



Ministerio de
Obras Públicas

Gobierno de Chile



Agua



Aeropuertos



Arquitectura



Obras Hidráulicas



Obras Portuarias



Vialidad

DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS

ESTUDIO

Confección de curvas flujo—velocidad en vialidad urbana e interurbana.



DICIEMBRE DE 2013



Gobierno de Chile
Ministerio de Obras Públicas / Ministerio de Desarrollo Social
Consultores en Infraestructura, Gestión y Territorio Limitada



CONSULTORÍA:
**“CONFECCIÓN DE CURVAS FLUJO – VELOCIDAD EN VIALIDAD
URBANA E INTERURBANA”**

Informe Final

21 de Diciembre 2013

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	OBJETIVOS	6
2.1.	OBJETIVO GENERAL.....	6
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
3.	FUENTES DE INFORMACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA	7
3.1.	SISTEMA DE LEVANTAMIENTO DE DATOS DE INFORMACIÓN PRIMARIA	8
4.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	11
4.1.	INTRODUCCIÓN	11
4.2.	MODELO TIPO BPR (1964).....	16
4.3.	MODELO LEN (1998)	18
4.4.	MODELO SECTRA	21
4.4.1.	<i>Vehículos Livianos en Calzada Simple.....</i>	<i>24</i>
4.4.2.	<i>Vehículos Pesados en Calzada Simple.....</i>	<i>27</i>
4.4.3.	<i>Caminos en Doble Calzada</i>	<i>30</i>
4.4.4.	<i>Modelo Daganzo (1975).....</i>	<i>33</i>
4.4.5.	<i>Modelo CITRA (2001).....</i>	<i>35</i>
4.5.	MODELO DE THOMAS ET AL (2012)	37
5.	METODOLOGÍA.....	41
6.	ANÁLISIS DE LAS FORMAS FUNCIONALES DE LAS CURVAS	43
7.	PROPUESTA DE MÉTODO DE MEDICIÓN DE BONDAD DE AJUSTE.	45
8.	EXPERIENCIA INTERNACIONAL RESPECTO A LAS CURVAS FLUJO - VELOCIDAD.....	59
8.1.	EL CASO DEL REINO UNIDO	59
8.1.1.	<i>Caminos de una calzada</i>	<i>61</i>
8.1.2.	<i>Caminos de dos calzadas y autopistas.....</i>	<i>62</i>
8.2.	EL CASO DE ESTADOS UNIDOS.....	64
8.3.	EL CASO DE BRASIL	65
9.	RELACIÓN ACCIDENTABILIDAD – FLUJO - VELOCIDAD.	67
10.	MICROSIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE FRICCIONES LATERALES.	70
10.1.	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE ENTRADA.....	70
10.2.	CODIFICACIÓN DE LA RED AIMSUN	71
10.2.1.	<i>Caracterización Física de la Red.....</i>	<i>71</i>
10.2.2.	<i>Caracterización de Cruces.....</i>	<i>72</i>
10.2.3.	<i>Caracterización del Plan de Control de Tránsito</i>	<i>73</i>
10.2.4.	<i>Caracterización de la Demanda</i>	<i>73</i>

10.3.	SIMULACIÓN CON AIMSUN.....	76
10.3.1.	<i>Caracterización Física de la Red.....</i>	76
10.3.2.	<i>Análisis de Resultados.....</i>	77
10.3.2.1.	Diagnóstico visual de las simulaciones.....	77
10.3.2.2.	Análisis de indicadores estadísticos de salida.....	77
10.3.2.3.	Identificación de puntos conflictivos y sus causas.....	79
10.4.	APLICACIÓN CASO CUESTA LA DORMIDA.....	79
10.5.	APLICACIÓN CASO RUTA 5 SECTOR CUESTA LAS CHILCAS.....	108
11.	CALIBRACIÓN DE FORMAS FUNCIONALES POR TIPO DE VIALIDAD: FORMAS ALGEBRAICAS Y GRÁFICAS, COMPOSICIONES DE FLUJO.....	111
11.1.	MODELOS AUTOPISTAS URBANAS.....	111
11.1.1.	<i>Puntos con Congestión Baja.....</i>	112
11.1.2.	<i>Puntos con Congestión Media y Alta.....</i>	117
11.1.3.	<i>Resultados Desagregados por Pista.....</i>	121
11.2.	MODELO DE CURVAS FLUJO – VELOCIDAD PARA AUTOPISTAS URBANAS.....	134
11.2.1.	<i>Ajuste Gráfico.....</i>	134
11.2.2.	<i>Propuesta de Modelo.....</i>	145
11.2.3.	<i>Estimación del Modelo.....</i>	146
11.2.4.	<i>Validación del Modelo.....</i>	153
11.2.5.	<i>Conclusiones y Recomendaciones a partir del Modelo.....</i>	154
11.2.6.	<i>Curvas Propuestas.....</i>	154
11.3.	MODELOS AUTOPISTAS INTERURBANAS.....	157
12.	ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS NACIONALES DEL MANUAL DE CARRETERAS.....	159
12.1.	ANTECEDENTES.....	159
12.2.	VOLUMEN 1: PLANIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y DESARROLLO VIAL.....	160
12.3.	VOLUMEN 3: INSTRUCCIONES Y CRITERIOS DE DISEÑO.....	163
13.	ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA RELACIÓN FLUJO – VELOCIDAD DE LA PLANILLA CRITAM.....	170
13.1.	ANTECEDENTES.....	170
13.2.	METODOLOGÍA.....	171
13.3.	TIPOS DE GEOMETRÍA CONSIDERADOS.....	172
13.4.	DIAGNÓSTICO DE LA PLANILLA CRITAM.....	177
13.5.	PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO.....	179
14.	IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE INFORMACIÓN UTILIZADAS EN LA CONFECCIÓN DE CURVAS FLUJO - VELOCIDAD.....	180
14.1.	CURVAS FLUJO – VELOCIDAD EN VIALIDAD URBANA.....	180
14.2.	CURVAS FLUJO – VELOCIDAD EN VIALIDAD INTERURBANA.....	181
15.	PROPUESTA METODOLÓGICA Y DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA ÓPTIMA DE ACTUALIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS.....	182
16.	ASPECTOS RELEVANTES CONSIDERADOS DE UTILIDAD EN LA ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS.....	183

17.	ANÁLISIS CRÍTICO SOBRE LA FORMULACIÓN Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS...	186
17.1.	ANÁLISIS RELACIONADO A LAS CURVAS FLUJO - VELOCIDAD.....	186
17.2.	ANÁLISIS RELACIONADO A LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE ACCIDENTES.....	187
17.2.1.	<i>Evaluación de Beneficio Social asociado a Accidentes del MOSAC.....</i>	187
17.2.2.	<i>Metodología del Manual de Carreteras.....</i>	188
17.3.	DIAGNÓSTICO DE LAS METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE ACCIDENTES.....	189
18.	BIBLIOGRAFÍA.....	191
19.	ANEXOS.....	193
19.1.	ANEXO 1: RESULTADOS Y SINGULARIDADES EN RECORRIDOS DE RECONOCIMIENTO.....	193
19.2.	ANEXO 2: RESULTADOS DE MICROSIMULACIÓN CUESTA LA DORMIDA.....	207
19.3.	ANEXO 3: CONTENIDO DEL ANEXO DIGITAL.....	231
19.4.	ANEXO 4: ACTA REUNIÓN 23 DE OCTUBRE DEL 2012.....	234
19.4.1.	<i>Participantes.....</i>	234
19.4.2.	<i>Temas Tratados.....</i>	235
19.4.3.	<i>Observaciones.....</i>	235
19.4.4.	<i>Lista de Asistencia.....</i>	237
19.5.	ANEXO 5: ACTAS REUNIONES REALIZADAS EN BRASIL.....	239
19.5.1.	<i>Reunión con Director de Concesiones del Ministerio de Transportes de Brasil.....</i>	239
19.5.1.1.	Participantes.....	239
19.5.1.2.	Temas Tratados.....	239
19.5.1.3.	Observaciones.....	240
19.5.1.4.	Lista de Asistencia.....	243
19.5.2.	<i>Reunión con Superintendente de Exploración de Infraestructura Rodoviaria de Brasil.....</i>	245
19.5.2.1.	Participantes.....	245
19.5.2.2.	Temas Tratados.....	245
19.5.2.3.	Observaciones.....	246
19.5.2.4.	Lista de Asistencia.....	248

1. INTRODUCCIÓN

El Sistema Nacional de Inversiones es la entidad que rige el proceso de inversión pública en Chile; a través de él se presentan, y evalúan, todas las iniciativas que postulan a fondos públicos, de manera de elegir aquellos más convenientes para la sociedad.

Entre las principales tipologías de iniciativas que se presentan al sistema se encuentran las relativas a los proyectos de vialidad. Con el aumento del parque automotriz en Chile, existe una demanda creciente por ampliaciones de las vías, por lo cual es fundamental disponer de una evaluación adecuada y certera de los costos y beneficios de estos proyectos.

La necesidad de realizar esta evaluación a partir de información precisa, y que corresponda de mejor forma a la realidad, implica disponer de antecedentes que reflejen la conducta del transporte vigente en Chile, tanto en vías urbanas como interurbanas, bajo diferentes circunstancias.

Para determinar adecuadamente los beneficios de un proyecto de transporte, es necesario conocer el impacto que sobre él tiene un aumento en la capacidad de las vías. Esto se refleja directamente en las llamadas curvas flujo – velocidad, ya que a partir de ellas se derivan los costos de transporte. Es fundamental que estas curvas estén adecuadamente determinadas, tanto para la vialidad urbana e interurbana; y para distintas características de la vía, como presencia de zonas de adelantamiento, curvas, pendientes, etc.

El presente documento comienza por exponer los objetivos que se pretende alcanzar al término del estudio para los cuales fue contratado; identificando, a continuación, las fuentes primarias y secundarias de información a utilizar para resolver las distintas tipologías de curvas flujo – velocidad; presentando una reseña bibliográfica de los principales textos a nivel internacional referidos al estudio de las curvas flujo velocidad; exponiendo la metodología a desarrollar para la actualización de las curvas en Chile, junto a un análisis de las formas funcionales de estas curvas; para, a partir de dicha información, desarrollar las calibraciones y microsimulación que permiten determinar curvas flujo – velocidad actualizadas para Chile, tanto para vialidad urbana como interurbana, en diferentes escenarios; finalmente, se entregan las principales recomendaciones y conclusiones que se pueden desprender para el desarrollo de la metodología presentada, en próximas actualizaciones de las curvas flujo – velocidad.

Con el objetivo de poder actualizar las curvas flujo velocidad para Chile, la Dirección General de Obras Públicas del Ministerio de Obras Públicas, ha contratado, en convenio con el Ministerio de Desarrollo Social, el presente estudio denominado “Confección de Curvas Flujo Velocidad en Vialidad Urbana e Interurbana”.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

El objetivo principal del estudio es contar con un conjunto de indicadores y parámetros que describan las relaciones flujo – velocidad, y flujo – costo, para distintos tipos de vialidad urbana e interurbana; de manera de poder describir adecuadamente el comportamiento de los vehículos, y utilizar esta información en evaluaciones socioeconómicas de proyectos de aumento de capacidad de vialidad urbana e interurbana.

2.2. Objetivos específicos

De acuerdo a lo anterior, el presente estudio espera, además, alcanzar los siguientes objetivos específicos a su término:

- Proponer una metodología de construcción de relaciones flujo – velocidad en infraestructura, para vialidad urbana e interurbana.
- Definir y calcular relaciones flujo velocidad, y flujo costo, para distintos tipos de vialidad urbana e interurbana.
- Desarrollar un sistema de verificación y actualización para dichas relaciones, según la información disponible periódicamente.
- Realizar propuestas para retroalimentar, y actualizar, la metodología de evaluación ex ante de proyectos de inversión en ampliación de capacidad de infraestructura en vialidad urbana e interurbana.

3. FUENTES DE INFORMACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA

Para el desarrollo del estudio se dispuso fundamentalmente de información secundaria, la cual se complementó con información primaria recopilada en terreno.

La captura de información primaria en terreno se realizó a través del registro de velocidad mediante el método del vehículo flotante, y de aforos vehiculares. La medición de velocidad se ejecutó en tres tramos de vías acordados con la contraparte, en un escenario que permitía mostrar un mayor volumen de tráfico que el habitual, como el correspondiente al día 31 de Octubre del año 2012, es decir, previo al fin de semana largo de los días 1 y 2 de Noviembre del citado año. Se consideró efectuar las mediciones en un sector donde no se realizaron medidas de gestión que generaran alteraciones relevantes en las condiciones de la vía y, por tanto, permitieran determinar antecedentes adecuados para la derivación de curvas flujo – velocidad para las tipologías requeridas.

La captura de datos se realizó en tres tramos de vías, los cuales cumplían la condición de presentar diferentes características en su diseño, permitiendo, con ello, derivar distintas tipologías de curvas. Los circuitos cubiertos fueron la Cuesta la Dormida, el sector del Túnel El Melón y la Ruta 5 Norte en el sector de las Chilcas.¹ En particular, en la cuesta La Dormida se recogieron antecedentes para tramos con distintas pendientes y curvaturas, incluyendo una vía bidireccional y sectores de terceras pistas, con presencia de fricción lateral. Asimismo, en El Melón también se obtuvieron datos para una vía bidireccional con distintas pendientes y curvaturas, pero con una mayor composición de vehículos pesados. Finalmente, en la Ruta 5 Norte, en el sector Las Chilcas, se registraron datos para un sector de doble calzada con distintas pendientes y curvaturas.

Esta captura de datos se realizó con el objetivo de complementar la información secundaria, por lo cual se desarrolló una metodología que redujera los sesgos del proceso de captura de información, como será presentado en el capítulo 3.1.

Respecto a las fuentes secundarias, éstas correspondieron a series de datos obtenidas en puntos de control de la Dirección de Vialidad y de las plazas de peaje de las Concesiones Interurbanas, específicamente en aquellas ubicadas donde se realizó la captura de datos en terreno ya citada; los cuales fueron extraídos de la página web de la Dirección de Vialidad, y aportados tanto por dicha Dirección, la Coordinación de Concesiones y el mandante.

¹ Para mayor detalle del proceso de captura de datos en terreno con vehículo flotante, ver capítulos 3.1 y 7.

Respecto a las vías urbanas, la información fue entregada por la Coordinación de Concesiones y el mandante, a partir de registros disponibles de flujo y velocidad para cada una de las cuatro concesiones urbanas: Américo Vespucio Norte, Américo Vespucio Sur, Costanera Norte y Autopista Central. Para ello se seleccionó puntos específicos de control, asociados a pórticos, que permitieran la construcción de curvas flujo – velocidad; y se utilizó series de datos de todos los meses del año, para evitar problemas de estacionalidad.

Se dispuso, además, información de SECTRA, aportada por el mandante, respecto a estudios previos de flujo velocidad, específicamente “Mediciones de Aforos de Tráfico y Perfiles de Carga en Servicios Troncales en el Gran Santiago” de Septiembre del 2012; del Plan Nacional de Censos de la Dirección de Vialidad, y presentaciones de iniciativas del sector transporte al Sistema Nacional de Inversiones.

Con estos antecedentes, los cuales se complementan con microsimulación, se confeccionan las curvas flujo – velocidad para distintos tipos de infraestructura; esto es, para calzada unidireccional y bidireccional, con distintas composiciones de flujo, y para vías urbanas e interurbanas.

3.1. Sistema de Levantamiento de datos de información primaria

Existen diversas metodologías, que la bibliografía ha identificado, para poder realizar mediciones de tráfico para la construcción de curvas flujo velocidad. Estas metodologías se exponen en el capítulo de revisión bibliográfica, por lo que, en este capítulo, se explica la metodología seleccionada para realizar el levantamiento de datos desde las fuentes de información primaria, indicando los elementos que fueron considerados para reducir los sesgos que el método seleccionado posee.

La literatura identifica cinco tipos de procedimientos para el levantamiento de información primaria para la construcción de flujo velocidad:

- Medición en un punto.
- Medición sobre una sección pequeña de vía (generalmente inferior a 10 metros).
- Medición sobre un tramo de vía (sobre 500 metros al menos).
- Uso de un observador siguiendo el movimiento del tráfico (v.g. método del vehículo flotante).
- Muestras obtenidas en forma simultánea como parte de un Sistema de Transporte Inteligente (ITS por sus siglas en inglés)

Respecto a los dos primeros, tienen la ventaja de recoger gran cantidad de información (vehículos) durante la medición, logrando mostrar habitualmente valores promedio del comportamiento vehicular. Sin embargo, la medición se circunscribe al punto o tramo medido, generando normalmente información muy limitada en términos de variación de las características de la vía. El método del vehículo flotante, por su parte, permite obtener información en distintos tramos de una ruta, pero su desventaja es que no siempre es posible recoger comportamientos promedio, ya que no siempre es factible obtener muestras suficientemente grandes (Hall, 2002). Si bien los sistemas ITS tienen numerosas ventajas y, de hecho, sus potencialidades se han ido incrementando con el desarrollo de la tecnología, tienen la desventaja que la medición también se circunscribe normalmente a un punto o tramo.

Dado los objetivos del presente estudio, donde se busca estimar curvas flujo – velocidad bajo distintas características de la vía, se decidió escoger el método del vehículo flotante, pero buscando minimizar la desventaja que es el reducido número de observaciones que se suele generar, tal como se expondrá más adelante. De este modo, el levantamiento de información primaria se realizó mediante el método del vehículo flotante; aunque la información secundaria recibida de las concesiones urbanas es capturada a partir de un Sistema de Transporte Inteligente, por lo cual tiene un gran valor desde el punto de vista de la robustez de sus datos. Adicionalmente, para la captura de información primaria, se contó con un instrumental de apoyo (GPS de precisión) que permite ir determinando la velocidad punto a punto, lo que se explica con mayor detalle en el capítulo 7.

Estas mediciones de velocidad, se contrastan con mediciones de flujo tomadas en forma paralela en terreno; las cuales, a su vez, se complementan con los datos de flujo recopilados del punto de control WIM 321 de la Dirección de Vialidad², y de las plazas de peaje Lampa y Túnel El Melón de la Coordinación de Concesiones.

² Dado que dicho punto de control no se encontraba activo para el 31 de Octubre del 2012, se utilizó los datos, del citado punto, del día 28 de Octubre del 2011.

Tal como se ha señalado, la debilidad de la metodología del vehículo flotante es la posible presencia de sesgos de selección en la captura de datos. Hall (2002)³ identifica tres posibles tipos: el primero se refiere a la influencia del tiempo de captura de datos para un vehículo determinado; producto de ello, el consultor determinó, en forma previa a la captura de datos en terreno, los tramos de vía y el tiempo de seguimiento para cada tipo de vehículo durante el proceso de captura de datos. Se estableció, además, para los vehículos livianos, un tope de 5 minutos de seguimiento a un vehículo para luego cambiar al vehículo más cercano, independiente de sus características. Finalmente, para los casos en que éste se detenía, se suspendía la toma de datos durante ese periodo quedando fuera de la captura.

El segundo posible sesgo se refiere a la entrada y salida de vehículos de la vía, durante el proceso de captura; por ello, el equipo consultor realizó un reconocimiento del trazado, previo a la captura de datos de velocidad, para identificar las características de la vía, de manera de localizar y georreferenciar los puntos de entrada y salida, y, de esa manera, identificarlos para el procesamiento de los datos.

El último posible sesgo se relaciona con capturar una cantidad de observaciones, que efectivamente refleje a un vehículo promedio en la vía. En primer lugar, se debe recordar que la metodología a seguir en esta consultoría estableció como base la información secundaria, la cual es complementada con el levantamiento de información primaria; para la cual, con el objetivo de eliminar posibles sesgos, tal como fue señalado, se aplicó el criterio de seguimiento de un vehículo por 5 minutos, para luego cambiar de vehículo a seguir, lo cual permitió incrementar el número de observaciones y de esa manera aproximar a un vehículo promedio que usa la vía.

³ Hall, Fred L. "Traffic Stream Characteristics" en Nathan A. Gartner, Carrol J. Messer and Ajay Rathi Traffic Flow Theory: A State-of-Art Report, Washington DC; US Department of Transportation, Turner – Fairbank Highway Research Center <http://www.tfhrc.gov/its/tff/tft.htm>

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1. Introducción

Las especificaciones de las relaciones flujo – velocidad han sido un elemento fundamental en la planificación y definición de la capacidad de las vías urbanas e interurbanas.

El origen de los estudios de relaciones flujo – velocidad, bajo estado estacionario, se remonta a Greenshields (1935). Posteriormente, se realizaron diversos esfuerzos para desarrollar modelos teóricos, incluyendo los modelos de Greenberg (1959), Underwood (1961), Drake, Schofer y May (1967), entre otros. La Tabla N°1 muestra un resumen con las relaciones antes referidas.

Tabla N°1. PRINCIPALES RELACIONES TEÓRICAS FLUJO - VELOCIDAD

Modelo	Función Flujo – Velocidad
Greenshields	$q = K_g \cdot V \cdot \left(-\frac{V}{V_f} \right)$
Greenberg	$q = K_g \cdot V \cdot e^{-\frac{V}{V_f}}$
Underwood	$q = K_u \cdot V \cdot \ln \left(\frac{V_f}{V} \right)$
Drake	$q = K_d \cdot V \cdot \ln \left(2 \cdot \frac{V_f}{V} \right)^{\frac{1}{2}}$

Fuente: Elaboración Propia

Donde:

q : Flujo.

V : Velocidad.

K_e : Concentración de embotellamiento.

V_f : Velocidad a flujo libre.

V_c : Velocidad a capacidad (q_c).

K_c : Concentración a capacidad (q_c).

Hall (2002) señala como desventaja del modelo de Greenshilds, el que no fue pensado para trabajar con datos de carreteras; sin embargo, en la práctica ha sido adaptado directamente para condiciones interurbanas. Asimismo, Duncan (1976, 1979) demostró que el método de estimación de curvas flujo – velocidad del modelo de Greenshilds, generaba resultados sesgados en comparación con estimaciones directas de funciones flujo – velocidad.

El método consta de las siguientes etapas:

- Estimar la concentración a partir de la velocidad y el flujo.
- Ajustar la función velocidad – concentración a los datos.
- Transformar esa curva en una función flujo – velocidad.

En ese contexto, se demostró que la curva obtenida no ajustaba adecuadamente a los datos originales de flujo – velocidad. Éste es el método utilizado por los modelos teóricos indicados anteriormente y, ciertamente, la mayor parte de los resultados de funciones flujo – velocidad no ajustan correctamente a los datos originales. Lo anterior sugiere la necesidad de utilizar con precaución este método de doble transformación para calibrar curvas flujo velocidad.

Li (2008) hace notar que aun cuando los parámetros q_c , V_c y V_f están totalmente caracterizados en los modelos de Greenshilds, Underwood y otros, los parámetros de curvatura son exógenos. Esto afectaría seriamente estos modelos, debido a su falta de flexibilidad, lo que explicaría por qué habría muy pocas especificaciones de este tipo, calibradas correctamente, desde la década del 70.

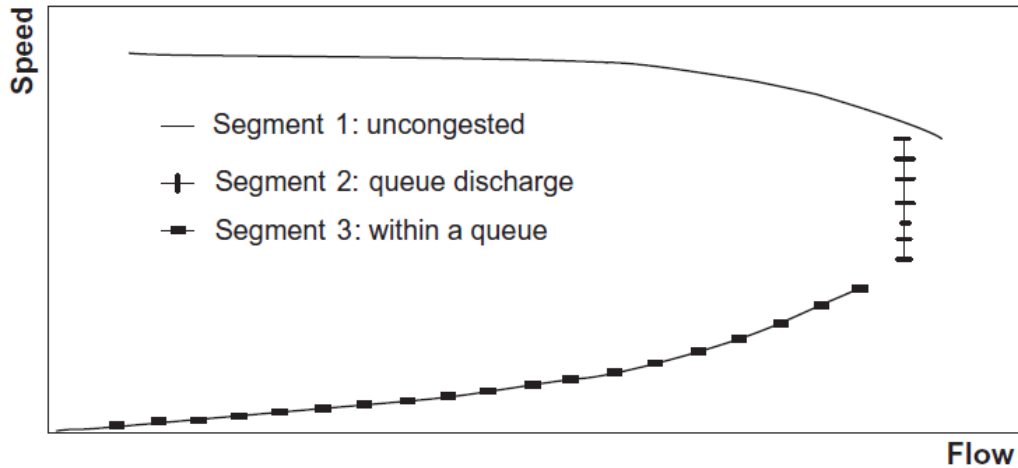
Por su parte, Ardekani (2011) estimó nueve relaciones flujo - velocidad, incluyendo los modelos teóricos convencionales (Greenshields, Greenberg, Underwood y Drake) y otros modificados, utilizando datos recogidos en carreteras en Dallas (Texas). El estudio concluye que el modelo de Drake, y el de Underwood modificado, (con series de Taylor) obtuvieron el mejor ajuste; con estimaciones razonables de velocidad a flujo libre, y de velocidad y concentración, a capacidad.

Se han realizado diversos estudios para obtener relaciones empíricas. Entre ellos es posible mencionar a Duncan (1976, 1979); Duncan, Christie y Marlow (1980); Hall, Allen y Gunter (1986); Williams, Mahmassani y Herman (1987); Banks (1989, 1991); Hall y Hall (1990); Chin y May (1991); y Polus, Craus y Livneh (1991), entre otros. En general, estos estudios apoyan la idea que la velocidad permanece relativamente constante, incluso con flujo alto.

En el ámbito nacional, se han estimado relaciones flujo – velocidad en vías interurbanas, destacando los trabajos de LEN (1998), SECTRA (1999) y CITRA (2001). En particular, LEN (1998) desarrolló un modelo lineal para calzadas simples y dobles, que utilizaba como variables explicativas el flujo, el porcentaje de prohibición de adelantamiento, la fricción lateral, la curvatura y la pendiente del tramo. De igual forma, el estudio de SECTRA (1999) calibró relaciones flujo – velocidad para vehículos livianos en calzada simple y doble; y para vehículos pesados en calzada simple y doble, las que se desarrollaron a partir del modelo de simulación TRARR (calzada simple) y del Highway Capacity Manual (calzada doble). Finalmente, el modelo de CITRA (2001) calibró una función similar a la de LEN (1998), agregando una componente de potencia que toma valores significativos sólo para flujos cercanos y sobre la capacidad.

