. Freire/Chacabuco |
| 7. Freire/Prat | 8. Blanco/Prat |