Persaud y Hurdle (1988) demostraron que la línea vertical de la Figura N°1, que refleja la caída de la velocidad una vez que se alcanza la capacidad, era un resultado razonable. Esto se constató a partir de las mediciones realizadas en diversos puntos debajo de una cola. Esta caída se explicaría por la formación de una cola y su posterior descarga. Posteriormente, Hall (1992) desarrolló un modelo (flujo – velocidad) que comprende tres segmentos de flujo en vías rurales, tal como se aprecia en la citada figura. Li (2008) señala que la caída referida (segmento 2) se obtiene cuando el flujo se encuentra entre 15% y 25% de la capacidad. Por otro lado, Banks (1991a, 1991b) reportó una caída del flujo en un cuello de botella de aproximadamente 3%, previo a la formación de cola, mientras que Agyemang – Duah y Hall (1991) encontraron un decrecimiento de aproximadamente 5%. Muchas veces esta reducción de flujo no sería observable.

Figura N°1 CURVA GENERALIZADA VELOCIDAD – FLUJO



Fuente: Hall et al (1992)

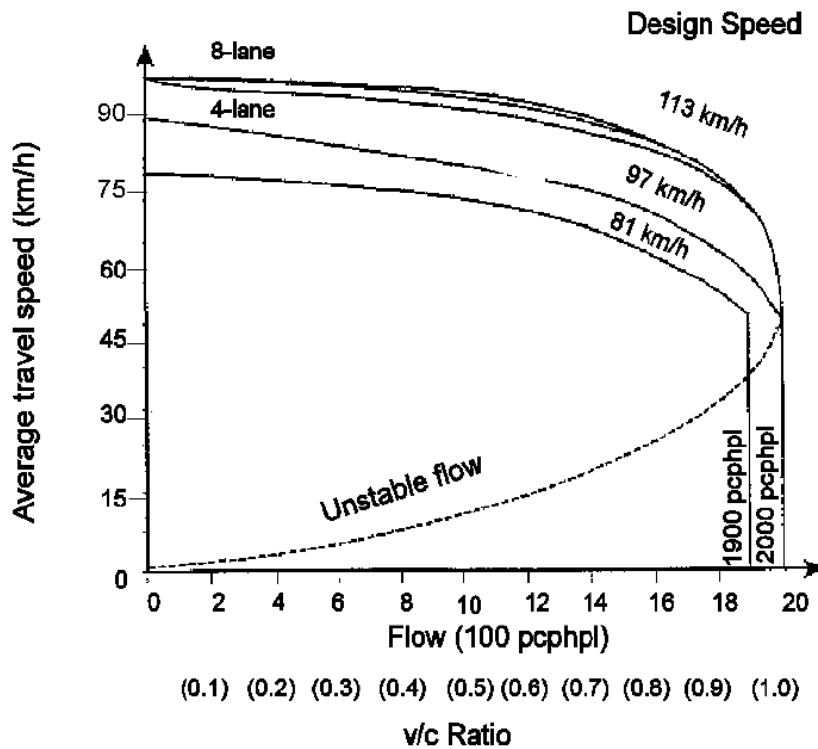
El Highway Capacity Manual (HCM) resume los avances en las relaciones flujo – velocidad, en HCM (1965), HCM (1985) y HCM (2000). En particular, las curvas flujo – velocidad del HCM (2000) pueden ser simplificadas en la Ecuación 1.

Ecuación 1

$$q = Q \cdot \left[\frac{V_f - V}{V_f - V_c} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad \text{para } V_c \leq V \leq V_f \text{ y } \beta \geq 1$$

Donde $\beta=1$ corresponde a una autopista de dos pistas y $\beta=1,31$ a una autopista con pistas múltiples. Se puede observar que la función es estrictamente decreciente en V , por lo cual se no cumpliría con el ecuación fundamental del tráfico ($q = K \cdot V$). Por lo anterior, no tendría validez cuando $V < V_c$.

Figura N°2 CURVAS FLUJO VELOCIDAD HCM



Fuente: HCM (1985)

Uno de los modelos empíricos más utilizados en la práctica corresponde a los de tipo BPR (Bureau of Public Roads, 1964). De acuerdo a Nielsen y Jorgensen (2007), las curvas BPR replican adecuadamente el comportamiento promedio de los usuarios bajo condiciones de flujo inferiores a la capacidad; no obstante, su forma funcional no es razonable para flujos que sobrepasan dicho valor.

Thomas et al (2011) desarrolló relaciones flujo velocidad, para distintos tipos de vehículos, en carreteras de tráfico heterogéneo de la ciudad de Chennai (India). Para ello recurrió a un modelo de microsimulación (HETEROSIM) para determinar la velocidad de cada tipo de vehículo, variando el flujo y composición de una carretera de seis pistas. Cabe hacer notar que las expresiones estimadas permitían capturar interacciones asimétricas de las diferentes clases de usuarios.

Bang y Heshen (2000) desarrollaron una relación flujo – velocidad lineal, con un punto de quiebre para la razón flujo / capacidad de 0,85, para tramos urbanos e interurbanos en China. Such et al (1990) calibró relaciones tipo BPR en Corea, estimando modelos lineales con pendientes diferentes dependiendo si el flujo es mayor o menor a la capacidad práctica.

Otra línea de investigación en esta área corresponde a los basados en modelos estocásticos, dentro de los que se encuentra los estudios de Newell (1955), Newell (1966), Lighthill an Whitham (1955), Richards (1956) y Daganzo (1975), entre otros. Más reciente, Newell (1998) desarrolló la teoría de onda cinemática de cuellos de botella móviles, que pronostica el impacto de vehículos lentos en corrientes vehiculares. En particular, ésta se basa en el hecho que un vehículo más lento genera una cola de los vehículos más rápidos que están detrás de éste. Dentro de esta línea se pueden encontrar los estudios de Leclercq et al (2004), Muñoz y Daganzo (2002), Daganzo y Laval (2005), Laval y Daganzo (2006), Laval (2005), Laval (2006) y Laval (2009), entre otros.

Weng y Meng (2007) desarrolló un modelo probabilístico flujo – velocidad para carreteras con áreas temporales de trabajo, lo que constituye un caso especial de cuello de botella, donde se observan frecuentemente conflictos significativos. Los resultados mostraron que, bajo condiciones de tráfico sin congestión, la relación flujo – velocidad de la pista directa se veía afectada por la pista de transición. Asimismo, se demostró que el modelo propuesto predecía adecuadamente el comportamiento de los usuarios bajo las condiciones planteadas.

En consecuencia, y considerando las investigaciones revisadas, es importante hacer notar que la mayor parte de las aplicaciones prácticas se han realizado a través de modelos empíricos flujo - velocidad. Para profundizar el análisis, se eligieron los modelos flujo - velocidad que tuviesen mayores potencialidades para realizar aplicaciones prácticas (principalmente modelos empíricos), los que se detallan en este capítulo. En particular, se exponen los modelos BPR (1964), LEN (1998), SECTRA (1999), CITRA (2001), Daganzo (1975) y Thomas et al (2012).

4.2. Modelo Tipo BPR (1964)

Tal como se ha señalado, la Bureau of Public Roads de Estados Unidos desarrolló una expresión que relaciona el flujo con la velocidad (o la demora con el flujo) que ha sido ampliamente recogida en la literatura. En particular, la expresión se encuentra definida por la Ecuación 2.

Ecuación 2

$$V = \frac{V_f}{1 + \alpha \cdot \left(\frac{q}{q_{cap}}\right)^\beta}$$

Donde,

V : Velocidad;

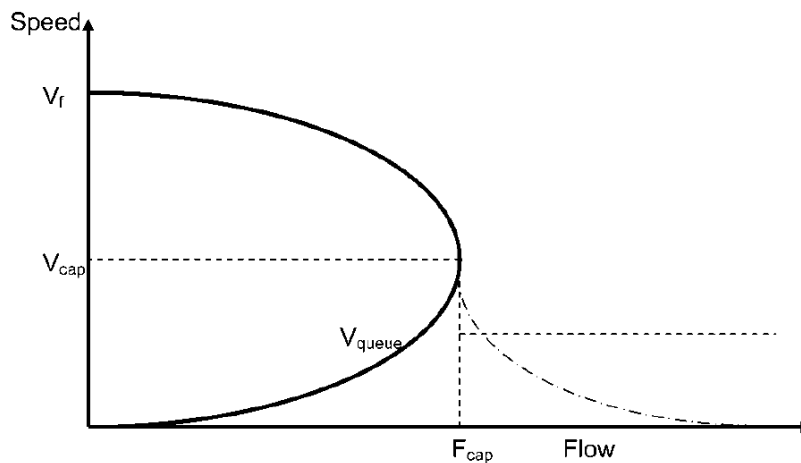
V_f : Velocidad a flujo libre;

F : Flujo;

F_{cap} : Flujo a capacidad;

α y β : Parámetros a calibrar dependiendo del tipo de camino.

Figura N°3 **RELACIÓN FLUJO – VELOCIDAD TIPO BPR**



Fuente: Nielsen y Jorgensen (2007)

De acuerdo a Nielsen y Jorgensen (2007), la experiencia danesa indicaría que α se encontraría entre 0,8 y 1,2 dependiendo del tipo de camino, mientras que β alcanzaría valores relativamente pequeños para caminos bidireccionales (una pista por sentido) sin posibilidad de adelantamiento (normalmente inferior a 1,5), y valores más altos para carreteras de cuatro pistas (dos por sentido) con un adelantamiento sencillo.

El problema con esta expresión se encuentra para una velocidad inferior a la capacidad y un flujo superior a ésta (F_{cap}). Como se observa en la Figura N°3, el modelo BPR se ajusta a la forma definida por la línea segmentada (a la derecha de F_{cap}), sin embargo la curva real debiera ser aquella definida por la línea continua ubicada al costado izquierdo de F_{cap} . En particular, ese tramo de la curva es el resultado de una alta concentración, pero movimientos lentos de tráfico. Tal como lo señala Nielsen y Jorgensen (2007), esto es práctico para modelos de asignación estática, ya que la curva es continua (incluso más allá de la capacidad) y diferenciable; no obstante, desde el punto de vista teórico no es realista.

Nielsen y Jorgensen (2007) desarrolló una expresión para condiciones de flujo superiores a la capacidad ($F > F_{cap}$), con el propósito de hacer más realista ese tramo de la curva. En particular, ésta se encuentra definida por la Ecuación 3.

Ecuación 3

$$V = \frac{F \cdot \frac{F_{cap}}{K_e - K_{cap}}}{\frac{K_e \cdot F_{cap}}{K_e - K_{cap}} - F}$$

Donde, K_e corresponde a la concentración de embotellamiento y K_{cap} a la concentración a capacidad. Los parámetros y variables restantes han sido señalados previamente.

4.3. Modelo LEN (1998)

El estudio de ingeniería de tránsito para la concesión de la Red Vial Litoral Central, desarrollado por la empresa LEN y Asociados para la Coordinación General de Concesiones del MOP (1998), definió y calibró una función flujo – velocidad, por tipo de vehículo, para caminos en calzada simple. La calibración de esta función se realizó sobre la base de datos recogidos directamente en terreno, en distintos tramos de la red vial y con características geométricas diversas: fuertes pendientes, tramos ondulados y de alta curvatura horizontal, tramos planos sin curvatura horizontal. Además, se consideraron sectores con influencia urbana (fricción lateral), para lo cual se determinó una componente de la función para recoger dicho efecto.

La variada geometría y los efectos de fricciones laterales presentes en los diversos sectores que se estudiaron, permitieron generar una relación funcional que ligaba el tiempo medio de viaje de cada tipo de vehículo con las características físicas y operativas de los arcos de la red vial.

Los datos de flujo y velocidad por tipo de vehículo se realizaron agrupados en intervalos de cinco minutos, obteniéndose la base de datos para la calibración. La clasificación general empleada en la medición fue la siguiente:

- VL : Vehículos Livianos
- CS : Camiones de 2 Ejes
- VP : Camiones de más de 2 ejes
- LC : Locomoción colectiva

La formulación que entregó los mejores indicadores fue de tipo lineal y su expresión, válida para todos los tipos de vehículo, fue la Ecuación 4.

Ecuación 4

$$V_i = \sum_j V_{0j} \cdot \delta_{ij}^1 + \alpha_{na} \cdot No_adel + \alpha_F \cdot Friccion + \alpha_C \cdot Curvatura + \alpha_b \cdot Bajada + (\beta_{CD} \delta_{CD} + \beta_{CS} \delta_{CS}) \cdot \left(\frac{Q_{tot}}{Q_{cap}} \right)^n$$

Donde,

V_{0j} : Parámetros a estimar, que representan la velocidad en flujo libre para el tipo de vehículo j.

δ_{ij} : Variable muda que vale 1 si el tipo de vehículo j es igual al vehículo tipo i y cero en caso contrario.

No_adel : Porcentaje del tramo medido, con prohibición de adelantamiento (expresada en tanto por uno).

$Friccion$: Indica la presencia de actividad urbana en el tramo, se clasifica como presente "1"; o no presente "0"

$Curvatura$: Indica la curvatura del tramo, expresada en °/km.

Bajada: Indica el porcentaje de metros de bajada en el tramo de medición (expresada en m/km).

Q_{tot} : Flujo total equivalente en el arco en el sentido de circulación (veq/hr).

Q_{cap} : Capacidad de la vía.

δ_{CD} : Variables mudas que valen 1 si la calzada es doble y cero en caso contrario.

δ_{CS} : Variables mudas que valen 1 si la calzada es simple y cero en caso contrario.

$\alpha_{noa}, \alpha_F, \alpha_C, \alpha_b, \beta_{CS}, \beta_{CD}$: Parámetros a estimar.

Los factores de equivalencia se definieron fijos y corresponden a los que se presentan en la Tabla N°2.

Tabla N°2. FACTORES DE EQUIVALENCIA

Tipo de Vehículo	Factor de Equivalencia
Vehículos Livianos	1,0
Camiones Simples	2,0
Vehículos Pesados	3,0
Locomoción Colectiva	2,0

Fuente: LEN (1998)

La capacidad del camino se calculó utilizando el factor de reducción por geometría (fg) de acuerdo con las indicaciones del Highway Capacity Manual (HCM), considerando una Capacidad Básica de 1400 veq/hr por pista.

Ecuación 5

$$\text{Capacidad} = \text{Capacidad Básica} * fg$$

Los parámetros calibrados del modelo se presentan en la Tabla N°3.

Tabla N°3. PARÁMETROS RELACIÓN FLUJO – VELOCIDAD

Variable	Unidad	Coficiente	T - estadístico
$V_{o_{VL}}$	[km/hr]	99.64	135.86
$V_{o_{C2E}}$	[km/hr]	90.04	89.72
$V_{o_{C+2E}}$	[km/hr]	90.34	83.32
$V_{o_{LC}}$	[km/hr]	94.88	116.91
<i>No adelantar</i>		-13.22	-8.50
<i>Fricción Lateral</i>		-14.80	-16.73
<i>Curvatura</i>	[°/km]	-0.0771	-21.16
<i>Bajada</i>	[m/km]	0.1836	8.20
β_{CD}		-11.70	-7.20
β_{CS}		-65.23	-15.06
N		1.000	-
R^2 ajustado		0.650	-

Fuente: LEN (1998)

4.4. Modelo SECTRA

De los estudios complementarios de ESTRASUR, encargados por SECTRA para la modelación estratégica de la Macrozona Sur, resulta interesante analizar el estudio de costos de transporte caminero. En dicho estudio (AG, 1999) se realizó interesantes aportes para la modelación de costos de operación y análisis de curvas flujo - velocidad. En ese contexto, se realizó acciones tendientes a recalibrar el modelo COPER y, adicionalmente, a determinar curvas flujo - velocidad en calzadas simples sobre la base de simulaciones del modelo TRARR. En el caso particular de calzadas dobles, las funciones se generaron a partir de recomendaciones del Highway Capacity Manual (HCM).

Las funciones flujo - velocidad se desarrollaron sobre la base de una categorización de los caminos de acuerdo a sus características geométricas medias (curvatura horizontal y pendiente), abarcando todas las posibles combinaciones que pueden presentarse en los caminos chilenos. Con esto, se obtuvo un grupo de funciones para cada categoría de camino (una por cada tipo de vehículo) independizándose de las variables geométricas dentro de la formulación. Los rangos geométricos considerados, a partir de los cuales se generaron doce categorías de caminos en calzada simple y seis en calzada doble, se presentan en la Tabla N°4.

Tabla N°4. FUNCIONES FLUJO – VELOCIDAD ESTRASUR

Categoría	Tipo de Calzada	Curvatura Media (°/km)			Pendiente Media (%)		
		Calificativo	Rango	Valor Adoptado	Calificativo	Rango	Valor Adoptado
1	Simple	C	0 – 30	20	B	0 – 2	1
2	Simple	B	30 – 70	50	B	0 – 2	1
3	Simple	M	70 – 120	90	B	0 – 2	1
4	Simple	A	Más de 120	150	B	0 – 2	1
5	Simple	C	0 – 30	20	M	2 – 3	2,5
6	Simple	B	30 – 70	50	M	2 – 3	2,5
7	Simple	M	70 – 120	90	M	2 – 3	2,5
8	Simple	A	Más de 120	150	M	2 – 3	2,5
9	Simple	C	0 – 30	20	A	Más de 3	4
10	Simple	B	30 – 70	50	A	Más de 3	4
11	Simple	M	70 – 120	90	A	Más de 3	4
12	Simple	A	Más de 120	150	A	Más de 3	4
13	Doble	C	0 – 30	20	B	0 – 2	1
14	Doble	B	30 – 70	50	B	0 – 2	1
15	Doble	M	70 – 120	90	B	0 – 2	1
16	Doble	C	0 – 30	20	M	2 – 3	2,5
17	Doble	B	30 – 70	50	M	2 – 3	2,5
18	Doble	M	70 – 120	90	M	2 – 3	2,5

Fuente: A.G. (1999)

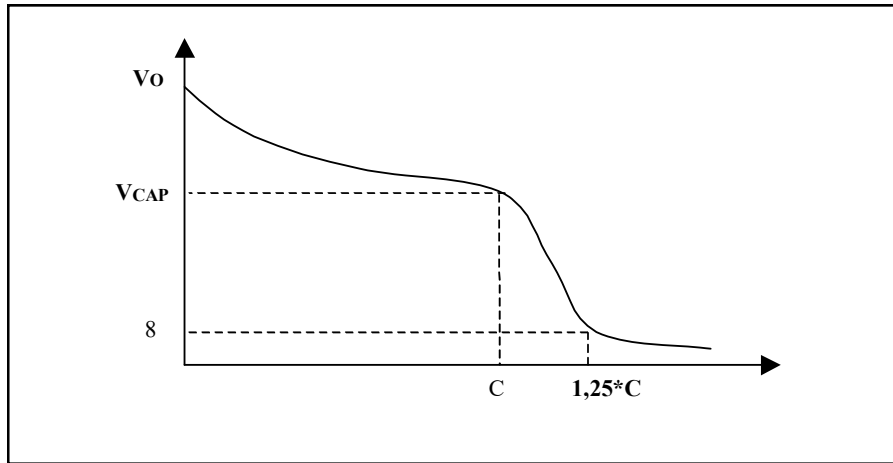
Las categorías de vehículos consideradas fueron las siguientes:

- Vehículos Livianos
- Camiones Simples
- Camiones Articulados
- Buses

Con el fin de determinar una función que fuese válida para cualquier rango de flujo, se estimó el comportamiento que tendría la velocidad frente a una demanda vehicular mayor a la capacidad. Esto debido a que el modelo TRARR no entregaba resultados para este rango, y, además, era una situación muy difícil de observar y medir en la realidad. Claramente, cuando la demanda supera la capacidad de un camino, lo esperable es que las velocidades se reduzcan fuertemente y que en un momento determinado se produzca un colapso en la circulación, con altos grados de congestión y formación de grandes colas de vehículos. Si bien esta situación es observable, el problema es que es muy difícil identificar en qué nivel de demanda se produce. Con relación a este tema, el modelo HDM-III desarrollado por el Banco Mundial, posee un sub modelo de congestión, en el cual se propone un criterio para el tratamiento de este tema. Básicamente, este criterio indica que cuando la demanda ha superado en un 25% la capacidad del camino, las condiciones de operación son del tipo start - stop, es decir, gran inestabilidad que provoca desplazamientos lentos seguidos de detenciones al interior de una gran cola de vehículos y que se estima equivale a una velocidad media de 8 km/h. Este criterio no sólo fue utilizado en ESTRASUR, sino además ha sido usado frecuentemente en otros trabajos de estimación de relaciones flujo – velocidad; sin perjuicio de lo anterior, es claro que corresponde a un supuesto difícil de probar en la realidad.

De esta manera, a las curvas estimadas se le agregó, a partir de la capacidad, un punto de inflexión a partir del cual la velocidad desciende rápidamente, tomando un valor de 8 km/h cuando la demanda es igual a 1,25 la capacidad. Esquemáticamente, la curva toma la forma que se presenta en la Figura N°4.

Figura N°4 **FORMA FUNCIONAL CURVA FLUJO – VELOCIDAD**



Fuente: A.G. (1999)

4.4.1. Vehículos Livianos en Calzada Simple

A partir del análisis de las bases de datos generadas con los modelos, y de las formas funcionales de los puntos de observación, A.G. (1999) llegó a la conclusión que el fenómeno queda bien representado por una función que mezcla el efecto aditivo de una exponencial decreciente con curvas de tipo logística, obteniéndose la Ecuación 6.

Ecuación 6

$$V_1 = a e^{-b q_1} + \beta_1 \left(1 - \frac{1}{1 + e^{\frac{\mu_1 - q_1}{\sigma_1}}} \right) + \beta_2 \left(1 - \frac{1}{1 + e^{-\frac{q_2}{\sigma_2}}} \right)$$

Donde:

V_1 : Velocidad de vehículos livianos, en km/h, en la dirección 1.

q_1, q_2 : Flujo en vehículos equivalentes por hora en el mismo sentido y en el sentido contrario, respectivamente.

$a, b, \beta_1, \beta_2, \mu_1, \sigma_1, \sigma_2$: Parámetros de la función.

En este caso, el valor de μ_1 representa el nivel del flujo en la dirección 1 (para cualquier partición por sentido), en que la velocidad tiene su mayor decrecimiento. El valor de σ_1 , está asociado al rango de flujo en que se produce el mayor decrecimiento de la velocidad. El valor de μ_2 representa el flujo exacto en que el efecto marginal del flujo en el sentido opuesto es máximo; y el valor de σ_2 es positivo y está asociado al rango del flujo entre 0 y el valor en que el efecto marginal es despreciable.

Como se puede apreciar, los flujos por sentido en la función definida, deben ser expresados en vehículos equivalentes; para lo cual se determinaron los factores de equivalencia asociados a cada camino tipo. Para estimar estos factores, se optó por utilizar un método heurístico consistente en realizar calibraciones sucesivas de la función con distintos valores de los factores, optando por aquellos que generaran el mejor ajuste de la función en cada caso.

En la Tabla N°5 se presentan los valores de los coeficientes de la función para cada tipo de camino, junto con los valores de los factores de equivalencia estimados y los indicadores de ajuste del modelo, representados por el coeficiente de correlación R^2 y el error cuadrático medio de la estimación.

Tabla N°5. PARÁMETROS FUNCIÓN FLUJO – VELOCIDAD, VEH. LIVIANOS, CALZADA SIMPLE

Coefficientes	Cam. 1	Cam. 2	Cam. 3	Cam. 4	Cam. 5	Cam. 6
<i>a</i>	33,90	29,97	24,14	21,04	36,61	31,70
<i>b</i>	0,00072	0,00097	0,00210	0,00200	0,00078	0,00099
β_1	49,69	47,86	42,78	37,28	48,68	46,91
μ_1	1969,7	1859,1	1818,4	1637,3	1969,6	1847,4
σ_1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
β_2	15,76	10,97	17,10	16,80	11,42	13,67
μ_2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
σ_2	290,1	163,5	2013,1	1644,9	188,2	73,0
Factores de Equivalencia						
<i>Fca</i>	2,5	2,95	4,05	5	2,5	2,95
<i>Fcs</i>	1,7	1,85	2,55	3,5	1,7	1,85
<i>Fb</i>	1,6	1,7	2,4	3,4	1,6	1,7
Estadísticas						
<i>F.O.</i>	951,1	1488,5	1386,8	1077,2	1222,4	1768,4
<i>E.M</i>	1,64	2,04	1,97	1,75	1,86	2,22
<i>R²</i>	0,99	0,99	0,98	0,98	0,99	0,98
N° de Datos	353	358	356	352	352	358
Coefficientes	Cam. 7	Cam. 8	Cam. 9	Cam. 10	Cam. 11	Cam. 12
<i>a</i>	25,03	21,28	35,85	31,18	26,92	21,83
<i>b</i>	0,00210	0,00213	0,00100	0,00169	0,00210	0,00193
β_1	42,50	37,24	43,18	43,52	40,12	35,72
μ_1	1818,1	1624,9	1970,3	1808,7	1809,2	1626,7
σ_1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
β_2	15,25	15,90	21,16	16,25	16,74	16,96
μ_2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
σ_2	2529,8	1660,5	615,6	1571,0	1593,7	1268,2
Factores de Equivalencia						
<i>Fca</i>	4,05	5	2,5	3	4,05	5,1
<i>Fcs</i>	2,55	3,5	1,7	1,85	2,55	3,5
<i>Fb</i>	2,4	3,4	1,6	1,7	2,4	3,4
Estadísticas						
<i>F.O.</i>	1589,8	1315,5	2637,8	2298,0	1857,8	1629,6
<i>E.M</i>	2,11	1,93	2,74	2,54	2,28	2,15
<i>R²</i>	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
N° de Datos	356	352	352	356	356	352

Fuente: A.G. (1999)

Donde,

F_{ca} : Factor de equivalencia de camiones articulados.

F_{cs} : Factor de equivalencia de camiones simples.

F_b : Factor de equivalencia de buses.

$F.O.$: Valor que toma la función objetivo minimizada.

$E.M.$: Valor absoluto del error medio de la estimación en cada punto.

R^2 : Coeficiente de Correlación.

4.4.2. Vehículos Pesados en Calzada Simple

Las funciones de velocidad para vehículos pesados (buses, camiones simples y articulados) tuvieron un tratamiento distinto al considerado para vehículos livianos. La metodología utilizada en este caso, fue definir y calibrar una relación en función de la velocidad de vehículos livianos, es decir, en función del modelo de velocidades para dichos vehículos.

La formulación definida para el modelo de vehículos pesados fue la siguiente:

Ecuación 7

$$V_{vpi} = a_i \left(1 - \frac{1}{e^{b_i V_{vl}}} \right) + c_i \left(1 - \frac{1}{1 + e^{\frac{\mu_i - V_{vl}}{\sigma_i}}} \right) + \gamma_i$$

Donde:

V_{vpi} : es la velocidad media de operación del vehículo pesado i

V_{vl} : es la velocidad de vehículos livianos (modelo de velocidad)

a_i , b_i , c_i , μ_i , σ_i y γ_i : son los parámetros de la función para el vehículo pesado i .

Los parámetros de las funciones correspondientes se presentan desde la Tabla N°6 a la Tabla N°8.

Tabla N° 6. PARÁMETROS FUNCIÓN FLUJO – VELOCIDAD, CAM. SIMPLES, CALZADA SIMPLE

Coefficientes	Cam. 1	Cam. 2	Cam. 3	Cam. 4	Cam. 5	Cam. 6
<i>a</i>	84,92	95,30	101,15	93,85	75,65	84,10
<i>b</i>	0,01320	0,01160	0,01118	0,01232	0,01470	0,01321
<i>c</i>	-18,45	-13,09	-8,39	-5,66	-22,16	-15,66
μ	51,30	46,54	45,07	42,40	51,15	46,96
σ	9,33	7,68	5,28	3,14	10,33	8,45
γ	18,37	13,06	8,39	5,66	22,00	15,60
Estadísticas						
<i>F.O.</i>	1422,5	1133,6	1117,8	1274,8	1287,5	1034,0
<i>E.M.</i>	2,02	1,78	1,77	1,90	1,92	1,70
<i>R²</i>	0,98	0,98	0,98	0,97	0,98	0,98
Coefficientes	Cam. 7	Cam. 8	Cam. 9	Cam. 10	Cam. 11	Cam. 12
<i>a</i>	91,84	89,45	72,18	77,31	85,64	94,93
<i>b</i>	0,01242	0,01304	0,01347	0,01437	0,01320	0,01197
<i>c</i>	-9,86	-6,04	-26,86	-16,24	-10,13	-5,19
μ	44,93	42,23	45,40	46,35	43,15	40,21
σ	5,67	3,02	15,48	9,12	6,45	3,63
γ	9,86	6,04	25,50	16,14	10,11	5,19
Estadísticas						
<i>F.O.</i>	1064,7	1208,1	1640,5	1145,7	1480,7	1376,0
<i>E.M.</i>	1,73	1,85	2,17	1,79	2,04	1,98
<i>R²</i>	0,98	0,97	0,98	0,98	0,97	0,97

Fuente: A.G. (1999)

Tabla N°7. PARÁMETROS FUNCIÓN FLUJO – VEL, CAM. ARTICULADOS, CALZADA SIMPLE

Coefficientes	Cam. 1	Cam. 2	Cam. 3	Cam. 4	Cam. 5	Cam. 6
<i>a</i>	64,79	59,04	48,36	41,91	59,13	56,61
<i>b</i>	0,01764	0,01957	0,02375	0,02697	0,01931	0,02042
<i>c</i>	-18,05	-15,09	-13,96	-12,28	-20,27	-15,53
μ	42,33	37,82	32,36	27,72	42,86	37,54
σ	6,35	4,71	3,85	3,44	7,41	5,04
γ	18,03	15,08	13,96	12,28	20,20	15,52
Estadísticas						
<i>F.O.</i>	1235,9	1065,7	920,2	863,7	1129,1	955,5
<i>E.M.</i>	1,88	1,74	1,62	1,58	1,80	1,64
<i>R²</i>	0,98	0,98	0,97	0,96	0,98	0,98
Coefficientes	Cam. 7	Cam. 8	Cam. 9	Cam. 10	Cam. 11	Cam. 12
<i>a</i>	47,09	41,23	54,77	51,55	41,34	38,25
<i>b</i>	0,02459	0,02737	0,02073	0,02191	0,02772	0,02911
<i>c</i>	-14,13	-12,21	-15,48	-14,32	-14,03	-12,06
μ	32,35	27,33	36,08	33,33	29,57	25,70
σ	3,91	3,36	5,08	4,39	3,54	3,31
γ	14,13	12,21	15,47	14,31	14,03	12,06
Estadísticas						
<i>F.O.</i>	786,3	755,1	2204,5	959,0	800,9	703,7
<i>E.M.</i>	1,49	1,47	2,50	1,65	1,51	1,42
<i>R²</i>	0,97	0,96	0,95	0,97	0,97	0,96

Fuente: A.G. (1999)

Tabla N° 8. PARÁMETROS FUNCIÓN FLUJO – VELOCIDAD, BUSES, CALZADA SIMPLE

Coefficientes	Cam. 1	Cam. 2	Cam. 3	Cam. 4	Cam. 5	Cam. 6
<i>a</i>	389,26	313,76	286,38	251,34	408,11	314,15
<i>b</i>	0,00257	0,00214	0,00199	0,00165	0,00247	0,00199
<i>c</i>	-4,07	-30,18	-32,20	-39,32	-3,40	-33,78
μ	37,97	33,17	26,72	26,16	39,11	33,66
σ	5,65	15,83	13,32	13,44	4,91	15,97
γ	4,06	26,87	28,39	34,41	3,39	30,12
Estadísticas						
<i>F.O.</i>	1284,7	1084,9	1045,4	1058,3	1280,2	1137,2
<i>E.M.</i>	1,93	1,74	1,73	1,74	1,93	1,78
<i>R²</i>	0,99	0,99	0,98	0,97	0,99	0,99
Coefficientes	Cam. 7	Cam. 8	Cam. 9	Cam. 10	Cam. 11	Cam. 12
<i>a</i>	284,99	253,02	513,79	314,24	290,40	253,07
<i>b</i>	0,00189	0,00183	0,00184	0,00197	0,00196	0,00189
<i>c</i>	-34,55	-34,35	-4,07	-33,96	-31,39	-34,28
μ	27,06	22,47	25,70	33,36	26,86	22,08
σ	13,42	11,81	5,42	16,66	13,55	12,90
γ	30,49	29,89	4,03	29,92	27,59	29,04
Estadísticas						
<i>F.O.</i>	1119,1	990,4	1727,8	1578,7	1479,4	1132,4
<i>E.M.</i>	1,78	1,68	2,24	2,11	2,05	1,80
<i>R²</i>	0,98	0,97	0,98	0,98	0,97	0,97

Fuente: A.G. (1999)

4.4.3. Caminos en Doble Calzada

En el caso de los caminos en calzada doble, el proyecto desarrollado para ESTRASUR consideraba inicialmente la obtención de datos a través del uso del modelo TRARR. Sin embargo, análisis realizados en el marco de dicho estudio mostraron que este modelo no era capaz de simular adecuadamente la operación en doble calzada, no disponiendo de otro modelo de simulación capaz de hacerlo. Por esta razón, éstas fueron generadas a partir de supuestos apoyados por criterios y valores contenidos en el Highway Capacity Manual (1992), y ajustadas a la realidad nacional. A pesar de tratarse de un enfoque bastante simplificado, es importante hacer notar que la relación de flujo - velocidad en caminos de calzada doble, es más simple que en el caso de calzadas bidireccionales, por cuanto desaparecen una serie de conflictos al no intervenir el flujo opositor y no existir restricciones de adelantamiento.

Además de los datos de calibración, en el estudio en referencia se agregó un punto adicional que corresponde a la condición start - stop, es decir, una velocidad de 8 km/h. En este caso, esta condición se ha asociado a un valor de la demanda igual a 1,3 veces la capacidad, a diferencia del valor 1,25 utilizado en calzadas simples. Esto, debido al supuesto que el colapso en la circulación, en este caso, debiera ser más paulatino que en el caso de calzada simple.

Posteriormente, el estudio en referencia transformó las velocidades resultantes en tiempo de viaje (seg/km), calibrando la relación flujo – demora que se observa en la Ecuación 8.

Ecuación 8

$$T_i = a \cdot e^{b \cdot q_i} + \alpha + \mu \cdot q_i$$

Donde,

T_i : Tiempo de viaje en la dirección i (seg / km);

q_i : Flujo vehicular en el dirección i (veq / h);

a, b, α, μ : Parámetros de la función, según categoría de vehículo y tipo de camino.

En la Tabla N°9 se presentan los valores de los coeficientes de la función para cada tipo de camino.

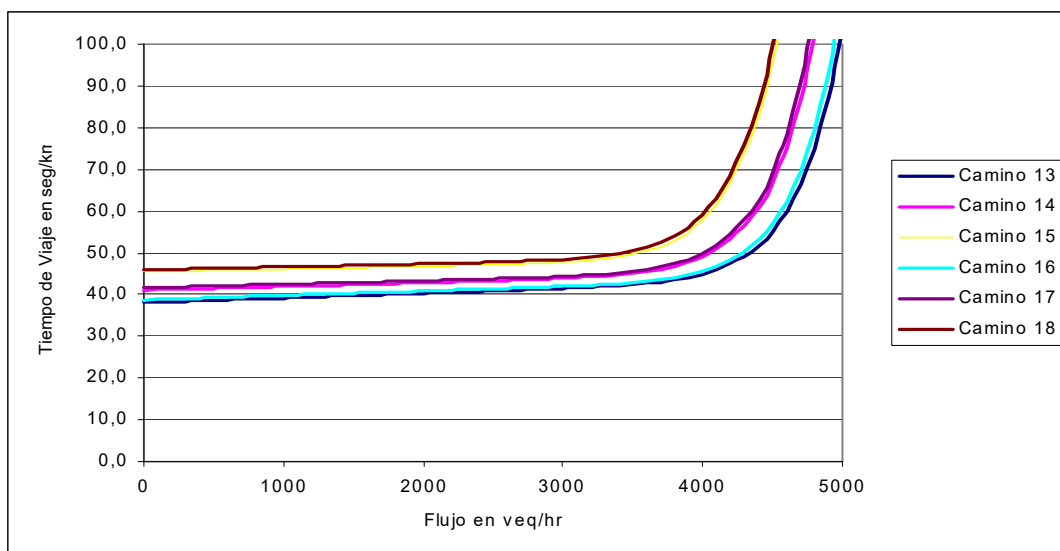
Tabla N°9. Parámetros Función Flujo – Demora

Vehículos Livianos						
Coeficientes	Cam. 13	Cam. 14	Cam. 15	Cam. 16	Cam. 17	Cam. 18
<i>a</i>	7,3855E-06	1,3304E-05	2,8712E-05	8,4556E-06	1,4721E-05	2,8783E-05
<i>b</i>	0,003182	0,003183	0,003187	0,003182	0,003183	0,0032
α	38	41,4	46,3	38,3	41,3	46
μ	0,001091	0,000603	0,000051	0,001002	0,000771	0,000371
Camiones Simples						
Coeficientes	Cam. 13	Cam. 14	Cam. 15	Cam. 16	Cam. 17	Cam. 18
<i>a</i>	4,811E-06	6,852E-06	0,00001319	2,981E-06	4,414E-06	0,00001011
<i>b</i>	0,003259	0,003304	0,003335	0,003369	0,003405	0,003401
α	44,8	47,2	51,1	45,6	48	51,8
μ	4,811E-06	6,852E-06	0,00001319	2,981E-06	4,414E-06	0,00001011
Camiones Articulados						
Coeficientes	Cam. 13	Cam. 14	Cam. 15	Cam. 16	Cam. 17	Cam. 18
<i>a</i>	2,622E-07	4,568E-09	5,146E-12	3,266E-09	3,226E-14	1,226E-15
<i>b</i>	0,003777	0,004652	0,006189	0,004596	0,006883	0,007838
α	47,8	52,6	59,1	49,9	54,5	60,7
μ	2,622E-07	4,568E-09	5,146E-12	3,266E-09	3,226E-14	1,226E-15
Buses						
Coeficientes	Cam. 13	Cam. 14	Cam. 15	Cam. 16	Cam. 17	Cam. 18
<i>a</i>	7,1357E-06	1,3219E-05	0,00002637	8,0027E-06	1,2901E-05	2,4998E-05
<i>b</i>	0,003189	0,003183	0,003202	0,003193	0,003207	0,003226
α	40,1	43,6	49,1	40,5	44	49,4
μ	0,000658	0,000366	0,000186	0,000453	0,000261	0,000108

Fuente: A.G. (1999)

En la Figura N°5 se presentan trazadas las curvas de vehículos livianos para los 6 caminos tipo de doble calzada.

Figura N°5 **Curvas Flujo – Demora, Vehículos Livianos**



Fuente: A.G. (1999)

4.4.4. Modelo Daganzo (1975)

Las especificaciones antes descritas son el resultado de la calibración de relaciones funcionales entre la velocidad, el flujo y las características de los arcos. Sin embargo, no presentan una base teórica sólida que las sustente.

En busca de una especificación que refleje el comportamiento de los viajeros al determinar la velocidad deseada para viajar, se estudió una serie de formulaciones teóricas para la determinación de relaciones flujo - velocidad, entre las que destaca la formulada por Daganzo en el año 1975, en su artículo "Probabilistic Structure of Two-Lane Road Traffic".

La formulación de Daganzo se basa en el supuesto de la existencia de vehículos lentos que viajan a su velocidad deseada y limitan la circulación de vehículos rápidos que viajan a una velocidad mayor. Para que los vehículos rápidos puedan mantener una velocidad elevada necesitan adelantar a los vehículos lentos, tomando en cuenta el flujo de vehículos que circulan en sentido contrario. De esta forma un vehículo adelanta a otro en el momento en que lo alcanza, y dispone de una brecha suficiente como para adelantar en forma segura a los vehículos lentos.

Tal como se puede apreciar, esta expresión presenta la ventaja de incorporar los efectos sobre la velocidad (y el tiempo de viaje) del flujo en sentido contrario, mediante una sólida base teórica.

La formulación de Daganzo se puede representar por las funciones indicadas en la Ecuación 9.

Ecuación 9

$$V = \frac{v}{1 - \frac{q_{ff}}{q_f} \left(\frac{V - v}{V} \right)}$$

$$q_{ff} = \frac{1 + Aq - \sqrt{(1 + Aq)^2 - 4Aq_f}}{2A}$$

$$A = \frac{V - v}{V\mu}$$

$$\mu = 637 \cdot \exp\left(\frac{-q}{153}\right)$$

Donde:

- v : Velocidad de vehículos lentos;
- V : Velocidad de vehículos rápidos;
- q : Flujo total en un sentido;
- q_f : Flujo de vehículos rápidos;
- q_{ff} : Flujo de vehículos en condiciones de flujo libre;
- μ : Demora en el adelantamiento.

4.4.5. Modelo CITRA (2001)

Sobre la base de los resultados obtenidos en la validación de los tres modelos anteriores para calzada simple (LEN, SECTRA y Daganzo), CITRA (2001), en el marco del Estudio de Ingeniería de Tránsito de la Ruta 60 CH, concluyó que todos poseían un nivel de varianza similar, lo que no permitía detectar ventajas significativas de uno sobre otro. Sin embargo, sobre la base de la solidez teórica de la formulación de Daganzo, se seleccionó preliminarmente esa alternativa para calzada simple. Posteriormente éste fue desechado, utilizando su propio modelo, el cual se presenta en la Ecuación 10.

Con respecto a las curvas flujo – velocidad en calzada doble, CITRA (2001) calibró una función similar a la empleada por LEN (1998). En efecto, se adicionó una componente de potencia que toma valores significativos sólo para flujos cercanos y sobre la capacidad, a fin de generar el descenso brusco de la curva una vez superada la capacidad. Se consideraron diversas especificaciones para la curva flujo - velocidad, diferenciando entre tipo de calzada, tipo de vehículo y el flujo en sentido contrario.

Ecuación 10

$$V_i = \sum_j V_{oj} \cdot \delta_i^j + \alpha_1 \cdot Inter + \alpha_2 \cdot Noad + \alpha_3 \cdot Curv + \alpha_4 \cdot pdte + \delta_{cs} \cdot \left(a_{cs} \cdot \left(\frac{q_{cs}}{Q_{cs}} \right)^{n_{cs}} + a_{qc} \cdot \left(\frac{q_c}{Q_c} \right)^{n_{qc}} \right) + \delta_{cd} \cdot a_{cd} \cdot \left(\frac{q_{cd}}{Q_{cd}} \right)^{n_{cd}}$$

Donde:

V_i	:	Velocidad del vehículo tipo i;
V_{oj}	:	Velocidad en flujo libre del vehículo tipo i;
$Inter$:	Grado de interferencia con zonas urbanas (valor entre 0 y 1);
$Noad$:	Porcentaje del tramo con prohibición de adelantar;
$Curv$:	Curvatura del tramo (°);
$Pdte$:	Pendiente, expresada en tanto por uno;
q_{cs}	:	Flujo vehicular en calzada simple;
Q_{cs}	:	Capacidad del arco de calzada simple;
q_{cd}	:	Flujo vehicular en calzada doble;

- Q_{CD} : Capacidad del arco de calzada doble;
- q_c : Flujo vehicular en sentido contrario;
- Q_c : Capacidad de la vía en sentido contrario;
- δ_{CS}, δ_{CD} : Variables mudas que indican si el tramo bajo análisis es de calzada simple o doble;
- $a_1, a_2, a_3, a_4, a_{CS}$,
- $a_{QC}, a_{CD}, n_{CS}, n_{QC}, n_{CD}$: Parámetros a estimar.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla N° 10.

Tabla N° 10. Relación Flujo – Velocidad

Parámetro	Coeficiente	T-Estadístico
V_{ovL}	100,86	341,3
V_{ocS}	91,69	156,9
V_{ovP}	90,81	175,1
V_{oLC}	97,19	225,7
<i>Inter</i>	-12,73	-53,2
<i>Noad</i>	-9,79	-14,5
<i>Curv</i>	-0,0682	-42,8
<i>Pdte</i>	-0,5832	-5,6
a_{CS}	-15,74	-14,3
n_{CS}	2,00	9,3
a_{QC}	-45,80	-13,3
n_{QC}	1,11	10,5
a_{CD}	-45,22	-15,7
n_{CD}	4,00	-
R^2	0,639	
R^2 Ajustado	0,639	

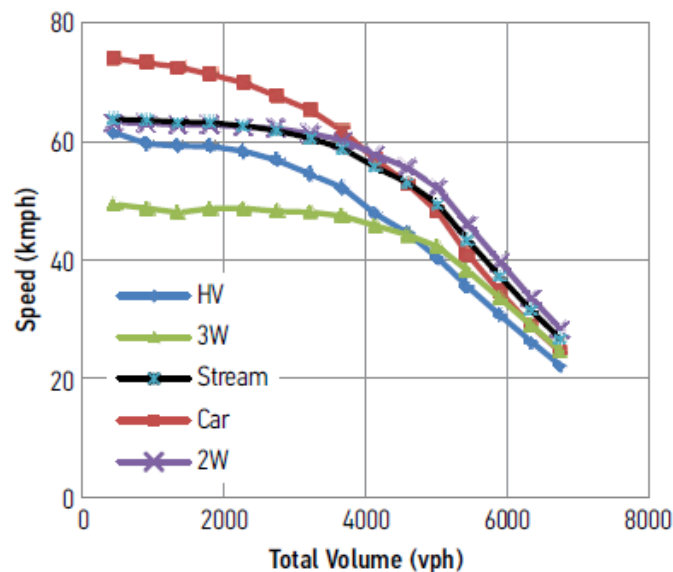
Fuente: CITRA (2001)

4.5. Modelo de Thomas et al (2012)

Thomas et al (2012) desarrolló modelos flujo - velocidad para distintos tipos de vehículos en carreteras de tráfico heterogéneo en la ciudad de Chennai (India), recurriendo para ello a microsimulación. El autor señala que probó distintas formas funcionales, obteniendo bondades de ajuste razonables para los modelos lineales. Si bien los modelos no lineales alcanzaron mejores bondades de ajuste, en la práctica las mejoras fueron marginales. Se eligieron los modelos lineales debido a su adecuada bondad de ajuste, simplicidad e interpretación más intuitiva.

En las curvas flujo – velocidad, cuando el flujo está bajo, la pendiente también es baja; sin embargo ésta progresivamente se incrementa con dicha variable, tal como se aprecia en la Figura N°6.

Figura N°6 **Relación Flujo – Velocidad según Clase de Usuario**



Fuente: Thomas et al (2012)

Se consideraron distintos modelos para niveles de flujo bajo, medio y alto. En efecto, cuando el flujo es bajo la dispersión de velocidad, considerando las distintas composiciones, también es baja. Sin embargo, cuando el volumen se incrementa la dispersión de velocidad aumenta, jugando un rol más relevante la composición de flujo y las interacciones.



Gobierno de Chile
Ministerio de Obras Públicas / Ministerio de Desarrollo Social
Consultores en Infraestructura, Gestión y Territorio Limitada



Para flujos pequeños, la relación flujo – velocidad determinó la Ecuación 11.

Ecuación 11

$$V_i = \alpha_i + \beta_i \cdot Volumen + \varepsilon_i$$

Donde V_i es el flujo promedio para el vehículo de tipo i (vehículos pesados, automóviles, carruajes y motos), $volumen$ es el flujo total de vehículos (vehículos por hora), y ε_i el término de error.

Para flujos medios y grandes, la relación flujo – velocidad fue definida a partir de la Ecuación 12.

Ecuación 12

$$V_i = \alpha_i + \beta_{1i} \cdot HV + \beta_{2i} \cdot Car + \beta_{3i} \cdot Auto + \beta_{4i} \cdot TW + \varepsilon_i$$

Donde HV es el flujo de vehículos pesados (vehículos por hora), Car es el flujo de automóviles, $Auto$ es el flujo de carruajes (arrastrado por una persona), TW es el flujo de motos, y β_{1i} , β_{2i} , β_{3i} , β_{4i} la pendiente de vehículos pesados, automóviles, carruajes y motos, respectivamente, para el tipo de vehículo i . Los resultados de la calibración se pueden apreciar en la Tabla N°11.

Tabla N°11. Relaciones Flujo – Velocidad para Distintas Clases de Vehículos

Average speed of the class (kmph)	Volume level	Coefficient						Goodness-of-fit (R^2)
		Intercept	HV volume (β_{1i})	Car volume (β_{2i})	Auto volume (β_{3i})	Two-wheeler volume (β_{4i})	Total volume (b)	
Two-wheeler	low	64.24	-	-	-	-	-0.001	0.77
	medium	105.7	-0.035	-0.015	-0.016	-0.007		0.95
	high	109.3	-0.037	-0.016	-0.017	-0.007		0.89
Car	low	77.3	-	-	-	-	-0.004	0.88
	medium	116.2	-0.04	-0.0174	-0.022	-0.009		0.97
	high	96.61	-0.033	-0.014	-0.016	-0.006		0.81
Auto	low	49.7	-	-	-	-	-0.0007	0.75
	medium	77.74	-0.023	-0.0103	-0.01	-0.004		0.94
	high	90.9	-0.03	-0.013	-0.014	-0.006		0.89
Heavy vehicle	low	64.5	-	-	-	-	-0.0033	0.89
	medium	93.63	-0.03	-0.014	-0.016	-0.007		0.97
	high	77.76	-0.026	-0.011	-0.012	-0.005		0.77
Stream	low	65.9	-	-	-	-	-0.0018	0.76
	medium	107.9	-0.037	-0.017	-0.019	-0.007		0.97
	high	96.33	-0.033	-0.014	-0.015	-0.006		0.78

Fuente: Thomas et al (2012)

La validación de los modelos fue realizada a partir de datos observados a partir de videos, donde se recogió velocidad, flujo y composición, los cuales no se utilizaron en la calibración. Los resultados se muestran en la Tabla N° 12.

Tabla N° 12. Validación de los Modelos Propuestos

Class of vehicle	Heavy vehicles			Car			Motorized three wheeler			Motorized two wheeler		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Location No.												
Observed speed (kmph)	47.8	20.5	48.8	59.4	22.0	56.8	42.6	22.2	44.8	51.4	25.5	55.6
Estimated speed (kmph)	51.8	20.0	44.2	62.5	22.2	52.6	47.1	22.5	44.1	60.3	25.9	55.2

Fuente: Thomas et al (2012)

5. METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta la metodología seleccionada para el desarrollo del presente estudio, considerando los ajustes producto de la revisión bibliográfica y la reunión con la contraparte técnica realizada con fecha 23 de Octubre de 2012; esto, de acuerdo a los objetivos y los productos esperados.

Como primer elemento de la metodología, se definió las fuentes primarias y secundarias para la información relevante en la construcción de relaciones flujo – velocidad, tanto para vialidad urbana como interurbana.

La información primaria proviene del levantamiento de información en terreno que ejecutó el consultor, y que se reporta en el capítulo 7. Con relación a las fuentes secundarias, éstas provienen de la información facilitada por el mandante a partir de sistemas de gestión y control de información, principalmente las generadas por las rutas concesionadas urbanas, las cuales entregan series de datos de flujo y velocidad, desagregada por tipo de vehículo.

Una vez procesada y validada la información de ambas fuentes, se procede a relacionar todas las variables, de acuerdo a las funciones definidas en las distintas revisiones bibliográficas (funciones BPR, Daganzo, HCM, etc.) para lograr determinar una relación funcional propuesta que sea robusta en términos de modelación. Dado que con los datos recogidos a través de las fuentes primarias y secundarias posiblemente no será factible obtener la variación de velocidad en todo el rango de la curva (especialmente en el tramo congestionado), se recurrirá a microsimulación para complementar el análisis. En la práctica es frecuente utilizar este tipo de modelos en la estimación de relaciones flujo – velocidad, tal como se señala en Thomas et al (2002).

Es importante mencionar, que respecto a la construcción de curvas flujo - costo, se realizará un análisis de los estudios actuales para entregar recomendaciones respecto a la utilización de curvas costo por consumo de combustible - velocidad. En ese aspecto, se considerará como referencia lo presentado en el HDM – Simplificado; de manera que se incorporen relaciones de costos generalizados de viaje (CGV) y velocidad, para el grupo de vehículos representativo del parque automotor actual, permitiendo establecer las correspondientes curvas de CGV – velocidad.

Para el caso interurbano, se utilizará la información de fuentes secundarias complementada con las primarias, mientras que para las rutas urbanas se considerarán exclusivamente fuentes secundarias.



Finalmente, se propondrá un mecanismo de actualización de la información que se incorpore al análisis, de manera de tener una retroalimentación del modelo de construcción de las curvas flujo – velocidad y flujo – costo, para su uso en los próximos años.

6. ANÁLISIS DE LAS FORMAS FUNCIONALES DE LAS CURVAS

Las principales formas funcionales de las curvas, fueron expuestas en el capítulo de revisión bibliográfica. Estas se pueden clasificar en tres grandes tipos: teóricas, empíricas y probabilísticas.

Las curvas teóricas corresponden a las presentadas en la introducción de dicho capítulo, es decir:

- Greenshields.
- Greenberg.
- Underwood.
- Drake.

Dentro de los modelos probabilísticos es posible encontrar los trabajos de Daganzo (1975, 2002, 2004), Laval (2005, 2006, 2009), Newell (1998) y Weng y Meng (2007), entre otros. En general se ha observado que estos modelos tienen un menor número de aplicaciones prácticas, en comparación con modelos empíricos, lo que obedece en gran medida a la complejidad matemática de muchas de esas expresiones y a la gran cantidad de parámetros que es necesario estimar.

Finalmente, están los modelos empíricos, los cuales fueron tratados en detalle en el capítulo 4. Estos corresponden a:

- BPR (1964).
- LEN (1998).
- SECTRA (1999).
- CITRA (2001).
- Thomas et al (2012).

Sobre la base de estas formas funcionales se construyen curvas considerando los siguientes elementos:

- Pendiente.
- Curvatura.
- Fricción lateral.
- Porcentaje de tramos de no adelantamiento.

Adicionalmente, se considera las categorías globales, esto es:

- Tipo de vehículo (livianos, C2E, C+2E, Buses)
- Tipos de calzada (doble, simple, terceras pistas).

7. PROPUESTA DE MÉTODO DE MEDICIÓN DE BONDAD DE AJUSTE.

Se realizaron mediciones de flujo y velocidad, para validar los parámetros de las curvas estimadas, utilizando un dispositivo GPS el que, mediante un software ad hoc, entrega las variables espaciales que permiten determinar tiempos de viaje, distancias y velocidades, considerando el método del vehículo flotante. Estas mediciones de flujo vehicular y velocidad, se realizaron el miércoles 31 de octubre de 2012, fecha consensuada con la contraparte técnica, ya que permitía capturar datos en un escenario de aumento significativo en el flujo vehicular producto del fin de semana largo correspondiente a dicha fecha.

En primer lugar, se realizó una definición de la tipología vehicular de relevancia en el análisis, como también de las vías que serían analizadas, logrando consenso con la contraparte técnica en los tramos presentados en la Tabla N°13.

Tabla N° 13. Tramos de Vías Interurbanas de Análisis

Tramo	Ruta	Sector	Desde	Hasta
1	5 Norte	Cuesta Las Chilcas	Rungue	Llailay
2	5 Norte	Cuesta El Melón	El Melón	El Blanquillo
3	G-132 / G-16 / G-10-F / F-10-G / F-10-G	Cuesta La Dormida	Quilapilún	Quebrada Alvarado

Fuente: Elaboración Propia

Los tipos de vehículos que fueron definidos para diferenciar la operación en términos de velocidad de cada uno son los siguientes:

- Automóvil particular
- Bus o Taxibus Interurbano
- Camión Simple de 2 ejes
- Camión Pesado de más de 2 ejes

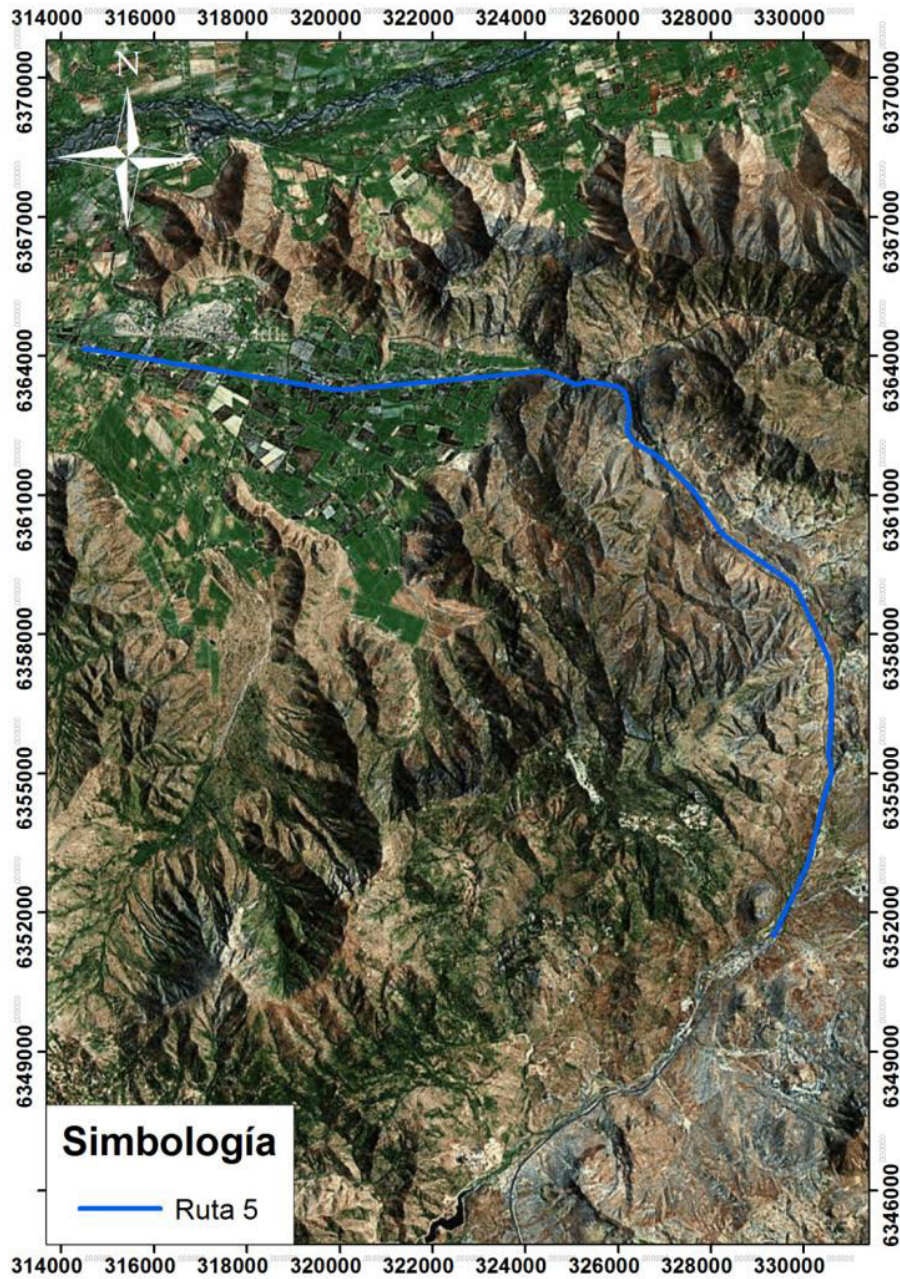
En las Figura N°7 a la Figura N°9, se ilustra gráficamente las rutas que fueron recorridas en el levantamiento de información con GPS en terreno.



Gobierno de Chile
Ministerio de Obras Públicas / Ministerio de Desarrollo Social
Consultores en Infraestructura, Gestión y Territorio Limitada

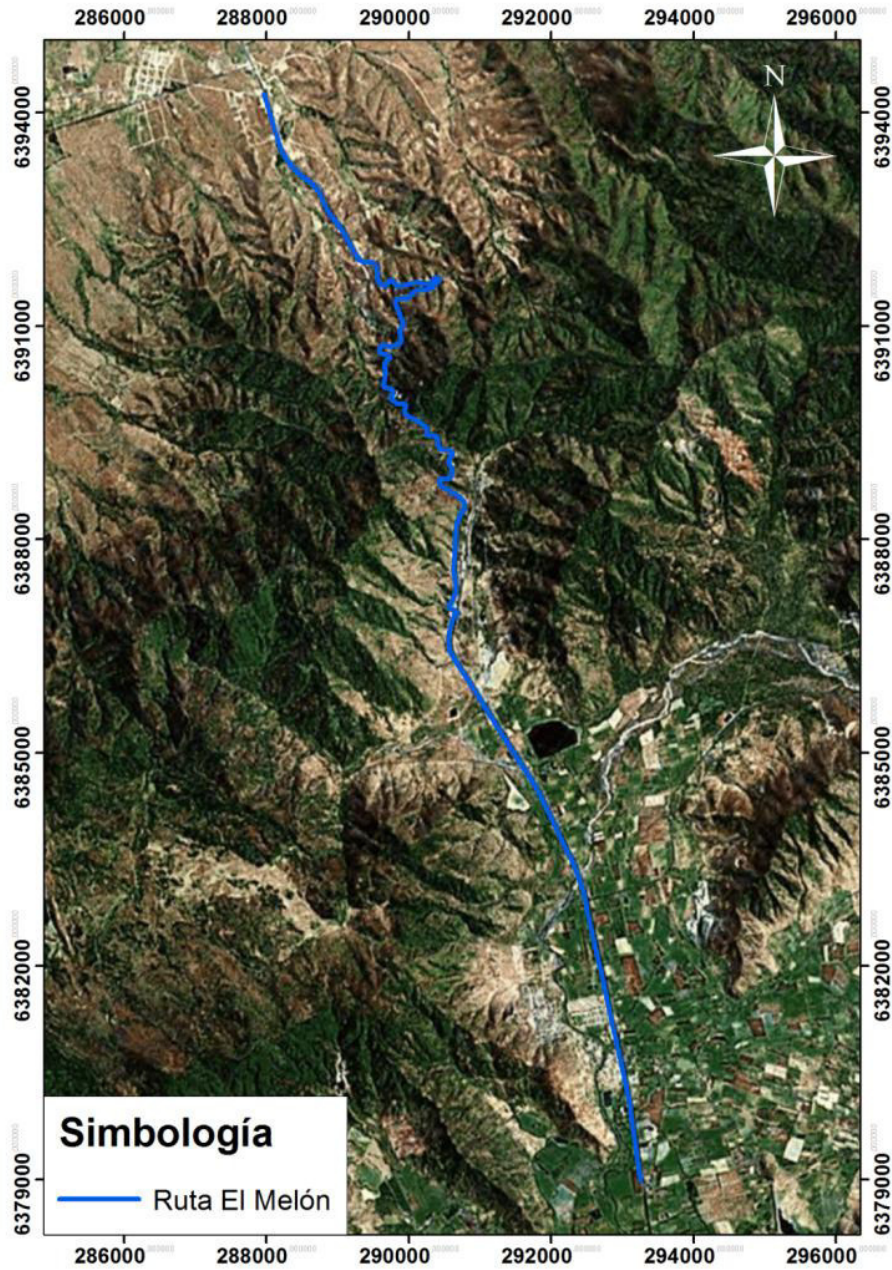


Figura N°7 Recorrido Ruta 5 Norte Sector Cuesta Las Chilcas – Tramo 1



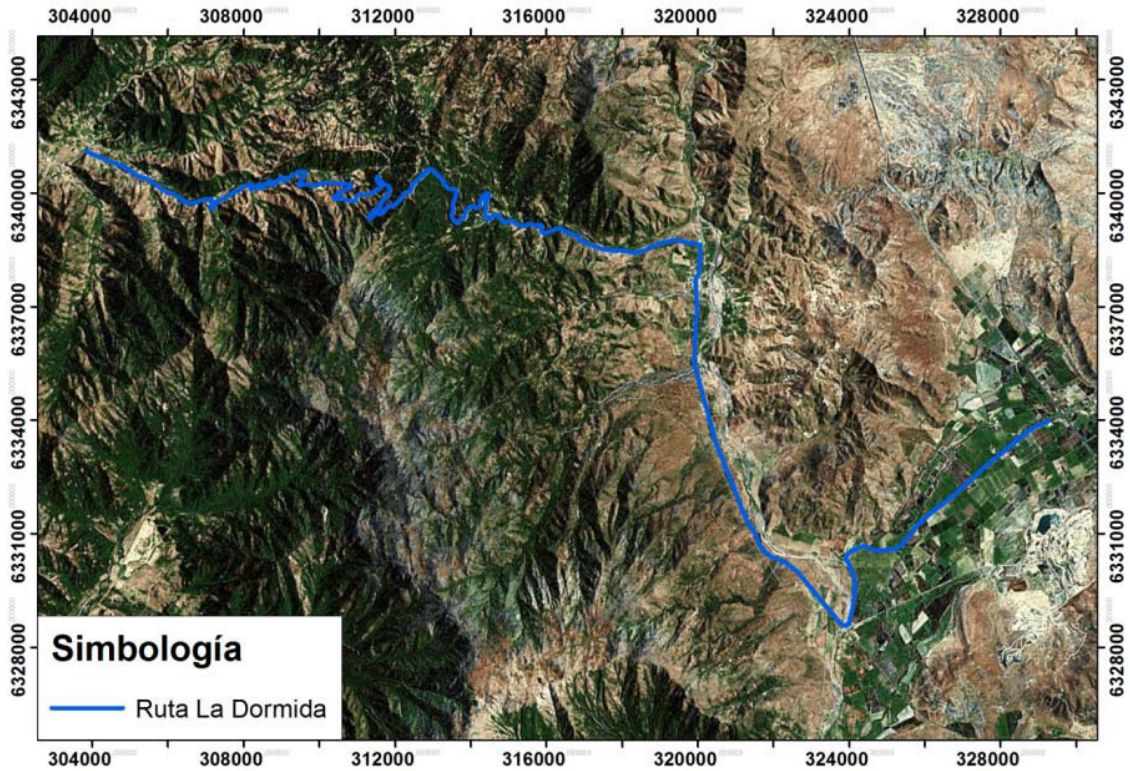
Fuente: Elaboración propia.

Figura N°8 Recorrido Ruta 5 Norte Sector Cuesta El Melón – Tramo 2



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°9 Recorrido Ruta G-10-F Sector Cuesta La Dormida – Tramo 3



Fuente: Elaboración propia.

Las mediciones de velocidad se realizaron en paralelo con mediciones de flujo vehicular, para cada uno de los recorridos registrados, y por hora, clasificadas por categoría de vehículo de acuerdo a lo indicado por el Manual de Carreteras Vol.3. El propósito de estas mediciones es obtener información para la calibración de curvas que se utiliza en los análisis requeridos.

Para el desarrollo de esta tarea, se utilizó un vehículo testigo equipado con instrumental GPS, ya que, según la experiencia del consultor, su uso conlleva una serie de ventajas, entre ellas la precisión que se logra en la medición del registro de la hora, respecto al posicionamiento espacial. En efecto, dichos instrumentos pueden ser programados para que almacenen automáticamente el posicionamiento (en términos de coordenadas espaciales X, Y, Z), cada cierto intervalo de tiempo (por ejemplo, cada 1 segundo). Dado que la cantidad de información que permite generar este instrumento es de gran escala, esta información debe ser procesada posteriormente, para obtener de los registros almacenados, aquellos que son de interés (intersecciones, hitos de la red vial, singularidades de la ruta).

Por lo tanto, se implementó para cada recorrido, un vehículo con un equipo GPS Receiver, un Notebook y 2 personas a bordo, de las cuales una de ellas conduce, mientras que la otra registra los waypoints (singularidades) o tracklog (cada 1 segundo), correspondientes a los puntos de interés. En la Figura N°10 se presenta el equipo que fue utilizado para el levantamiento de información.

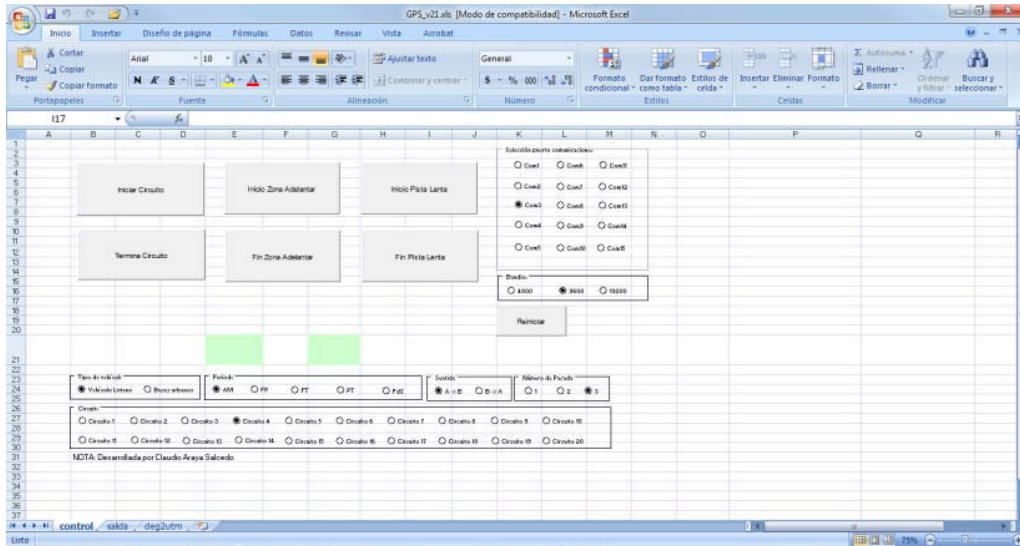
Figura N°10 **Equipo de Medición de Velocidades**



Fuente: Elaboración propia

Además, se generó, para un levantamiento confiable de la información, un programa en Visual Basic apoyado en una macro de Excel, que permitió ir registrando la posición espacial y el tiempo dentro de cada circuito, generando una mínima interferencia con el medidor para evitar errores posteriores en el procesamiento de la información. En efecto, en la Figura N°11 se muestra el programa generado para dicha tarea y el resultado que entrega luego de finalizado el circuito.

Figura N°11 Programa de levantamiento de velocidades

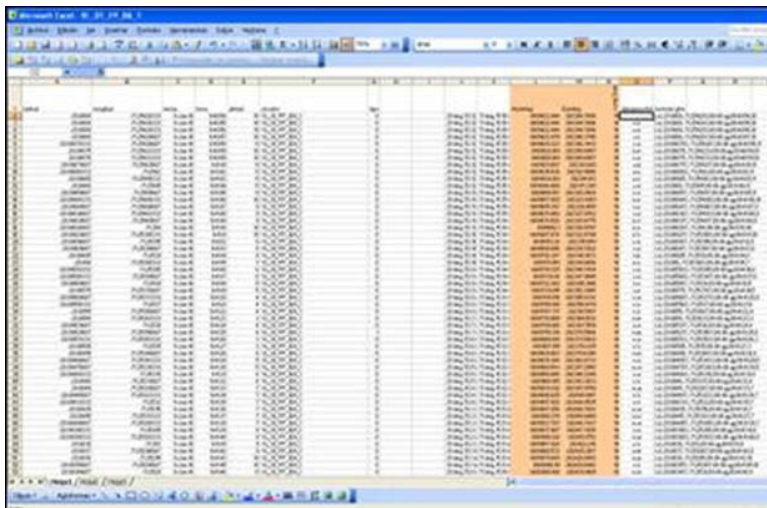


Fuente: Elaboración propia

Se observa que el programa permite definir a priori el tipo de vehículo que se está midiendo (Vehículo liviano, Bus, Camión o Taxi colectivo), el período, sentido, número de medición o pasada y el número del circuito; marcar puntos específicos en forma manual (waypoints) que estén directamente relacionados con Zonas de Adelantamiento, Zonas de Pista Lenta y Existencia de Fricción Lateral; capturar información automáticamente cada 1 segundo a través de un subprograma; y otras especificaciones técnicas tales como el puerto que utiliza el GPS y la frecuencia a la cual opera.

Finalmente, el programa de levantamiento de información entrega una salida, que se lee directamente en software especializados en GPS tal como GPSTrackMaker y OziExplorer, los cuales permiten exportar los archivos a formatos de Google Earth y SIG ArcView. La Figura N°12 muestra una representación de la salida del programa.

Figura N°12 Salida del Programa de levantamiento de Velocidades



Fuente: Elaboración propia

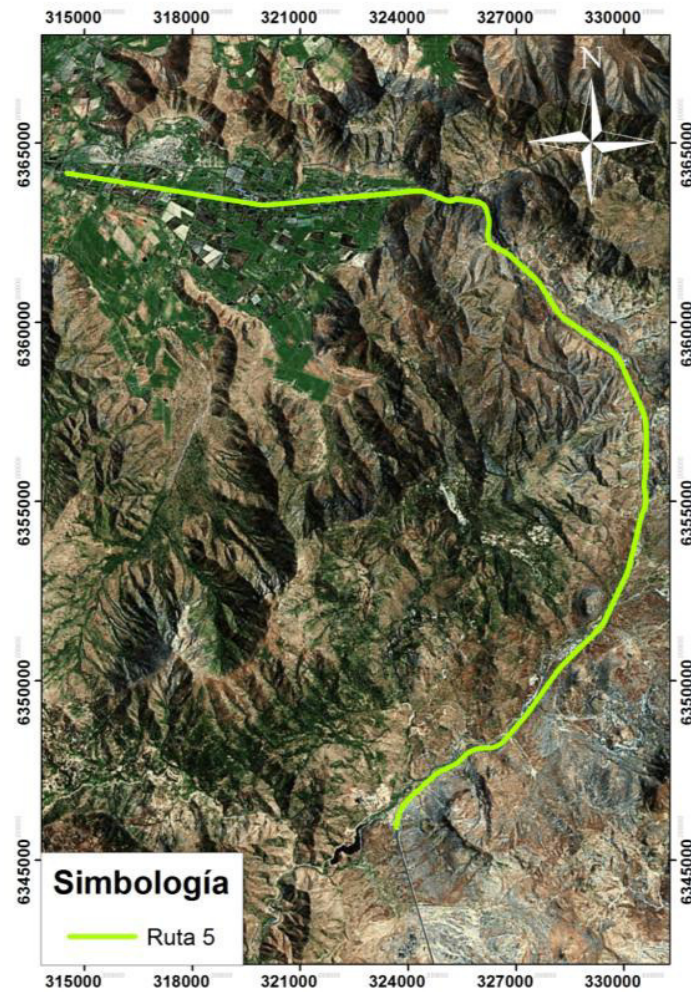
Esta información se exporta en formato de texto con extensión “GTM”, la cual es leída por GPSTrackMaker, generando el archivo que puede grabarse en extensión “KMZ”. Se registra además las singularidades de la ruta, permitiendo filtrar aquella información que no tiene consistencia en la medición por errores de lectura del GPS, siendo aquellos errores de menor relevancia en el levantamiento de información.

Es importante mencionar que para cada una de las tres rutas seleccionadas, se realizó, en primer lugar, un circuito de reconocimiento, identificando aquellos sectores en los cuales existe fricción lateral, tanto en el sentido de ida como de regreso.

Después, se realizó el procedimiento de vehículo testigo (flotante), siguiendo en el pelotón a cada tipología de vehículo definida anteriormente para el análisis, evitando con ello el sesgo mencionado en el capítulo 3; esto es, cambiando el vehículo bajo seguimiento cada 5 minutos, de existir la posibilidad de realizar dicha acción en la ruta. En el Anexo 1 se resume el procesamiento filtrado de la información con los detalles de cada singularidad por tramo.

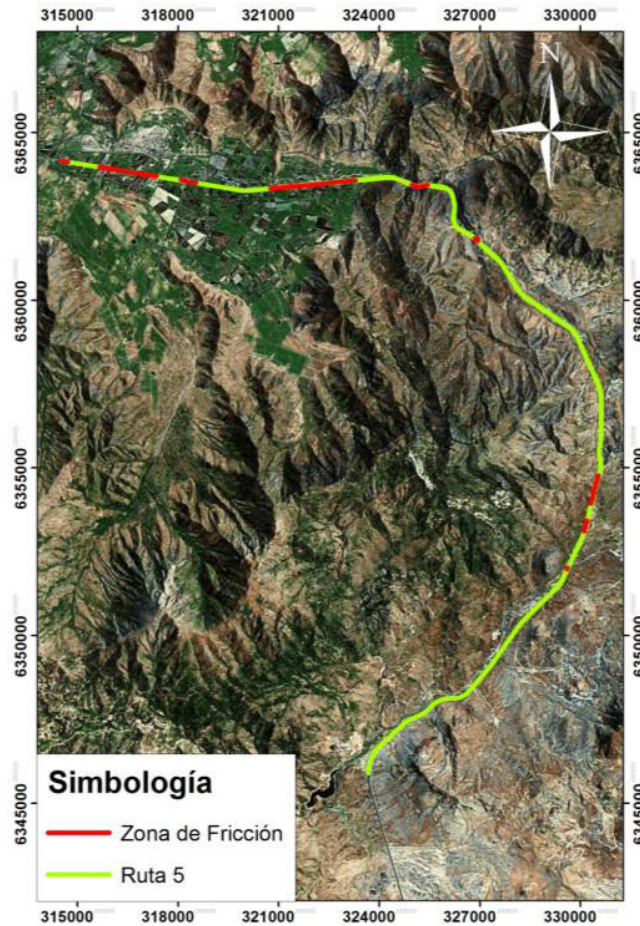
Dichos resultados fueron ingresados al SIG del estudio, en formato ArcGis y se ilustran desde la Figura N°13 a la Figura N°18.

Figura N°13 **Recorrido Ruta 5 Tramo 1 Doble Calzada**



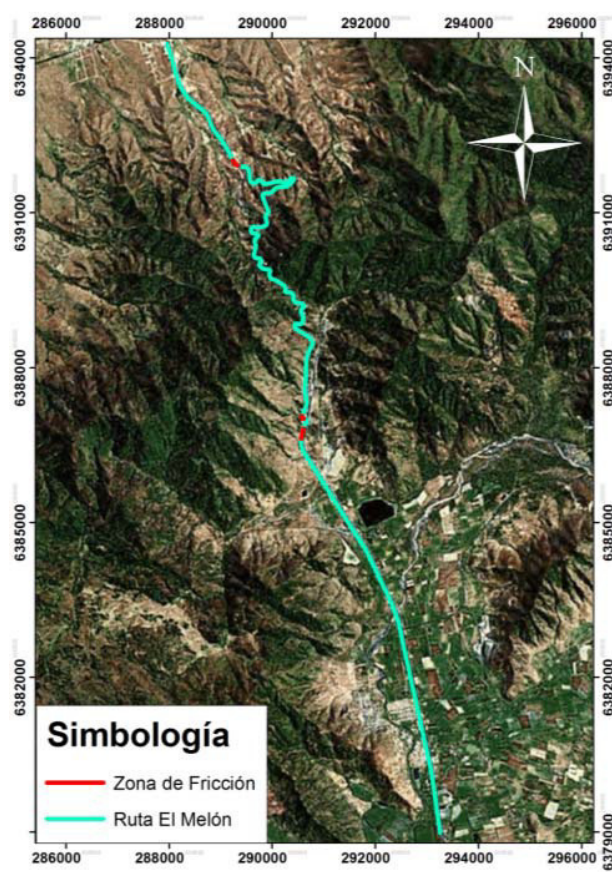
Fuente: Elaboración propia.

Figura N°14 Circuito de Reconocimiento Ruta 5 Tramo 1



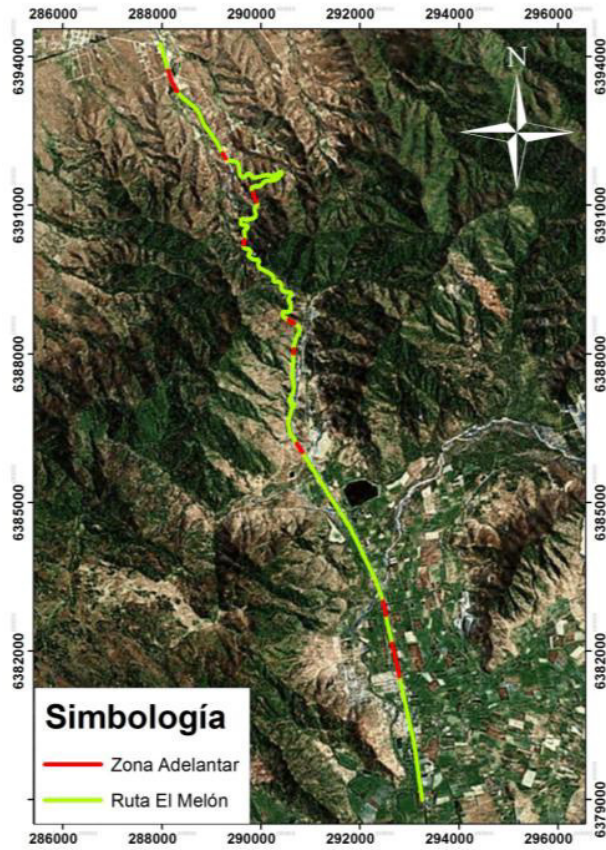
Fuente: Elaboración propia.

Figura N°15 Circuito de Reconocimiento Ruta 5 Tramo 2



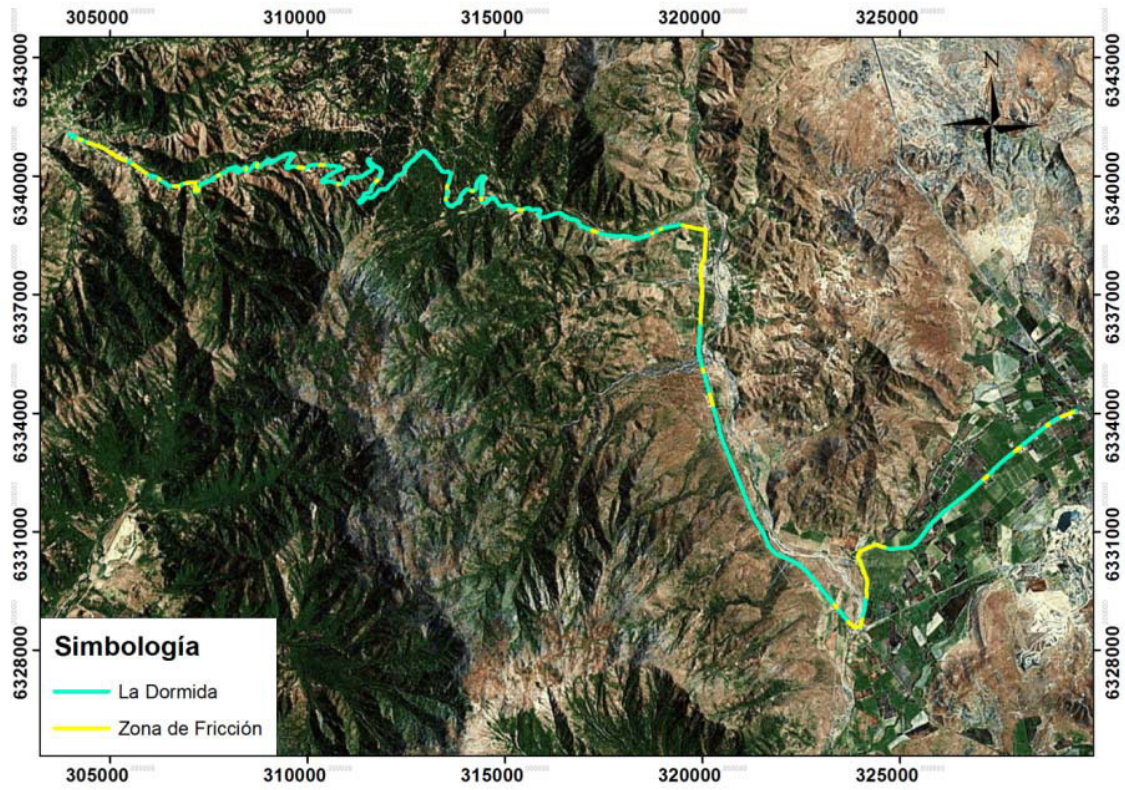
Fuente: Elaboración propia.

Figura N°16 Zonas Singulares Ruta 5 Tramo 2



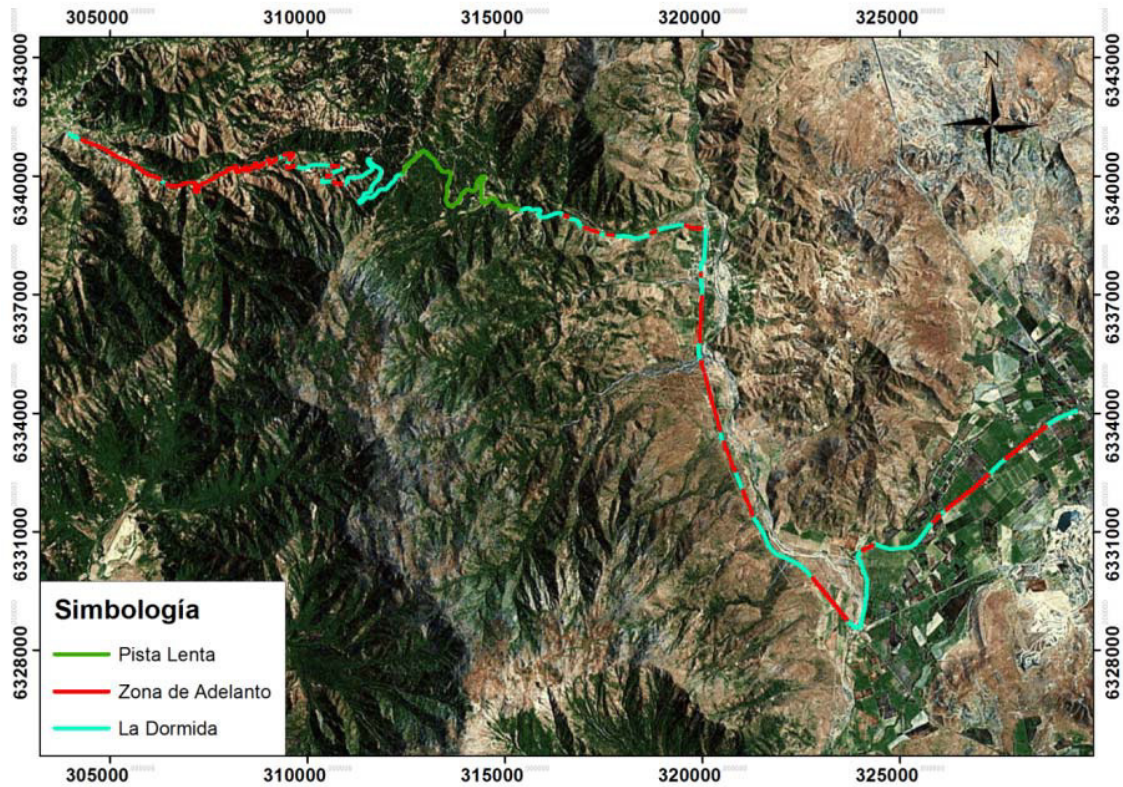
Fuente: Elaboración propia.

Figura N°17 Circuito de Reconocimiento Ruta 5 Tramo 3



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°18 Zonas Singulares Ruta 5 Tramo 3



Es importante señalar que toda la información recopilada en terreno, está georreferenciada e incorporada al SIG que se ha implementado para el análisis de datos relevantes del estudio.

8. EXPERIENCIA INTERNACIONAL RESPECTO A LAS CURVAS FLUJO - VELOCIDAD.

En este capítulo se presenta la experiencia del Reino Unido, Estados Unidos y Brasil en el uso de curvas flujo-velocidad.

8.1. El Caso del Reino Unido

En el Reino Unido se ha desarrollado un sistema de evaluación de proyectos de transporte similar al que se utiliza en Chile. Es decir, los proyectos de infraestructura vial, tales como ampliaciones de calzadas o construcción de nuevos caminos, son sometidos a un proceso de estimación de los beneficios sociales que se derivan de ellos. En particular, los ahorros de tiempo de viaje son una fuente de beneficios considerados en la evaluación.

Para esto se ha desarrollado un programa computacional, llamado COBA (Cost Benefit Analysis), que compara los costos de la habilitación de diferentes esquemas de caminos con los beneficios derivados por los usuarios (en términos de tiempo, costo de operación de vehículos y accidentes) y expresa los resultados en términos monetarios. El análisis se enfoca en los siguientes aspectos:

- Economía: Tiempo y costo de operación de vehículos.
- Seguridad: Cambios en costos de accidentes.
- Medioambiente: Cambios en la cantidad de combustible utilizado.

En el programa COBA se utilizan diferentes relaciones flujo velocidad, dependiendo del tipo de camino analizado. La Tabla N°14 muestra las clases de caminos considerados.

Tabla N° 14. Clases de caminos en el Reino Unido

Clase	Descripción
1	Rural una calzada
2	Rural dos calzadas de dos pistas
3	Rural dos calzadas 3 o más pistas
4	Autopista dos calzadas de dos pistas
5	Rural dos calzadas 3 pistas
6	Rural dos calzadas 4 o más pistas
7	Urbano, no central
8	Urbano, central
9	Pueblo pequeño
10	Suburbano una calzada
11	Suburbano dos calzadas

Fuente: Elaboración propia sobre programa COBA.

Las clases 1 a 6 se utilizan para caminos interurbanos y autopistas que generalmente no están sujetos a límites de velocidad de zonas urbanas. Las clases 7 y 8 se utilizan para caminos en ciudades sujetas a restricciones de velocidad de 48 km/h. La clase 9 se usa para caminos en pueblos pequeños con restricciones de velocidad de 48 km/h o 64 km/h. Las clases 10 y 11 son utilizadas para las principales rutas suburbanas en pueblos y ciudades que están generalmente sujetas a límites de velocidad de 64 km/h.

La relación flujo - velocidad es diferente entre caminos interurbanos, donde hay poca interacción entre diferentes arcos e intersecciones en la red, y caminos urbanos o suburbanos, donde las demoras en las intersecciones tienden a ser interdependientes. En caminos interurbanos y rurales, las relaciones están basadas en la geometría y el flujo, las demoras en intersecciones son analizadas separadamente con modelos ah-doc.

La forma básica de las relaciones flujo - velocidad varía entre clases de caminos. Para caminos rurales, suburbanos, y de pueblos pequeños, la velocidad de los vehículos se reduce cuando el flujo aumenta hasta que un nivel de flujo crítico en el cual la tasa de reducción de velocidad se incrementa hasta que una velocidad mínima es alcanzada. Las relaciones para calles urbanas tienen una pendiente uniforme y negativa para todos los niveles de flujo sobre una restricción de velocidad mínima. La otra diferencia importante es que las relaciones para caminos interurbanos y suburbanos entregan estimaciones de velocidad promedio separadas para vehículos livianos y pesados, mientras que las relaciones para el caso de ciudades y pueblos pequeños entregan una única estimación de velocidad. Todas las relaciones tienen una velocidad mínima que varía con la clase de camino.

A continuación se presenta el caso de los caminos interurbanos de una calzada y dos calzadas.

8.1.1. Caminos de una calzada

En este tipo de camino la capacidad está dada por la relación que se muestra en la Ecuación 13.

Ecuación 13

$$Q_c = \frac{2400(CWID - 3,65) (92 - PHV)}{CWID \quad 80}$$

Donde Q_c es la capacidad máxima, $CWID$ es el ancho de la calzada y PHV es la proporción de vehículos pesados (buses y camiones). Al aplicar esta fórmula, se considera un mínimo para w de 5,5 m. El punto de cambio en la pendiente de la relación flujo-velocidad es $Q_B = 0,8Q_c$.

Para los niveles de flujo, Q , inferiores a Q_B , la relación flujo-velocidad para vehículos livianos está dada por la Ecuación 14.

Ecuación 14

$$\begin{aligned} V_L = & 72,1 - 0,09 * BEND \\ & - 0,0007 * BEND * HILLS \\ & - 1,9 * JUNC \\ & + 2,0 * CWID \\ & + SWID(1,6 / SWID + 1,1) \\ & + 0,3 * VWID \\ & + 0,005 * VISI \\ & - (0,015 + 0,00027 * PHV) * Q \end{aligned}$$

Donde $BEND$ es la curvatura del camino, $HILLS$ es la pendiente, $JUNC$ es el número de intersecciones en el camino, $SWID$ es el ancho de la calzada exterior a la demarcación de la pista, $VWID$ es el ancho de la berma, $VISI$ es la visibilidad; todos ellos representados como se muestra en **la Error! Reference source not found.**

Si el flujo es mayor a Q_B , entonces la relación flujo velocidad está dada por la Ecuación 15.

Ecuación 15

$$V_L = V_B - 0,05(Q - Q_B)$$

Donde V_B es la velocidad en el nivel de flujo Q_B .

Para los vehículos pesados, la relación flujo-velocidad para todos los niveles de flujo está dada por la Ecuación 16.

Ecuación 16

$$\begin{aligned} V_H = & 78,2 - 0,1 * BEND \\ & - 0,07 * HILLS \\ & - 1,1 * JUNC \\ & + 0,3 * VWID \\ & + 0,007 * VISI \\ & - 0,0052 * Q \end{aligned}$$

8.1.2. Caminos de dos calzadas y autopistas

En el caso de caminos de dos calzadas, y de autopistas, las relaciones flujo velocidad son similares a las de los caminos de una calzada, pero las características geométricas tienen menos relevancia.

La capacidad está dada por $Q_C = 2300/(1 + 0,0015*PHV)$ para autopistas y por $Q_C = 2100/(1 + 0,0015*PHV)$ para caminos con doble calzada. El nivel de flujo de cambio en la pendiente de la relación flujo-velocidad es 1.200 veh/h/pista y 1.080 veh/h/pista para autopistas y camino de doble calzada, respectivamente.

Para flujos menores a Q_B , la relación flujo velocidad está dada por la Ecuación 17.

Ecuación 17

$$V_L = K_L - 0,1 * BEND - 0,14 * HILLS - S_L Q ,$$

Donde:

K_L es 108 para caminos con dos calzadas y 2 pistas por sentido.

K_L es 115 para caminos con dos calzadas y 3 pistas por sentido.

K_L es 111 para autopistas con 2 pistas por sentido.

K_L es 118 para autopistas con 3 pistas por sentido.

K_L es 118 para autopistas con 4 pistas por sentido.

S_L es la pendiente de la relación flujo-velocidad para vehículos livianos e igual a 6 km/h por cada 1.000 vehículos.

La relación flujo-velocidad para vehículos pesados es la misma para todos los niveles de flujo y es representada en la Ecuación 18.

Ecuación 18

$$V_H = K_H - 0,1 * BEND - 0,25 * HILLS$$

Donde K_H es 86 para los caminos y 93 para las autopistas.

Si el nivel de flujo es mayor a Q_B , entonces la relación flujo velocidad está dada por la Ecuación 19.

Ecuación 19

$$V_L = V_B - 33 * (Q - Q_B) / 1000$$

8.2. El caso de Estados Unidos

En Estados Unidos se utilizan las relaciones “flujo – velocidad” definidas en el *Highway Capacity Manual* (Manual de Capacidad de Autopistas). Este documento establece la forma de calcular niveles de servicio de las autopistas medido en base a la velocidad y concentración. A partir de los niveles de servicio, que van desde A (muy bueno) hasta F (mucha congestión), se definen criterios de diseño de las autopistas y sus dispositivos, como ramblas de acceso o longitud de pistas de aceleración o frenado.

En el caso de tráfico ininterrumpido, el *Highway Capacity Manual* del año 2010 (de aquí en adelante HCM2010) define curvas flujo - velocidad para las secciones básicas de autopista. Éstas corresponden a tramos donde no existen ramblas de acceso o egreso, ni uniones o divisiones de las calzadas. La metodología para estimar la velocidad en un tramo de autopistas consiste en determinar la velocidad a flujo libre del tramo a partir de su geometría, como ancho de pistas o distancia a obstáculos laterales (fricción lateral). Con la velocidad a flujo libre determinada, se selecciona la curva flujo-velocidad correspondiente. Como las curvas están definidas por el flujo medido en autos de pasajeros por hora, la demanda de vehicular se debe ajustar tomando en cuenta diversos factores, como un factor de hora punta, presencia de vehículos pesados y presencia de población de conductores no familiarizados con la autopista. Finalmente con la velocidad a flujo libre determinada y la demanda ajustada, se utiliza la curva flujo-velocidad para estimar la velocidad promedio del tramo de autopista analizado.

Las relaciones flujo-velocidad recomendadas por el HCM2010 son las que se presentan en la Tabla N°15.

Tabla N° 15. Curvas flujo-velocidad recomendadas por el HCM2010, en Estados Unidos

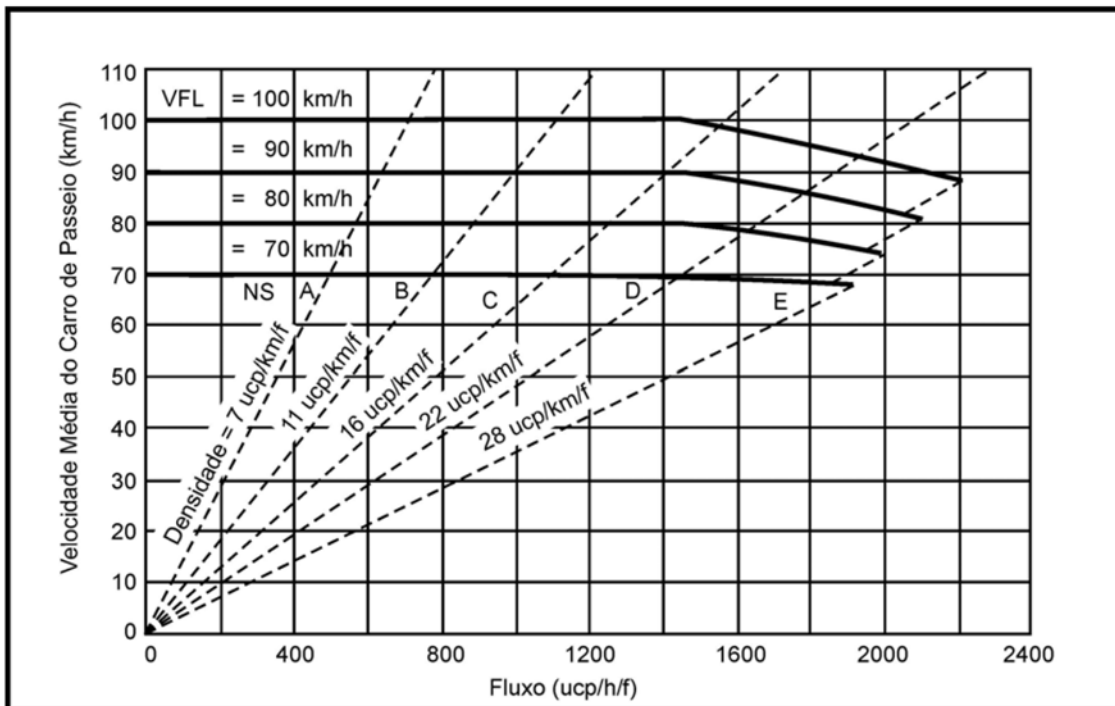
Velocidad a Flujo Libre (millas/h)	Q_B (Punto de inflexión) (pax/h/pista)	Curva para flujo menor a Q_B (millas/h)	Curva para flujo mayor a Q_B y menor a la capacidad (millas/h)
75	1.000	75	$75 - 0,00001107 (v_p - 1.000)$
70	1.200	70	$70 - 0,00001160 (v_p - 1.200)$
65	1.400	65	$65 - 0,00001418 (v_p - 1.400)$
60	1.600	60	$60 - 0,00001816 (v_p - 1.600)$
55	1.800	55	$55 - 0,00002469 (v_p - 1.800)$

(Fuente: HCM2010)

8.3. El caso de Brasil

En Brasil se utiliza el Manual de Estudios de Tráfico del Departamento Nacional de Infraestructura de Transportes, del Ministerio de Transportes (DNIT, 2006). Éste utiliza las curvas flujo - velocidad recomendadas en el Highway Capacity Manual en su versión del año 2000 (de aquí en adelante, HCM2000). En el caso de los caminos con dos calzadas, la metodología general es la misma que la descrita para el caso del HCM2010. Sin embargo, el Manual de Estudio de Tráfico sólo entrega el gráfico de las curvas flujo-velocidad y recomienda interpolar entre las curvas allí representadas. La Figura N°19 presenta las curvas recomendadas en Brasil.

Figura N°19 **Curvas Recomendadas en Brasil.**



(Fuente: Manual de Estudio de Tráfico, Brasil)

En el caso de los caminos con una calzada, el Manual de Estudios de Tráfico utiliza la relación expresada en la Ecuación 20.

Ecuación 20

$$V = V_{fl} - 0,0125v_p - f_{ap}$$

Donde:

V es la velocidad media de viaje en el tramo analizado,

V_{fl} es la velocidad a flujo libre corregida por factores geométricos y composición del flujo

v_p es el flujo en los 15 minutos más cargados de la hora punta, en vehículos de pasajeros equivalentes

f_{pa} es el factor de ajuste para zonas con prohibición de adelantamiento

9. RELACIÓN ACCIDENTABILIDAD – FLUJO - VELOCIDAD.

La relación accidentabilidad – flujo – velocidad se refiere a la respuesta de probabilidad o riesgo de accidente que puede inferirse, a partir de cambios en la velocidad y el flujo; que puedan verificarse en una sección de carretera siempre homogénea.

Esta relación no ha sido estudiada directamente. La literatura focaliza sus análisis en la relación a Accidentabilidad – Velocidad y con mucho mayor frecuencia en la relación Accidentabilidad – Densidad; lo que no significa que, a partir de ellas, sea válido componer una relación del tipo accidentabilidad – flujo – velocidad, puesto que existen otras condiciones que pueden alterar los resultados, por ejemplo: cambios de pistas, flujo inestable (por inestabilidad asintótica⁴), las condiciones físicas de la vía y las características de los conductores.

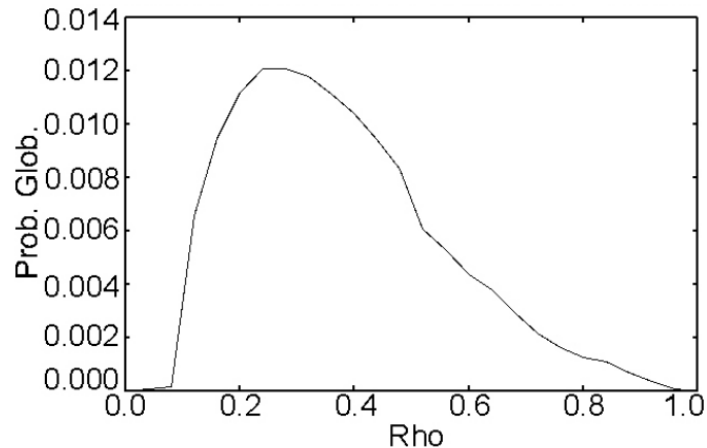
Como las causales antes expuestas no pueden ser fácilmente aisladas, se propone suponer que, para el caso general, se aplique inferencia analítica; partiendo desde el supuesto de que la densidad es inversamente proporcional a la velocidad. Así, la simplificación que se propone reemplaza el análisis de Accidentabilidad – Flujo – Velocidad por el de Accidentabilidad – Densidad.

La Figura N°20 expone la relación entre Probabilidad de Accidente y Densidad, en donde se puede inferir que, a mayor densidad (ρ), el riesgo de accidente disminuye (Prob), explicado fundamentalmente por el aumento del flujo que, por una parte, obliga a disminuir la velocidad y, por otra, disminuye los conflictos funcionales⁵.

⁴ Inestabilidad asintótica: Cuando en la circulación existe inestabilidad asintótica hay una mayor probabilidad de accidentes, porque las respuestas de los conductores frente a los cambios de velocidad se vuelven cada vez violentas, por ejemplo, expresadas en frenajes más bruscos. Por el contrario frente a condiciones de inestabilidad local, los cambios en la velocidad son adecuadamente enfrentados por los conductores, lo que provoca una disminución de la probabilidad de accidentes. Diversos autores han estudiado este fenómeno y concluyen que si se cumple la siguiente condición, la circulación presenta estabilidad asintótica: $\lambda T \leq 1/2$, donde λ es la sensibilidad de los conductores y T es el tiempo de respuesta.

⁵ Conflictos funcionales: Ocurren entre vehículos que hacen uso antagónico de un mismo sector de la vía: movimiento y reposo. Se superan a través del adelantamiento del vehículo detenido, la detención del vehículo en movimiento o el ajuste de su velocidad hasta que el conflicto desaparece.

Figura N°20 Probabilidad de Accidentes versus Densidad



Fuente: Aarts, L.; Van Schagen (2006) Driving speed and the risk of road crashes: A review. Accident Analysis and Prevention 38 (2006) 215–224. Kloeden, C. N., McLean, A. J. & Glonek, G. (2002) Reanalysis of travelling speed and the rate of crash involvement in Adelaide South Australia.

Asimismo, es posible inferir que la zona de mayor riesgo se encuentra entre la densidad 0,15 - 0,50; riesgo medio entre 0,50 - 0,70; y riesgo bajo entre 0,00 - 0,15 y 0,70 - 1,00. En consecuencia, es esperable obtener variaciones en el número de accidentes, si la velocidad media aumenta o disminuye.

En el caso de España, se ha estudiado la variación de accidentes frente a cambios en la velocidad, a partir de una velocidad media inicial medida empíricamente. Los resultados son los que se exponen en la Tabla N°16.

Tabla N° 16. Predicciones del efecto sobre el número de accidentes mortales por variaciones sobre la velocidad

Si la velocidad media inicial es ...	Y la velocidad media ...	Según un modelo potencial	Según la validación de Elvik y otros	Según la validación de Hauer y Boneson
80 Km/h	Aumenta 8 km/h	+46%	+48%	+58%
	Aumenta 4 km/h	+22%	+22%	+28%
	Aumenta 1 km/h	+5%	+5%	+7%
	Disminuye 1 km/h	-5%	-5%	-7%
	Disminuye 4 km/h	-19%	-19%	-26%
	Disminuye 8 km/h	-34%	-35%	-52%
120 km/h	Aumenta 8 km/h	+29%	+30%	+32%
	Aumenta 4 km/h	+14%	+14%	+15%
	Aumenta 1 km/h	+3%	+3%	+4%
	Disminuye 1 km/h	-3%	-3%	-4%
	Disminuye 4 km/h	-13%	-13%	-15%
	Disminuye 8 km/h	-24%	-25%	-29%

Fuente: Estudio "Estado actual de conocimientos sobre la relación entre velocidad y seguridad vial", Observatorio de Seguridad Vial del Ministerio del Interior de España (2011)

De estos antecedentes, se puede inferir que para velocidades medias de 80 y 120 km/h, la mayor ganancia se encuentra en disminuir 8 km/h.

Finalmente, es importante señalar que la velocidad media no es el único parámetro de la distribución de velocidades que influye sobre la seguridad. En particular, existe consenso en que la dispersión de velocidades entre vehículos es un factor de riesgo, aunque no existen estimaciones fiables de este efecto. El Observatorio Europeo de Seguridad Vial, por ejemplo, lo plantea del siguiente modo: "Si, en una vía determinada, la varianza de velocidades es alta, las consecuencias serán: menos predictibilidad, más conflictos, más maniobras de adelantamiento, etc. Por lo tanto, cuando las diferencias entre velocidades aumentan, el riesgo de accidente aumenta también"

10. MICROSIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE FRICCIONES LATERALES.

En este capítulo se plantea la utilización del modelo Aimsun – ex GETRAM (Generic Environment for Traffic Analysis and Modelling), para su aplicación para la generación de series de datos para la construcción de las curvas flujo - velocidad. A continuación se describen brevemente algunas características que pueden ser de ayuda para el análisis:

- Permite representar a nivel microscópico la operación de una red de tránsito con el fin de evaluar el impacto de realizar cambios físicos, operacional o de demanda de transporte. Este objetivo se puede apreciar principalmente en estudios tácticos.
- Es útil como una herramienta para determinar capacidades y calibrar funciones del tipo BPR. Tiene aplicaciones en que se utiliza en conjunto con modelos estratégicos, como EMME/2.
- Permite modelar ejes y redes semaforizadas, ya sea internamente con AIMSUN u operando en línea con Transyt.
- Es compatible en su operación con programas tácticos como SATURN.

10.1. Recopilación de Información de Entrada

Esta actividad corresponde a la recopilación de toda la información requerida para codificar la red, que en el caso de este estudio surgirá de la proposición del diseño geométrico. En general ésta información se puede clasificar en las siguientes categorías:

- Información Física: Para el caso de la Situación con Proyecto, esta información consta del layout de ingeniería y los procesos operacionales internos en el área de estudio (incluyendo el uso de pistas en las intersecciones de acceso), y base gráfica con el detalle geométrico de las calles.
- Información Operacional: Definición de cruces, controles, regulaciones y línea de proceso de los vehículos que ingresan a las instalaciones.
- Información de Demanda: Flujos vehiculares, y características físicas y operacionales por tipo de vehículo.

10.2. Codificación de la Red AIMSUN

Utilizando la información descrita en el punto anterior, se realiza el ingreso de datos a la red AIMSUN. Esta tarea se desglosa en 3 etapas:

- Caracterización física de la red
- Caracterización del plan de control de tránsito
- Caracterización de la demanda

A continuación se detallan los pasos a seguir en cada una de las etapas.

10.2.1. **Caracterización Física de la Red**

Una vez definida la red y vías a modelar, corresponde generar las calles e intersecciones presentes en ella. Para ello, se recomienda disponer de una base gráfica a escala (e.g. formato DWG o DXF), que permita dibujar las calles directamente. Esta base gráfica debe contener el detalle geométrico de las calles e intersecciones, al igual que el uso de pistas para realizar los diferentes movimientos (incluyendo la definición de pistas exclusivas para tipo de vehículos, de existir).

En esta etapa también es necesario caracterizar las velocidades máximas permitidas en cada una de las vías internas, al igual que la existencia de señales de prioridad en los cruces (ceda el paso, signo pare). En la Figura N°21, a modo de ejemplo, se muestra una imagen de la edición de una red y el uso de una base gráfica como fondo.

Figura N°21 Codificación de Red

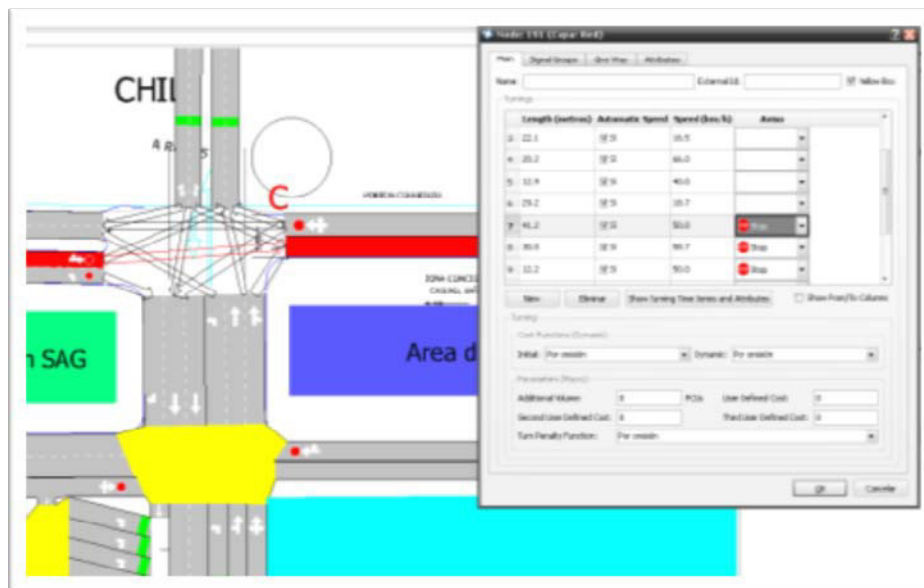


Fuente: Elaboración propia.

10.2.2. Caracterización de Cruces

Para cada intersección se debe definir la regulación, ya sea semaforizada o con señal de prioridad (Ceda el paso o Pare), además del uso de pistas, tal como se muestra en la Figura N°22.

Figura N°22 Regulación y operación de intersecciones



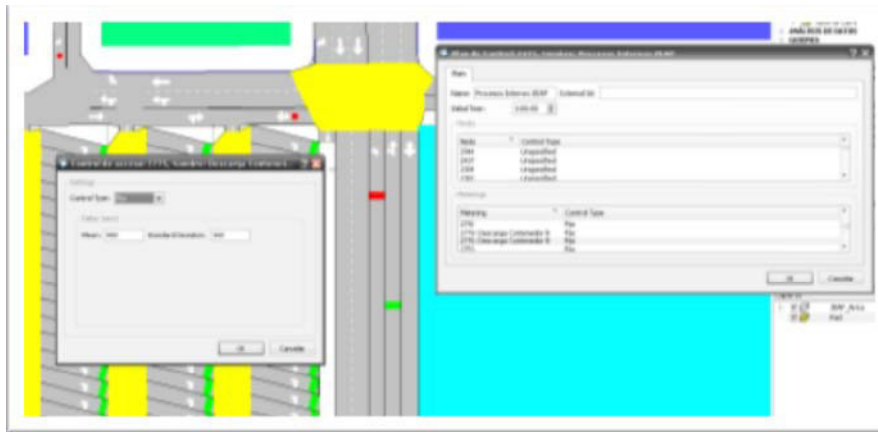
Fuente: Elaboración propia.

10.2.3. Caracterización del Plan de Control de Tránsito

Una vez descrita la red física a modelar, corresponde caracterizar el plan de control de tránsito que será implementado en la simulación. Este plan considera la operación de todos los cruces y sistemas de control de tráfico incorporados en el diseño.

Esta etapa es de vital importancia, dado que el uso de controles permite representar de mejor manera el diseño propuesto para el anteproyecto.

Figura N°23 Parámetros de Control en AIMSUN



Fuente: Elaboración propia.

10.2.4. Caracterización de la Demanda

Esta corresponde a la última etapa en la codificación de una red, e involucra la descripción de los diferentes tipos de vehículos que circulan en la red de tráfico, y los flujos en cada uno de los puntos de entrada a la red.

Cada tipo de vehículo considerado (e.g. auto, camioneta, camión, tren), tiene asociado sus propias características físicas (longitud, ancho) y operacionales (aceleración, desaceleración, consumo de combustible, emisión de contaminantes etc.), las cuales deben ser descritas en esta etapa. El modelo incluye valores por defecto para las diferentes variables operacionales. En este estudio se utilizarán estos valores, los que ya han sido usados extensamente en otros análisis. Lo importante, es que las comparaciones se realicen con los mismos valores para dichos parámetros.

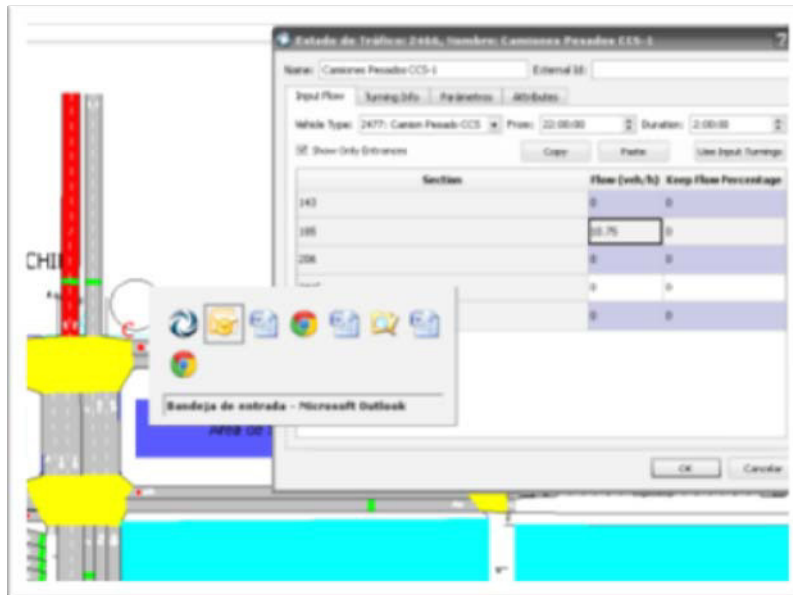
La información de flujos provendrá de la modelación de la asignación de viajes definitiva del anteproyecto, la que será incorporada a la red de microsimulación.



Gobierno de Chile
Ministerio de Obras Públicas / Ministerio de Desarrollo Social
Consultores en Infraestructura, Gestión y Territorio Limitada

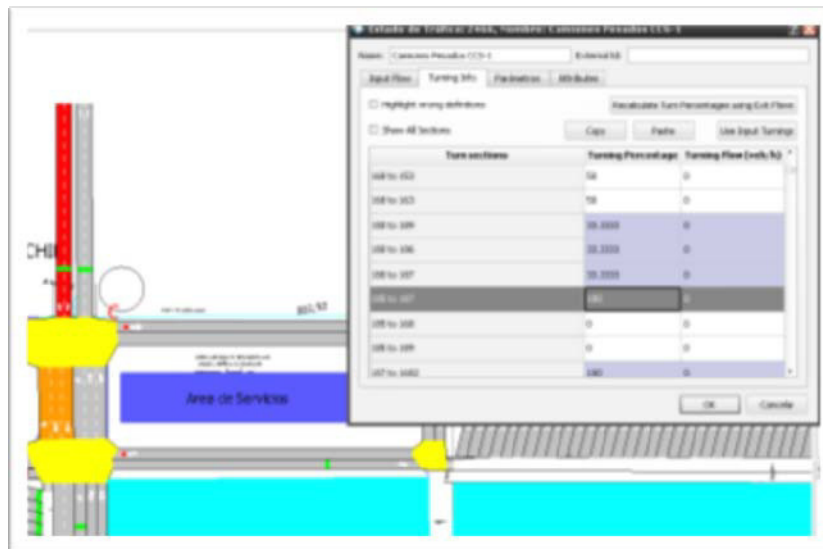


Figura N°24 Flujos de entrada a la red de microsimulación



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°25 Ingreso de Flujo por Movimiento



Fuente: Elaboración propia.

Una vez generada la red a microsimular, el siguiente paso corresponde a la realización de las replicaciones o simulaciones para un día de operación.

10.3. Simulación con AIMSUN

En el punto anterior, se presentó las actividades tendientes a la generación de la red a simular, el siguiente paso corresponde, entonces, a la realización de las simulaciones del anteproyecto definitivo.

10.3.1. **Caracterización Física de la Red**

En primer lugar, debido a las aleatoriedades presentes en el sistema (e.g. tiempos entre arribo exponenciales de vehículos, variabilidad en los parámetros operacionales, etc.), se obtienen resultados diferentes de una simulación a otra del modelo, debido a las diferentes interacciones que se presentan (manteniendo las mismas variables de entrada). Por estos motivos, es necesario hacer un número adecuado de corridas, bajo un mismo escenario, para obtener un valor promedio que sea representativo de la variable bajo análisis (e.g. flujo, tiempo de viaje, velocidad media, etc.). De hecho, estos valores promedio tienen una distribución asociada dado un cierto nivel de confianza estadístico.

Por otro lado, es necesario considerar un período de transición, durante el cual no se ha estabilizado el sistema, para posteriormente recolectar la información deseada. Por ejemplo en el instante $t = 0$ de simulación, la red de tráfico se encuentra vacía por lo que se requiere de un tiempo (transición) para que la red se cargue y los resultados estadísticos y visuales sean representativos de la operación del sistema en régimen.

La definición del período de transición y número de corridas depende en general del tamaño de la red considerada. Por lo general, redes de mayor tamaño requerirán mayores tiempos para obtener resultados estadísticamente adecuados.

Una vez establecidos los criterios anteriores, corresponde ejecutar la simulación. Esto se puede realizar con animación o en modalidad "batch". La simulación con animación permite en primer lugar detectar fácilmente errores de codificación, al igual que diagnosticar la operación de puntos críticos en la red. La segunda modalidad, se utiliza cuando interesa obtener los resultados estadísticos de la simulación, ya que el no tener animación resulta en un menor tiempo de ejecución.

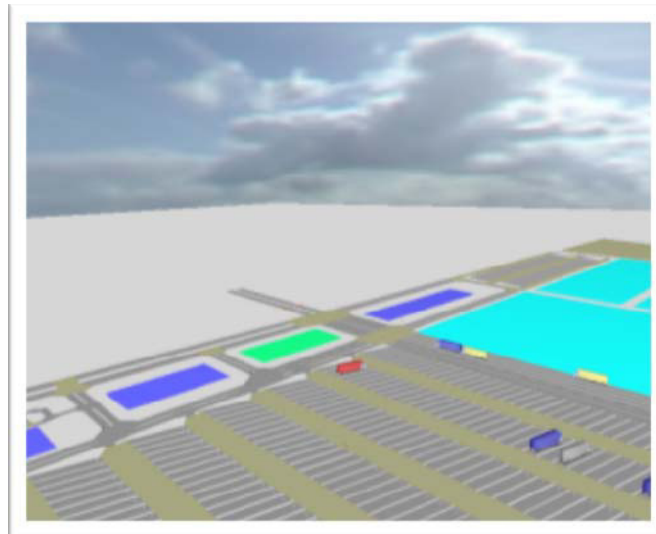
10.3.2. Análisis de Resultados

Luego de ejecutada la simulación de interés, corresponderá realizar el análisis de los resultados. En particular, el análisis comprende 3 etapas.

10.3.2.1. Diagnóstico visual de las simulaciones

En esta etapa se caracteriza la operación de la red en términos visuales, utilizando la simulación con animación en AIMSUN. Esto incluye: detección de colas de vehículos, identificación de puntos de alta saturación, movimientos conflictivos, bloqueos, etc. Esta etapa es importante para detectar errores de codificación y realizar una validación visual del modelo. En la Figura N°26, se muestra una imagen de una simulación con animación, utilizando el simulador AIMSUN.

Figura N°26 **Simulación con Animación en AIMSUN en 3D**

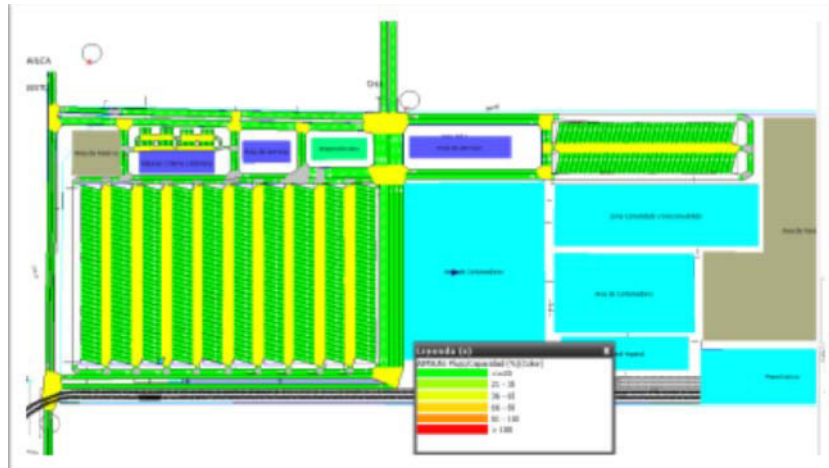


Fuente: Elaboración propia.

10.3.2.2. Análisis de indicadores estadísticos de salida

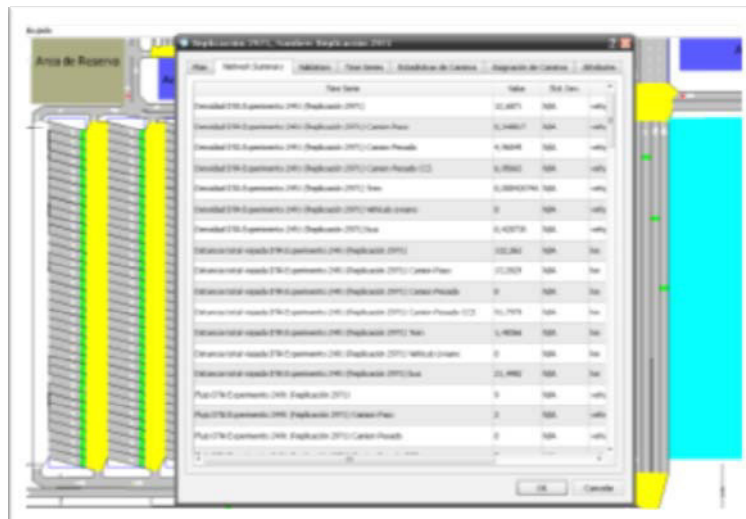
De manera de corroborar el diagnóstico anterior, en esta etapa se entregan los resultados estadísticos del modelo para diferentes puntos de la red (e.g. flujos, velocidades, densidad, colas, demoras, etc.). Estos resultados pueden ser obtenidos en forma numérica o gráfica. A partir de la Figura N°27, se muestran imágenes de diferentes salidas que entrega el simulador AIMSUN.

Figura N°27 **Resultados AIMSUN (Grados de Saturación)**



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°28 **Resultados AIMSUN (Estadísticas Globales de la Microsimulación)**



Fuente: Elaboración propia.

10.3.2.3. Identificación de puntos conflictivos y sus causas

Una vez caracterizados los resultados entregados por el modelo para diferentes sectores de la red, en esta etapa se identificarán los puntos conflictivos o críticos de cada una de las alternativas de modelación. Además, en cada uno de ellos se describirán los motivos por los cuales se producen, como por ejemplo, baja capacidad de descarga de un cruce, movimientos conflictivos que obstaculizan el flujo directo, localización del control de entrada, etc.

10.4. Aplicación Caso Cuesta La Dormida

Se construyó la red de microsimulación del sector Cuesta La Dormida, para lo cual se generó, en Google Earth, planchetas con el trazado geométrico de la ruta, la cual también se posee en SIG ArcGIS, de manera de representar el comportamiento de los vehículos según las características geométricas de la ruta y la composición vehicular del flujo sobre ella.

En la Figura N°29 se puede verificar el trazado de la ruta en la cual se generará la red de microsimulación Aimsun.

Figura N°29 Red Aimsun Cuesta La Dormida – Cruce Arturo Prat



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°30 Red Aimsun Cuesta La Dormida – Km 1 Ruta G-10-F



Fuente: Elaboración propia.

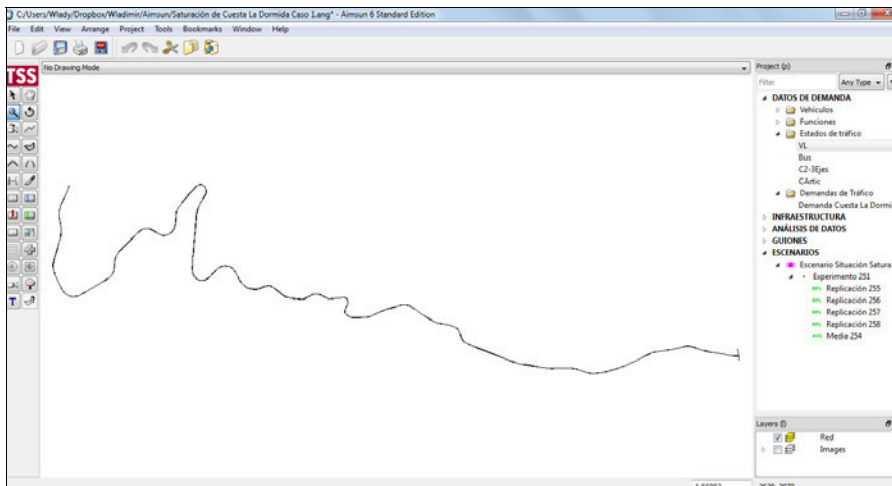
Figura N°31 Red Aimsun Cuesta La Dormida – Km 5 Ruta G-10-F



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se obtiene la red final en Aimsun que se observa en la Figura N°32.

Figura N°32 Red Final Cuesta La Dormida en Aimsun



Fuente: Elaboración Propia.

Se simuló un día desde las 12:00 hasta las 22:00 horas, ingresando el flujo vehicular por hora y tipo de vehículo, las características de pendiente y curvatura propias de la microsimulación Aimsun, obteniendo las velocidades promedio para el tramo, que se presentan en la Tabla N°17.

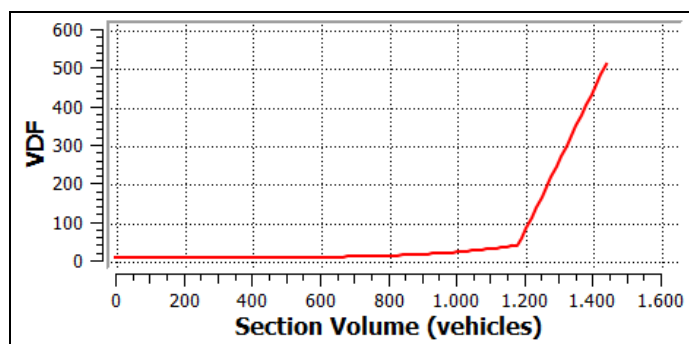
Tabla N° 17. Velocidades Promedio Tramo La Dormida

Atributo	Replicación				Promedio
	1	2	3	4	
Velocidad Veh. Liv (Km/hr)	89,3	90,0	89,8	89,5	89,7
Velocidad Bus (Km/hr)	82,2	82,8	84,3	82,3	82,9
Velocidad Camión Liv. (Km/hr)	80,0	80,9	80,7	80,9	80,6
Velocidad Camión Pes. (Km/hr)	79,9	78,6	80,5	80,3	79,8

Fuente: Elaboración propia.

Las curvas flujo velocidades utilizadas para La Dormida corresponden a las presentadas en la Figura N°33.

Figura N°33 Curvas Flujo – Velocidad La Dormida.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez ajustadas las velocidades por tipo de vehículo y sección, se procedió a estimar la curva completa incrementando la demanda en el eje en análisis. De esta manera se generaron los escenarios de demanda que se presentan en la Tabla N°18.

Tabla N° 18. Escenarios de Microsimulación

Escenario Saturación	Flujo en Vehículos por Hora Estado de Tráfico				VEQTOT	% VL	% HV
	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado			
1	800	100	200	150	1775	64%	36%
2	1000	150	250	200	2300	63%	38%
3	1200	200	300	250	2825	62%	38%

4	1300	250	350	300	3250	59%	41%
5	1400	300	400	350	3675	57%	43%
6	2000	0	0	0	2000	100%	0%

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados de la microsimulación, considerando un período de transición de 30 minutos para que entre en estado de régimen, y además 4 replicaciones para obtener el valor promedio y la respectiva desviación estándar, se presentan en el Anexo 2.

Esta información fue procesada en el capítulo de la consolidación algebraica de las curvas flujo velocidad con la finalidad de complementar el ajuste de dichas curvas, aumentando el flujo vehicular de manera de captar el efecto en la velocidad de operación a través de la microsimulación.

Sin perjuicio de lo anterior, las condiciones geométricas de la vía, por cada sección de la microsimulación, que fueron consideradas, son las indicadas en la Tabla N°19.

Tabla N° 19. Geometría utilizada en la microsimulación preliminar

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura
1	1,84	433,91	4,63	102	-1,84	109,87	2,71
2	1,84	109,87	2,71	103	-0,20	117,91	2,71
3	0,20	117,91	2,71	104	-0,75	118,98	2,71
4	0,75	118,98	2,71	105	-2,02	66,00	2,71
5	2,02	66,00	2,71	106	-1,03	128,98	2,83
6	1,03	128,98	2,83	107	-2,01	88,84	2,83
7	2,01	88,84	2,83	108	-2,36	339,24	2,83
8	2,36	339,24	2,83	109	-5,31	92,00	2,83
9	5,31	92,00	2,83	110	-0,94	94,09	2,83
10	0,94	94,09	2,83	111	0,00	115,02	2,83
11	0,00	115,02	2,83	112	0,00	183,69	2,83
12	0,00	183,69	2,83	113	-3,85	80,76	2,83
13	3,85	80,76	2,83	114	-1,61	109,69	2,83
14	1,61	109,69	2,83	115	0,00	71,20	2,83
15	0,00	71,20	2,83	116	-2,46	234,89	2,81
16	2,46	234,89	2,81	117	-2,49	232,09	2,81
17	2,49	232,09	2,81	118	-2,48	107,51	0,73
18	2,48	107,51	0,73	119	-0,94	569,96	0,73
19	0,94	569,96	0,73	120	-2,34	152,18	3,05
20	2,34	152,18	3,05	121	-1,93	138,22	3,05
21	1,93	138,22	3,05	122	-2,78	176,13	0,52
22	2,78	176,13	0,52	123	-2,89	107,51	0,52
23	2,89	107,51	0,52	124	-1,90	234,04	0,52
24	1,90	234,04	0,52	125	-2,44	164,04	0,52
25	2,44	164,04	0,52	126	-1,69	367,87	2,35
26	1,69	367,87	2,35	127	-2,30	192,93	1,90
27	2,30	192,93	1,90	128	-1,51	206,00	1,03
28	1,51	206,00	1,03	129	-3,40	143,64	1,03
29	3,40	143,64	1,03	201	0,00	102,76	0,00
101	-1,84	433,91	4,63	302	0,00	49,66	0,00

Fuente: Elaboración Propia

El análisis de la relación entre la velocidad y las características geométricas de la vía, entregó resultados poco satisfactorios debido a que se observó, en la microsimulación, que las secciones, al no ser homogéneas en términos de distancias, presentan un sesgo en la velocidad modelada de operación de los vehículos, por lo que se creó una nueva red de microsimulación con secciones de aproximadamente 500 metros, siempre que las condiciones de operación lo permitiera, es decir, se omitió aquellas secciones con pista lenta. De esta manera la geometría utilizada en la nueva red es la que se presenta en la Tabla N°20.

Tabla N°20. Geometría utilizada en la microsimulación definitiva

Pendiente Promedio (%)	Curvatura Promedio (°/Km)	Distancia (mts)	
		Inicial	Final
1,840	1,453	0	500
0,878	81,050	500	1000
2,822	10,501	1000	1500
0,843	52,084	1500	2000
1,814	12,796	2000	2500
2,487	12,591	2500	3000
1,235	107,271	3000	3500
2,530	291,628	3500	4000
2,123	191,020	4000	4500
1,809	506,513	4500	5000
2,885	608,352	5000	5500
1,626	333,275	5500	6000
2,231	367,886	6000	6500
2,391	1526,274	6500	7000
1,509	39,862	7000	7500
2,490	2834,076	7500	8000
1,992	797,710	8000	8500
1,976	544,647	8500	9000
2,632	285,162	9000	9500
1,847	678,422	9500	10000
1,626	127,980	10000	10500

Fuente: Elaboración propia.

Se generaron nuevos escenarios de modelación, los que se presentan en la Tabla N°21 junto con los resultados de la microsimulación.

Tabla N° 21. Escenarios de modelación definitivos

Escenario Saturación	Flujo en Vehículos por Hora Estado de Tráfico				VEQTOT	% VL	% HV
	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado			
1	610	76	153	116	1357	64%	36%
2	703	104	175	137	1604	63%	37%
3	702	116	175	146	1650	62%	38%
4	668	127	180	153	1665	59%	41%
5	633	135	179	162	1667	57%	43%
6	1770	0	0	0	1770	100%	0%
7	50	0	0	0	50	100%	0%

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de las microsimulaciones para cada escenario, se presentan a partir de la Tabla N°22.

Tabla N°22. Resultados Microsimulación Escenario 1 – Cuesta La Dormida

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo calculado (flujo / %)				Velocidad calculada (velocidad * %)				Densidad calculada (densidad / %)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
1	1,83	500,00	1,45	610	76	153	116	58	55	54	55	8	1	2	2
2	1,86	65,22	10,57	609	76	153	116	9	8	9	8	50	7	14	11
3	0,20	98,38	15,95	610	76	153	116	66	66	66	66	7	1	2	1
4	1,54	500,00	24,11	373	45	92	71	4	4	4	4	69	8	17	13
5	2,32	500,00	39,23	374	45	92	71	5	5	5	4	69	8	17	13
6	0,97	500,00	12,73	390	47	97	74	7	7	8	7	66	8	16	13
7	2,46	196,04	5,02	610	76	153	116	66	66	66	66	7	1	2	1
8	2,49	193,70	4,94	610	76	153	116	65	65	66	66	7	1	2	1
9	2,48	89,73	2,26	610	76	153	116	65	65	65	65	7	1	2	1
10	0,94	500,00	39,68	610	76	153	116	65	65	65	65	7	1	2	1
11	2,12	150,93	32,38	398	48	98	76	8	8	8	8	66	8	16	12
12	2,01	127,94	27,45	610	76	153	116	65	65	65	65	7	1	2	1
13	2,40	500,00	262,85	402	49	99	76	8	9	9	9	66	8	16	12
14	1,80	500,00	262,85	610	76	153	116	65	65	65	65	7	1	2	1
15	2,72	500,00	457,26	404	49	100	77	9	9	9	9	66	8	16	12
16	0,00	29,45	29,83	610	76	153	116	65	65	65	65	7	1	2	1
17	0,23	164,57	190,33	415	51	102	78	10	10	10	10	65	8	16	12
18	2,89	500,00	544,56	610	76	153	116	64	64	65	65	7	1	2	1
19	0,77	48,03	32,01	418	51	103	79	10	10	10	10	64	8	16	12
20	0,00	60,21	40,14	611	76	153	116	64	64	64	65	7	1	2	1
21	0,00	64,75	43,16	420	52	103	79	10	10	10	10	63	8	15	12
22	1,65	270,51	184,42	451	56	111	84	19	19	20	19	61	8	15	11
23	3,42	260,34	794,69	611	76	153	116	64	64	64	64	7	1	2	1

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo calculado (flujo / %)				Velocidad calculada (velocidad * %)				Densidad calculada (densidad / %)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
24	1,42	500,00	1108,78	612	77	153	117	62	56	55	55	7	1	2	2
25	0,61	61,82	188,71	612	77	153	117	72	65	64	65	3	0	1	1
26	3,11	226,60	370,00	611	76	153	116	64	64	64	64	7	1	2	1
27	1,93	500,00	644,61	611	76	153	116	63	63	64	64	7	1	2	1
28	3,12	309,51	1754,37	452	56	111	84	14	14	14	14	61	8	15	11
29	1,36	136,48	552,82	464	58	114	87	18	18	19	19	59	8	14	11
30	0,64	173,04	276,07	612	77	153	116	72	66	66	66	3	0	1	1
31	3,09	168,24	268,41	612	77	153	117	62	57	57	56	4	1	1	1
32	2,33	254,65	330,28	465	58	114	87	17	17	18	18	59	8	14	11
33	1,91	272,05	296,35	466	58	115	87	17	17	17	17	60	8	14	11
34	2,26	131,17	115,19	467	58	115	87	16	15	16	16	59	8	14	11
35	1,59	500,00	516,96	612	77	154	117	73	67	66	66	3	0	1	1
101	-1,83	500,00	1,45	533	67	130	100	24	23	23	23	52	6	12	10
102	-1,86	65,22	10,57	614	77	154	117	73	66	66	66	3	0	1	1
103	-0,20	98,38	15,95	614	77	154	117	73	66	66	66	3	0	1	1
104	-1,54	500,00	24,11	489	61	120	91	20	20	20	20	57	8	14	10
105	-2,32	500,00	39,23	614	77	154	117	72	66	65	65	3	0	1	1
106	-0,97	500,00	12,73	490	61	120	92	18	18	18	18	57	7	14	10
107	-2,46	196,04	5,02	614	77	154	117	72	66	66	66	3	0	1	1
108	-2,49	193,70	4,94	615	77	154	117	73	66	66	66	3	0	1	1
109	-2,48	89,73	2,26	615	77	154	117	73	66	66	66	3	0	1	1
110	-0,94	500,00	39,68	515	64	126	96	21	21	21	21	55	7	13	10
111	-2,12	150,93	32,38	615	77	154	117	73	66	66	66	3	0	1	1
112	-2,01	127,94	27,45	518	64	126	97	21	21	22	22	54	7	13	10
113	-2,40	500,00	262,85	615	77	154	117	73	66	66	66	3	0	1	1

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo calculado (flujo / %)				Velocidad calculada (velocidad * %)				Densidad calculada (densidad / %)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
114	-1,80	500,00	262,85	520	65	127	98	22	22	22	22	54	7	13	10
115	-2,72	500,00	457,26	616	77	154	117	73	66	66	66	3	0	1	1
116	0,00	29,45	29,83	525	66	128	99	22	22	22	22	53	7	13	10
117	-0,23	164,57	190,33	616	77	154	117	73	66	66	66	3	0	1	1
118	-2,89	500,00	544,56	506	63	124	94	20	20	20	20	55	7	13	10
119	-0,77	48,03	32,01	614	77	154	117	73	66	66	66	3	0	1	1
120	0,00	60,21	40,14	512	64	125	96	21	21	21	21	54	7	13	10
121	0,00	64,75	43,16	610	76	153	116	66	66	66	66	7	1	2	1
122	-1,65	270,51	184,42	610	76	153	116	66	66	66	66	7	1	2	1
123	-3,42	260,34	794,69	611	76	153	116	63	63	64	63	7	1	2	1
124	-1,42	500,00	1108,78	617	77	155	117	72	66	66	66	3	0	1	1
125	-0,61	61,82	188,71	612	77	153	116	72	66	66	66	3	0	1	1
126	-3,11	226,60	370,00	372	45	92	71	4	4	4	4	68	8	17	13
127	-1,93	500,00	644,61	376	45	93	72	5	5	5	5	68	8	17	13
128	-3,12	309,51	1754,37	383	46	95	73	6	6	6	6	67	8	17	13
129	-1,36	136,48	552,82	406	50	100	77	9	9	9	9	65	8	16	12
130	-0,64	173,04	276,07	431	53	107	81	11	11	11	11	62	8	15	12
131	-3,09	168,24	268,41	443	55	109	83	13	13	13	13	61	8	15	11
132	-2,33	254,65	330,28	455	57	112	85	14	15	15	15	60	8	14	11
133	-1,91	272,05	296,35	471	59	115	88	16	16	16	16	58	8	14	11
134	-2,26	131,17	115,19	476	60	117	89	16	16	16	17	57	7	14	11
135	-1,59	500,00	516,96	495	62	121	92	19	19	19	18	56	7	13	10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°23. Resultados Microsimulación Escenario 2 – Cuesta La Dormida

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo calculado (flujo / %)				Velocidad calculada (velocidad * %)				Densidad calculada (densidad / %)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
1	1,83	500,00	1,45	703	104	175	137	49	47	46	46	8	1	2	2
2	1,86	65,22	10,57	703	104	175	138	8	7	7	7	48	8	13	11
3	0,20	98,38	15,95	703	104	175	137	56	56	56	56	7	1	2	1
4	1,54	500,00	24,11	423	64	107	83	4	4	4	4	66	10	17	13
5	2,32	500,00	39,23	423	64	107	84	4	4	4	4	66	10	17	13
6	0,97	500,00	12,73	437	67	112	87	6	6	6	6	64	10	16	13
7	2,46	196,04	5,02	703	104	175	137	56	56	56	56	7	1	2	1
8	2,49	193,70	4,94	704	104	175	137	55	55	55	56	7	1	2	1
9	2,48	89,73	2,26	703	104	175	137	55	55	55	55	7	1	2	1
10	0,94	500,00	39,68	704	104	175	137	55	55	55	55	7	1	2	1
11	2,12	150,93	32,38	445	68	113	89	6	6	6	6	64	10	16	13
12	2,01	127,94	27,45	703	104	175	137	55	55	55	55	7	1	2	1
13	2,40	500,00	262,85	449	69	114	89	7	6	7	6	63	10	16	13
14	1,80	500,00	262,85	704	104	175	137	55	55	55	55	7	1	2	1
15	2,72	500,00	457,26	453	70	115	90	7	7	7	7	63	10	16	13
16	0,00	29,45	29,83	704	104	175	137	55	55	55	55	7	1	2	1
17	0,23	164,57	190,33	464	71	118	93	7	7	7	7	63	10	16	13
18	2,89	500,00	544,56	703	104	175	137	54	54	54	55	7	1	2	1
19	0,77	48,03	32,01	467	72	118	93	8	8	8	8	63	10	16	12
20	0,00	60,21	40,14	704	104	175	137	54	54	54	55	7	1	2	1
21	0,00	64,75	43,16	470	72	119	93	8	8	8	8	62	10	16	12
22	1,65	270,51	184,42	499	77	127	100	13	14	14	14	61	10	15	12
23	3,42	260,34	794,69	704	104	175	137	54	54	54	54	7	1	2	1

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo calculado (flujo / %)				Velocidad calculada (velocidad * %)				Densidad calculada (densidad / %)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
24	1,42	500,00	1108,78	711	105	177	139	52	47	46	46	7	1	2	2
25	0,61	61,82	188,71	712	105	177	139	61	55	54	54	3	0	1	1
26	3,11	226,60	370,00	705	104	175	138	54	54	54	54	7	1	2	1
27	1,93	500,00	644,61	705	104	175	138	54	54	54	54	7	1	2	1
28	3,12	309,51	1754,37	500	77	128	101	9	9	9	9	61	9	15	12
29	1,36	136,48	552,82	512	79	131	104	12	12	12	12	61	9	15	12
30	0,64	173,04	276,07	707	104	176	138	61	56	55	55	3	0	1	1
31	3,09	168,24	268,41	711	105	177	139	51	47	46	46	5	1	1	1
32	2,33	254,65	330,28	513	79	131	104	11	11	11	11	60	9	15	12
33	1,91	272,05	296,35	515	79	131	104	11	11	11	11	61	9	15	12
34	2,26	131,17	115,19	516	79	132	105	9	9	9	9	60	9	15	12
35	1,59	500,00	516,96	712	105	177	139	61	56	56	56	3	0	1	1
101	-1,83	500,00	1,45	586	90	150	119	14	14	14	14	55	9	14	11
102	-1,86	65,22	10,57	713	106	177	139	61	56	56	56	3	0	1	1
103	-0,20	98,38	15,95	713	106	177	139	61	56	56	56	3	0	1	1
104	-1,54	500,00	24,11	539	83	139	110	14	14	14	14	59	9	15	12
105	-2,32	500,00	39,23	713	106	178	139	61	56	55	55	3	0	1	1
106	-0,97	500,00	12,73	541	83	139	110	12	12	12	12	58	9	15	12
107	-2,46	196,04	5,02	713	106	178	140	61	56	56	56	3	0	1	1
108	-2,49	193,70	4,94	713	106	178	140	61	56	55	55	3	0	1	1
109	-2,48	89,73	2,26	713	106	178	140	61	56	55	56	3	0	1	1
110	-0,94	500,00	39,68	564	86	145	115	13	13	13	13	57	9	15	12
111	-2,12	150,93	32,38	713	106	178	140	61	56	56	56	3	0	1	1
112	-2,01	127,94	27,45	568	87	145	116	14	14	14	13	56	9	14	12
113	-2,40	500,00	262,85	713	106	178	140	61	56	56	56	3	0	1	1

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo calculado (flujo / %)				Velocidad calculada (velocidad * %)				Densidad calculada (densidad / %)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
114	-1,80	500,00	262,85	572	87	146	116	14	14	14	13	56	9	14	12
115	-2,72	500,00	457,26	714	107	178	140	61	56	56	56	3	0	1	1
116	0,00	29,45	29,83	577	89	147	117	14	14	14	14	56	9	14	12
117	-0,23	164,57	190,33	714	107	178	140	61	56	56	56	3	0	1	1
118	-2,89	500,00	544,56	556	85	143	113	13	13	13	13	57	9	14	12
119	-0,77	48,03	32,01	713	106	178	140	61	56	55	56	3	0	1	1
120	0,00	60,21	40,14	562	86	145	115	14	13	14	13	56	9	14	12
121	0,00	64,75	43,16	703	104	175	137	56	56	56	56	7	1	2	1
122	-1,65	270,51	184,42	703	104	175	137	55	56	56	56	7	1	2	1
123	-3,42	260,34	794,69	705	104	175	138	53	53	54	54	7	1	2	1
124	-1,42	500,00	1108,78	715	107	179	141	61	56	56	56	3	0	1	1
125	-0,61	61,82	188,71	708	105	176	139	60	55	54	54	4	1	1	1
126	-3,11	226,60	370,00	422	64	108	84	3	3	3	3	64	10	17	13
127	-1,93	500,00	644,61	423	64	108	84	4	4	4	4	65	10	17	13
128	-3,12	309,51	1754,37	430	65	110	85	5	5	5	5	65	10	17	13
129	-1,36	136,48	552,82	454	70	116	90	7	7	7	7	63	10	16	13
130	-0,64	173,04	276,07	480	74	121	95	8	8	8	8	62	10	16	12
131	-3,09	168,24	268,41	491	75	125	98	8	8	8	9	61	10	15	12
132	-2,33	254,65	330,28	503	77	128	101	9	9	9	9	61	9	15	12
133	-1,91	272,05	296,35	522	80	133	105	10	10	10	10	60	9	15	12
134	-2,26	131,17	115,19	526	80	135	106	11	11	11	11	59	9	15	12
135	-1,59	500,00	516,96	544	83	140	111	12	12	12	12	58	9	15	12

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°24. Resultados Microsimulación Escenario 3 – Cuesta La Dormida

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo calculado (flujo / %)				Velocidad calculada (velocidad * %)				Densidad calculada (densidad / %)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
1	1,83	500,00	1,45	702	116	175	146	47	45	44	45	7	1	2	2
2	1,86	65,22	10,57	702	116	175	146	8	7	7	7	47	9	13	11
3	0,20	98,38	15,95	702	116	175	146	54	54	54	54	6	1	2	1
4	1,54	500,00	24,11	432	76	108	90	4	4	4	4	63	11	16	13
5	2,32	500,00	39,23	432	76	108	90	3	3	3	3	63	11	16	13
6	0,97	500,00	12,73	441	79	111	92	5	5	5	5	62	11	16	13
7	2,46	196,04	5,02	702	116	175	146	54	54	54	54	6	1	2	1
8	2,49	193,70	4,94	702	116	175	146	53	53	53	53	6	1	2	1
9	2,48	89,73	2,26	702	117	175	146	53	53	53	53	6	1	2	1
10	0,94	500,00	39,68	702	117	175	146	53	53	53	53	6	1	2	1
11	2,12	150,93	32,38	449	80	113	94	5	5	6	5	62	11	16	13
12	2,01	127,94	27,45	702	117	175	146	53	53	53	53	6	1	2	1
13	2,40	500,00	262,85	453	81	114	94	6	6	6	5	62	11	16	13
14	1,80	500,00	262,85	702	117	175	146	53	53	53	53	6	1	2	1
15	2,72	500,00	457,26	457	81	114	95	6	6	6	6	62	11	16	13
16	0,00	29,45	29,83	703	117	175	146	53	53	53	53	6	1	2	1
17	0,23	164,57	190,33	467	83	117	97	6	6	6	6	62	11	15	13
18	2,89	500,00	544,56	703	117	175	146	52	52	53	52	7	1	2	1
19	0,77	48,03	32,01	469	83	117	98	7	7	7	6	62	11	16	13
20	0,00	60,21	40,14	702	117	175	146	52	52	52	52	7	1	2	1
21	0,00	64,75	43,16	471	84	118	98	7	7	7	7	61	11	15	13
22	1,65	270,51	184,42	502	88	126	105	13	13	13	13	61	11	15	13
23	3,42	260,34	794,69	703	117	175	146	52	52	52	52	7	1	2	1

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo calculado (flujo / %)				Velocidad calculada (velocidad * %)				Densidad calculada (densidad / %)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
24	1,42	500,00	1108,78	711	119	178	148	50	45	44	45	7	1	2	2
25	0,61	61,82	188,71	712	119	178	148	59	53	52	53	3	1	1	1
26	3,11	226,60	370,00	704	117	176	147	52	52	52	52	7	1	2	1
27	1,93	500,00	644,61	704	117	176	147	52	52	52	52	7	1	2	1
28	3,12	309,51	1754,37	502	88	126	105	8	8	8	8	61	11	15	12
29	1,36	136,48	552,82	513	90	129	107	11	11	11	11	60	11	15	12
30	0,64	173,04	276,07	706	118	176	147	59	53	53	53	3	1	1	1
31	3,09	168,24	268,41	710	118	177	148	50	45	45	45	5	1	1	1
32	2,33	254,65	330,28	514	91	129	107	10	10	10	10	60	11	15	13
33	1,91	272,05	296,35	515	91	129	108	10	10	10	10	60	11	15	13
34	2,26	131,17	115,19	516	91	130	108	8	8	8	8	60	11	15	12
35	1,59	500,00	516,96	712	118	178	148	59	54	54	54	3	1	1	1
101	-1,83	500,00	1,45	585	102	147	121	11	11	11	11	57	10	14	12
102	-1,86	65,22	10,57	713	118	178	148	59	54	54	54	3	1	1	1
103	-0,20	98,38	15,95	714	118	178	149	59	54	54	53	3	1	1	1
104	-1,54	500,00	24,11	539	95	135	112	11	11	11	11	60	10	15	12
105	-2,32	500,00	39,23	714	118	178	149	59	54	53	53	3	1	1	1
106	-0,97	500,00	12,73	540	95	136	112	9	9	9	9	59	10	15	12
107	-2,46	196,04	5,02	716	119	178	149	59	54	54	54	3	1	1	1
108	-2,49	193,70	4,94	716	119	178	149	59	54	53	53	3	1	1	1
109	-2,48	89,73	2,26	716	119	178	149	59	54	54	53	3	1	1	1
110	-0,94	500,00	39,68	567	99	142	118	10	10	10	10	59	10	15	12
111	-2,12	150,93	32,38	717	119	178	150	59	54	54	53	3	1	1	1
112	-2,01	127,94	27,45	571	99	142	119	10	10	10	11	58	10	15	12
113	-2,40	500,00	262,85	717	119	178	150	59	54	54	53	3	1	1	1

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo calculado (flujo / %)				Velocidad calculada (velocidad * %)				Densidad calculada (densidad / %)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
114	-1,80	500,00	262,85	573	100	143	119	10	10	10	11	58	10	15	12
115	-2,72	500,00	457,26	717	119	178	150	59	54	54	54	3	1	1	1
116	0,00	29,45	29,83	578	101	144	120	11	11	11	11	58	10	15	12
117	-0,23	164,57	190,33	717	119	178	150	59	54	54	53	3	1	1	1
118	-2,89	500,00	544,56	558	98	140	116	9	9	9	9	58	10	15	12
119	-0,77	48,03	32,01	717	119	178	149	59	54	53	53	3	1	1	1
120	0,00	60,21	40,14	563	99	141	117	10	10	10	10	58	10	15	12
121	0,00	64,75	43,16	702	116	175	146	54	54	54	54	6	1	2	1
122	-1,65	270,51	184,42	702	116	175	146	53	54	54	54	6	1	2	1
123	-3,42	260,34	794,69	704	117	176	147	51	52	52	52	7	1	2	1
124	-1,42	500,00	1108,78	719	119	179	150	59	54	54	54	3	1	1	1
125	-0,61	61,82	188,71	708	118	177	148	58	52	52	52	4	1	1	1
126	-3,11	226,60	370,00	431	76	108	90	3	3	3	3	62	11	16	13
127	-1,93	500,00	644,61	432	76	108	90	3	3	3	3	63	11	16	13
128	-3,12	309,51	1754,37	434	77	109	91	4	4	4	4	63	11	16	13
129	-1,36	136,48	552,82	458	82	115	96	6	6	6	6	62	11	15	13
130	-0,64	173,04	276,07	481	85	121	101	7	7	7	7	61	11	15	13
131	-3,09	168,24	268,41	493	87	124	103	7	8	7	8	61	11	15	12
132	-2,33	254,65	330,28	505	89	127	105	8	8	8	8	60	11	15	12
133	-1,91	272,05	296,35	521	92	131	109	8	8	8	8	59	11	15	12
134	-2,26	131,17	115,19	526	93	132	110	8	8	8	9	59	10	15	12
135	-1,59	500,00	516,96	544	96	137	114	9	9	9	9	58	10	15	12

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°25. Resultados Microsimulación Escenario 4 – Cuesta La Dormida

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo calculado (flujo / %)				Velocidad calculada (velocidad * %)				Densidad calculada (densidad / %)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
1	1,83	500,00	1,45	668	127	180	153	46	45	44	44	7	1	2	2
2	1,86	65,22	10,57	668	127	180	153	8	7	7	7	45	10	13	11
3	0,20	98,38	15,95	668	127	180	152	54	54	54	54	6	1	2	1
4	1,54	500,00	24,11	409	80	112	93	4	4	4	4	60	12	16	14
5	2,32	500,00	39,23	409	79	112	93	3	3	3	3	60	12	17	14
6	0,97	500,00	12,73	417	81	114	95	4	4	4	4	60	12	16	14
7	2,46	196,04	5,02	668	127	180	152	53	54	54	54	6	1	2	1
8	2,49	193,70	4,94	668	128	180	153	53	53	53	53	6	1	2	1
9	2,48	89,73	2,26	668	128	180	153	53	53	53	53	6	1	2	1
10	0,94	500,00	39,68	668	128	180	152	53	53	53	53	6	1	2	1
11	2,12	150,93	32,38	424	82	116	96	5	5	5	5	60	12	16	14
12	2,01	127,94	27,45	668	128	180	153	53	53	53	53	6	1	2	1
13	2,40	500,00	262,85	427	83	117	97	5	5	5	5	59	12	16	14
14	1,80	500,00	262,85	668	128	181	152	53	52	53	53	6	1	2	1
15	2,72	500,00	457,26	430	84	118	97	6	6	6	6	59	12	16	14
16	0,00	29,45	29,83	668	128	181	153	53	52	53	53	6	1	2	1
17	0,23	164,57	190,33	438	86	120	99	6	6	6	6	59	12	16	13
18	2,89	500,00	544,56	668	128	181	153	52	52	52	52	6	1	2	1
19	0,77	48,03	32,01	440	86	120	100	6	6	6	6	59	12	16	14
20	0,00	60,21	40,14	668	128	181	153	52	52	52	52	6	1	2	1
21	0,00	64,75	43,16	442	86	121	101	6	6	7	6	59	12	16	13
22	1,65	270,51	184,42	469	92	127	107	12	12	12	12	58	11	16	13
23	3,42	260,34	794,69	669	128	182	153	52	52	52	52	6	1	2	1

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo calculado (flujo / %)				Velocidad calculada (velocidad * %)				Densidad calculada (densidad / %)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
24	1,42	500,00	1108,78	676	129	184	155	50	45	44	44	7	1	2	2
25	0,61	61,82	188,71	677	129	184	155	59	53	52	52	3	1	1	1
26	3,11	226,60	370,00	670	128	182	154	52	52	52	52	6	1	2	1
27	1,93	500,00	644,61	669	128	182	154	51	51	52	52	6	1	2	1
28	3,12	309,51	1754,37	470	92	128	107	7	7	7	7	58	11	16	13
29	1,36	136,48	552,82	480	94	130	111	11	11	11	11	57	11	16	14
30	0,64	173,04	276,07	671	128	183	154	58	53	53	53	3	1	1	1
31	3,09	168,24	268,41	676	129	184	155	49	45	44	44	5	1	2	1
32	2,33	254,65	330,28	481	94	130	111	10	10	10	10	58	12	16	13
33	1,91	272,05	296,35	483	95	130	111	10	10	9	10	58	11	16	13
34	2,26	131,17	115,19	483	95	131	111	8	8	8	8	57	11	16	13
35	1,59	500,00	516,96	677	129	184	155	59	54	54	54	3	1	1	1
101	-1,83	500,00	1,45	545	106	145	126	9	9	9	9	56	11	15	13
102	-1,86	65,22	10,57	678	130	185	156	59	54	54	54	3	1	1	1
103	-0,20	98,38	15,95	679	130	185	156	59	54	53	53	3	1	1	1
104	-1,54	500,00	24,11	504	99	136	116	11	11	10	10	57	11	15	13
105	-2,32	500,00	39,23	679	130	185	156	59	53	53	53	3	1	1	1
106	-0,97	500,00	12,73	505	99	136	116	8	8	8	8	57	11	15	13
107	-2,46	196,04	5,02	680	130	185	156	59	54	54	53	3	1	1	1
108	-2,49	193,70	4,94	680	130	185	156	59	54	53	53	3	1	1	1
109	-2,48	89,73	2,26	680	130	185	156	59	54	54	53	3	1	1	1
110	-0,94	500,00	39,68	527	103	140	122	9	9	9	9	57	11	15	13
111	-2,12	150,93	32,38	680	130	185	156	59	54	54	53	3	1	1	1
112	-2,01	127,94	27,45	531	104	141	123	9	9	9	9	57	11	15	13
113	-2,40	500,00	262,85	680	130	185	156	59	54	54	53	3	1	1	1

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo calculado (flujo / %)				Velocidad calculada (velocidad * %)				Densidad calculada (densidad / %)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
114	-1,80	500,00	262,85	533	104	142	123	9	9	9	9	56	11	15	13
115	-2,72	500,00	457,26	681	130	186	156	59	54	54	54	3	1	1	1
116	0,00	29,45	29,83	538	105	142	125	9	9	9	9	56	11	15	13
117	-0,23	164,57	190,33	681	130	186	156	59	54	54	53	3	1	1	1
118	-2,89	500,00	544,56	519	102	138	120	8	8	8	8	57	11	15	13
119	-0,77	48,03	32,01	680	130	185	156	59	54	53	53	3	1	1	1
120	0,00	60,21	40,14	525	103	139	122	9	9	9	9	56	11	15	13
121	0,00	64,75	43,16	668	127	180	153	53	54	53	53	6	1	2	1
122	-1,65	270,51	184,42	668	127	180	153	53	53	53	54	6	1	2	1
123	-3,42	260,34	794,69	669	128	182	153	51	51	52	52	6	1	2	1
124	-1,42	500,00	1108,78	683	130	186	156	59	54	54	54	3	1	1	1
125	-0,61	61,82	188,71	673	129	184	155	57	52	52	52	4	1	1	1
126	-3,11	226,60	370,00	410	80	112	93	3	3	3	3	59	12	16	13
127	-1,93	500,00	644,61	409	80	112	93	3	3	3	3	60	12	16	14
128	-3,12	309,51	1754,37	410	80	112	93	4	4	4	4	60	12	16	14
129	-1,36	136,48	552,82	431	84	118	98	6	6	6	5	59	12	16	13
130	-0,64	173,04	276,07	452	88	123	103	7	7	7	7	59	11	16	13
131	-3,09	168,24	268,41	461	90	125	106	7	7	7	7	58	11	16	13
132	-2,33	254,65	330,28	472	93	128	108	7	8	8	8	58	11	16	13
133	-1,91	272,05	296,35	487	96	132	113	8	8	8	8	57	11	15	13
134	-2,26	131,17	115,19	492	97	133	113	8	8	8	8	57	11	15	13
135	-1,59	500,00	516,96	507	100	136	117	8	8	8	8	57	11	15	13

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°26. Resultados Microsimulación Escenario 5 – Cuesta La Dormida

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo calculado (flujo / %)				Velocidad calculada (velocidad * %)				Densidad calculada (densidad / %)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
1	1,83	500,00	1,45	633	135	179	162	46	44	43	44	6	1	2	2
2	1,86	65,22	10,57	634	135	179	162	7	7	7	6	43	10	13	12
3	0,20	98,38	15,95	633	135	179	162	53	53	53	53	6	1	2	1
4	1,54	500,00	24,11	408	85	114	104	4	4	4	4	57	12	16	14
5	2,32	500,00	39,23	407	85	114	104	4	4	3	3	57	12	16	15
6	0,97	500,00	12,73	414	87	117	104	4	4	4	4	57	12	16	14
7	2,46	196,04	5,02	633	135	179	162	53	53	53	53	6	1	2	1
8	2,49	193,70	4,94	633	135	179	162	52	52	52	52	6	1	2	1
9	2,48	89,73	2,26	633	135	179	162	52	52	52	52	6	1	2	1
10	0,94	500,00	39,68	633	135	179	162	52	52	52	52	6	1	2	1
11	2,12	150,93	32,38	420	88	119	105	5	5	5	5	57	12	16	14
12	2,01	127,94	27,45	633	135	179	162	52	52	52	52	6	1	2	1
13	2,40	500,00	262,85	423	89	120	106	5	5	5	5	56	12	16	14
14	1,80	500,00	262,85	633	135	179	162	52	52	52	52	6	1	2	1
15	2,72	500,00	457,26	426	90	121	107	6	5	5	6	56	12	16	14
16	0,00	29,45	29,83	633	135	179	162	52	52	52	52	6	1	2	1
17	0,23	164,57	190,33	434	91	124	109	6	6	6	6	56	12	16	14
18	2,89	500,00	544,56	633	135	179	162	51	51	52	52	6	1	2	1
19	0,77	48,03	32,01	436	92	124	110	6	6	6	6	56	12	16	14
20	0,00	60,21	40,14	634	136	179	162	51	51	51	52	6	1	2	1
21	0,00	64,75	43,16	438	92	125	110	6	6	6	6	56	12	16	14
22	1,65	270,51	184,42	464	98	133	116	12	13	12	12	56	11	16	14
23	3,42	260,34	794,69	635	136	180	162	51	51	51	51	6	1	2	1

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo calculado (flujo / %)				Velocidad calculada (velocidad * %)				Densidad calculada (densidad / %)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
24	1,42	500,00	1108,78	643	138	183	164	49	44	44	44	6	1	2	2
25	0,61	61,82	188,71	644	138	183	164	58	52	51	52	3	1	1	1
26	3,11	226,60	370,00	636	136	180	162	51	51	51	51	6	1	2	1
27	1,93	500,00	644,61	636	136	180	162	51	51	51	51	6	1	2	1
28	3,12	309,51	1754,37	464	98	133	116	7	7	7	7	55	12	16	14
29	1,36	136,48	552,82	474	101	136	119	11	11	11	11	55	12	16	13
30	0,64	173,04	276,07	639	137	181	163	57	52	52	52	3	1	1	1
31	3,09	168,24	268,41	643	138	183	164	49	45	44	44	4	1	1	1
32	2,33	254,65	330,28	474	101	136	119	10	10	10	10	55	12	16	14
33	1,91	272,05	296,35	475	102	137	119	9	10	9	9	55	12	16	14
34	2,26	131,17	115,19	477	102	137	119	8	8	7	8	55	12	16	14
35	1,59	500,00	516,96	644	138	183	164	58	53	53	53	3	1	1	1
101	-1,83	500,00	1,45	534	113	153	133	9	8	9	9	53	11	15	13
102	-1,86	65,22	10,57	644	138	183	165	58	53	53	53	3	1	1	1
103	-0,20	98,38	15,95	645	139	183	165	58	53	52	52	3	1	1	1
104	-1,54	500,00	24,11	495	107	142	124	10	10	10	10	55	12	16	14
105	-2,32	500,00	39,23	645	139	183	165	58	53	52	52	3	1	1	1
106	-0,97	500,00	12,73	496	107	142	124	8	8	8	8	54	12	15	14
107	-2,46	196,04	5,02	646	139	183	165	58	53	53	53	3	1	1	1
108	-2,49	193,70	4,94	647	139	183	165	58	53	52	52	3	1	1	1
109	-2,48	89,73	2,26	647	139	183	165	58	53	53	52	3	1	1	1
110	-0,94	500,00	39,68	519	110	149	129	8	8	8	8	54	12	16	13
111	-2,12	150,93	32,38	647	139	183	165	58	53	53	53	3	1	1	1
112	-2,01	127,94	27,45	521	110	150	129	9	9	9	9	54	11	15	13
113	-2,40	500,00	262,85	648	139	183	165	58	53	53	53	3	1	1	1

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo calculado (flujo / %)				Velocidad calculada (velocidad * %)				Densidad calculada (densidad / %)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
114	-1,80	500,00	262,85	523	111	150	130	9	9	9	9	54	11	15	13
115	-2,72	500,00	457,26	648	139	183	165	58	53	53	53	3	1	1	1
116	0,00	29,45	29,83	528	112	151	131	9	9	9	9	54	11	15	13
117	-0,23	164,57	190,33	648	139	183	165	58	53	53	53	3	1	1	1
118	-2,89	500,00	544,56	511	109	147	127	8	8	8	8	54	12	15	13
119	-0,77	48,03	32,01	647	139	183	165	58	53	53	52	3	1	1	1
120	0,00	60,21	40,14	516	109	149	128	9	8	8	8	54	11	16	13
121	0,00	64,75	43,16	633	135	179	162	53	53	53	53	6	1	2	1
122	-1,65	270,51	184,42	633	135	179	162	52	53	53	53	6	1	2	1
123	-3,42	260,34	794,69	636	136	180	162	50	51	51	51	6	1	2	1
124	-1,42	500,00	1108,78	649	140	183	165	58	53	53	53	3	1	1	1
125	-0,61	61,82	188,71	640	137	182	164	56	51	51	51	3	1	1	1
126	-3,11	226,60	370,00	407	86	115	103	3	3	3	3	56	12	16	14
127	-1,93	500,00	644,61	408	86	114	103	3	3	3	3	57	12	16	14
128	-3,12	309,51	1754,37	408	86	116	103	4	4	4	4	57	12	16	14
129	-1,36	136,48	552,82	428	90	121	107	5	5	5	5	56	12	16	14
130	-0,64	173,04	276,07	447	94	127	113	7	7	6	7	55	12	16	14
131	-3,09	168,24	268,41	457	97	130	114	7	7	7	7	55	12	16	14
132	-2,33	254,65	330,28	467	99	134	117	7	7	7	7	55	12	16	14
133	-1,91	272,05	296,35	447	94	127	113	7	7	6	7	55	12	16	14
134	-2,26	131,17	115,19	457	97	130	114	7	7	7	7	55	12	16	14
135	-1,59	500,00	516,96	467	99	134	117	7	7	7	7	55	12	16	14

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°27. Resultados Microsimulación Escenario 6 – Cuesta La Dormida

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo calculado (flujo / %)				Velocidad calculada (velocidad * %)				Densidad calculada (densidad / %)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
1	1,83	500,00	1,45	1770	-	-	-	59	-	-	-	17	-	-	-
2	1,86	65,22	10,57	1770	-	-	-	11	-	-	-	91	-	-	-
3	0,20	98,38	15,95	1770	-	-	-	61	-	-	-	17	-	-	-
4	1,54	500,00	24,11	1770	-	-	-	3	-	-	-	158	-	-	-
5	2,32	500,00	39,23	1770	-	-	-	3	-	-	-	158	-	-	-
6	0,97	500,00	12,73	680	-	-	-	5	-	-	-	155	-	-	-
7	2,46	196,04	5,02	680	-	-	-	60	-	-	-	17	-	-	-
8	2,49	193,70	4,94	719	-	-	-	58	-	-	-	18	-	-	-
9	2,48	89,73	2,26	1769	-	-	-	58	-	-	-	18	-	-	-
10	0,94	500,00	39,68	1769	-	-	-	58	-	-	-	18	-	-	-
11	2,12	150,93	32,38	1769	-	-	-	6	-	-	-	154	-	-	-
12	2,01	127,94	27,45	1769	-	-	-	58	-	-	-	18	-	-	-
13	2,40	500,00	262,85	739	-	-	-	6	-	-	-	153	-	-	-
14	1,80	500,00	262,85	1769	-	-	-	58	-	-	-	18	-	-	-
15	2,72	500,00	457,26	748	-	-	-	7	-	-	-	153	-	-	-
16	0,00	29,45	29,83	1769	-	-	-	58	-	-	-	18	-	-	-
17	0,23	164,57	190,33	757	-	-	-	7	-	-	-	151	-	-	-
18	2,89	500,00	544,56	1769	-	-	-	57	-	-	-	18	-	-	-
19	0,77	48,03	32,01	781	-	-	-	8	-	-	-	150	-	-	-
20	0,00	60,21	40,14	1769	-	-	-	57	-	-	-	18	-	-	-
21	0,00	64,75	43,16	788	-	-	-	8	-	-	-	149	-	-	-
22	1,65	270,51	184,42	1770	-	-	-	9	-	-	-	146	-	-	-
23	3,42	260,34	794,69	793	-	-	-	57	-	-	-	18	-	-	-

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo calculado (flujo / %)				Velocidad calculada (velocidad * %)				Densidad calculada (densidad / %)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
24	1,42	500,00	1108,78	868	-	-	-	55	-	-	-	18	-	-	-
25	0,61	61,82	188,71	1770	-	-	-	65	-	-	-	8	-	-	-
26	3,11	226,60	370,00	1776	-	-	-	57	-	-	-	18	-	-	-
27	1,93	500,00	644,61	1776	-	-	-	57	-	-	-	18	-	-	-
28	3,12	309,51	1754,37	1771	-	-	-	9	-	-	-	145	-	-	-
29	1,36	136,48	552,82	1771	-	-	-	11	-	-	-	143	-	-	-
30	0,64	173,04	276,07	869	-	-	-	65	-	-	-	8	-	-	-
31	3,09	168,24	268,41	901	-	-	-	55	-	-	-	12	-	-	-
32	2,33	254,65	330,28	1773	-	-	-	11	-	-	-	143	-	-	-
33	1,91	272,05	296,35	1776	-	-	-	11	-	-	-	143	-	-	-
34	2,26	131,17	115,19	904	-	-	-	11	-	-	-	142	-	-	-
35	1,59	500,00	516,96	907	-	-	-	65	-	-	-	8	-	-	-
101	-1,83	500,00	1,45	910	-	-	-	16	-	-	-	130	-	-	-
102	-1,86	65,22	10,57	1776	-	-	-	65	-	-	-	8	-	-	-
103	-0,20	98,38	15,95	1078	-	-	-	65	-	-	-	8	-	-	-
104	-1,54	500,00	24,11	1777	-	-	-	13	-	-	-	139	-	-	-
105	-2,32	500,00	39,23	1778	-	-	-	65	-	-	-	8	-	-	-
106	-0,97	500,00	12,73	967	-	-	-	13	-	-	-	138	-	-	-
107	-2,46	196,04	5,02	1778	-	-	-	65	-	-	-	8	-	-	-
108	-2,49	193,70	4,94	970	-	-	-	65	-	-	-	8	-	-	-
109	-2,48	89,73	2,26	1779	-	-	-	65	-	-	-	8	-	-	-
110	-0,94	500,00	39,68	1780	-	-	-	14	-	-	-	134	-	-	-
111	-2,12	150,93	32,38	1780	-	-	-	65	-	-	-	8	-	-	-
112	-2,01	127,94	27,45	1032	-	-	-	15	-	-	-	133	-	-	-
113	-2,40	500,00	262,85	1780	-	-	-	65	-	-	-	8	-	-	-

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo calculado (flujo / %)				Velocidad calculada (velocidad * %)				Densidad calculada (densidad / %)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
114	-1,80	500,00	262,85	1040	-	-	-	15	-	-	-	133	-	-	-
115	-2,72	500,00	457,26	1780	-	-	-	65	-	-	-	8	-	-	-
116	0,00	29,45	29,83	1047	-	-	-	15	-	-	-	132	-	-	-
117	-0,23	164,57	190,33	1780	-	-	-	65	-	-	-	8	-	-	-
118	-2,89	500,00	544,56	1059	-	-	-	14	-	-	-	135	-	-	-
119	-0,77	48,03	32,01	1781	-	-	-	65	-	-	-	8	-	-	-
120	0,00	60,21	40,14	1011	-	-	-	14	-	-	-	135	-	-	-
121	0,00	64,75	43,16	1780	-	-	-	61	-	-	-	17	-	-	-
122	-1,65	270,51	184,42	1025	-	-	-	59	-	-	-	17	-	-	-
123	-3,42	260,34	794,69	1770	-	-	-	56	-	-	-	19	-	-	-
124	-1,42	500,00	1108,78	1769	-	-	-	65	-	-	-	8	-	-	-
125	-0,61	61,82	188,71	1771	-	-	-	64	-	-	-	8	-	-	-
126	-3,11	226,60	370,00	1783	-	-	-	3	-	-	-	155	-	-	-
127	-1,93	500,00	644,61	1773	-	-	-	3	-	-	-	157	-	-	-
128	-3,12	309,51	1754,37	680	-	-	-	4	-	-	-	156	-	-	-
129	-1,36	136,48	552,82	683	-	-	-	7	-	-	-	152	-	-	-
130	-0,64	173,04	276,07	700	-	-	-	8	-	-	-	147	-	-	-
131	-3,09	168,24	268,41	761	-	-	-	9	-	-	-	146	-	-	-
132	-2,33	254,65	330,28	818	-	-	-	9	-	-	-	144	-	-	-
133	-1,91	272,05	296,35	845	-	-	-	12	-	-	-	141	-	-	-
134	-2,26	131,17	115,19	877	-	-	-	12	-	-	-	140	-	-	-
135	-1,59	500,00	516,96	922	-	-	-	14	-	-	-	137	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°28. Resultados Microsimulación Escenario 7 – Cuesta La Dormida

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo calculado (flujo / %)				Velocidad calculada (velocidad * %)				Densidad calculada (densidad / %)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
1	1,83	500,00	1,45	50	-	-	-	91	-	-	-	0	-	-	-
2	1,86	65,22	10,57	50	-	-	-	16	-	-	-	1	-	-	-
3	0,20	98,38	15,95	50	-	-	-	93	-	-	-	1	-	-	-
4	1,54	500,00	24,11	50	-	-	-	4	-	-	-	0	-	-	-
5	2,32	500,00	39,23	50	-	-	-	4	-	-	-	0	-	-	-
6	0,97	500,00	12,73	50	-	-	-	8	-	-	-	0	-	-	-
7	2,46	196,04	5,02	50	-	-	-	92	-	-	-	0	-	-	-
8	2,49	193,70	4,94	50	-	-	-	90	-	-	-	0	-	-	-
9	2,48	89,73	2,26	50	-	-	-	89	-	-	-	1	-	-	-
10	0,94	500,00	39,68	50	-	-	-	89	-	-	-	0	-	-	-
11	2,12	150,93	32,38	50	-	-	-	9	-	-	-	0	-	-	-
12	2,01	127,94	27,45	50	-	-	-	89	-	-	-	0	-	-	-
13	2,40	500,00	262,85	50	-	-	-	10	-	-	-	0	-	-	-
14	1,80	500,00	262,85	50	-	-	-	89	-	-	-	0	-	-	-
15	2,72	500,00	457,26	50	-	-	-	10	-	-	-	0	-	-	-
16	0,00	29,45	29,83	50	-	-	-	90	-	-	-	2	-	-	-
17	0,23	164,57	190,33	50	-	-	-	11	-	-	-	0	-	-	-
18	2,89	500,00	544,56	50	-	-	-	87	-	-	-	0	-	-	-
19	0,77	48,03	32,01	50	-	-	-	12	-	-	-	1	-	-	-
20	0,00	60,21	40,14	50	-	-	-	88	-	-	-	1	-	-	-
21	0,00	64,75	43,16	50	-	-	-	12	-	-	-	1	-	-	-
22	1,65	270,51	184,42	50	-	-	-	13	-	-	-	0	-	-	-
23	3,42	260,34	794,69	50	-	-	-	88	-	-	-	0	-	-	-

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo calculado (flujo / %)				Velocidad calculada (velocidad * %)				Densidad calculada (densidad / %)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
24	1,42	500,00	1108,78	50	-	-	-	85	-	-	-	0	-	-	-
25	0,61	61,82	188,71	50	-	-	-	100	-	-	-	1	-	-	-
26	3,11	226,60	370,00	50	-	-	-	88	-	-	-	0	-	-	-
27	1,93	500,00	644,61	50	-	-	-	88	-	-	-	0	-	-	-
28	3,12	309,51	1754,37	50	-	-	-	13	-	-	-	0	-	-	-
29	1,36	136,48	552,82	50	-	-	-	16	-	-	-	0	-	-	-
30	0,64	173,04	276,07	50	-	-	-	100	-	-	-	0	-	-	-
31	3,09	168,24	268,41	50	-	-	-	84	-	-	-	0	-	-	-
32	2,33	254,65	330,28	50	-	-	-	17	-	-	-	0	-	-	-
33	1,91	272,05	296,35	50	-	-	-	17	-	-	-	0	-	-	-
34	2,26	131,17	115,19	50	-	-	-	17	-	-	-	0	-	-	-
35	1,59	500,00	516,96	50	-	-	-	100	-	-	-	0	-	-	-
101	-1,83	500,00	1,45	50	-	-	-	25	-	-	-	0	-	-	-
102	-1,86	65,22	10,57	50	-	-	-	100	-	-	-	1	-	-	-
103	-0,20	98,38	15,95	50	-	-	-	100	-	-	-	1	-	-	-
104	-1,54	500,00	24,11	50	-	-	-	20	-	-	-	0	-	-	-
105	-2,32	500,00	39,23	50	-	-	-	100	-	-	-	0	-	-	-
106	-0,97	500,00	12,73	50	-	-	-	20	-	-	-	0	-	-	-
107	-2,46	196,04	5,02	50	-	-	-	100	-	-	-	0	-	-	-
108	-2,49	193,70	4,94	50	-	-	-	100	-	-	-	0	-	-	-
109	-2,48	89,73	2,26	50	-	-	-	100	-	-	-	1	-	-	-
110	-0,94	500,00	39,68	50	-	-	-	22	-	-	-	0	-	-	-
111	-2,12	150,93	32,38	50	-	-	-	100	-	-	-	0	-	-	-
112	-2,01	127,94	27,45	50	-	-	-	22	-	-	-	0	-	-	-
113	-2,40	500,00	262,85	50	-	-	-	100	-	-	-	0	-	-	-

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo calculado (flujo / %)				Velocidad calculada (velocidad * %)				Densidad calculada (densidad / %)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
114	-1,80	500,00	262,85	50	-	-	-	23	-	-	-	0	-	-	-
115	-2,72	500,00	457,26	50	-	-	-	100	-	-	-	0	-	-	-
116	0,00	29,45	29,83	50	-	-	-	23	-	-	-	2	-	-	-
117	-0,23	164,57	190,33	50	-	-	-	100	-	-	-	0	-	-	-
118	-2,89	500,00	544,56	50	-	-	-	21	-	-	-	0	-	-	-
119	-0,77	48,03	32,01	50	-	-	-	100	-	-	-	1	-	-	-
120	0,00	60,21	40,14	50	-	-	-	22	-	-	-	1	-	-	-
121	0,00	64,75	43,16	50	-	-	-	94	-	-	-	1	-	-	-
122	-1,65	270,51	184,42	50	-	-	-	91	-	-	-	0	-	-	-
123	-3,42	260,34	794,69	50	-	-	-	86	-	-	-	0	-	-	-
124	-1,42	500,00	1108,78	50	-	-	-	99	-	-	-	0	-	-	-
125	-0,61	61,82	188,71	50	-	-	-	99	-	-	-	1	-	-	-
126	-3,11	226,60	370,00	50	-	-	-	4	-	-	-	0	-	-	-
127	-1,93	500,00	644,61	50	-	-	-	4	-	-	-	0	-	-	-
128	-3,12	309,51	1754,37	50	-	-	-	6	-	-	-	0	-	-	-
129	-1,36	136,48	552,82	50	-	-	-	10	-	-	-	0	-	-	-
130	-0,64	173,04	276,07	50	-	-	-	13	-	-	-	0	-	-	-
131	-3,09	168,24	268,41	50	-	-	-	13	-	-	-	0	-	-	-
132	-2,33	254,65	330,28	50	-	-	-	14	-	-	-	0	-	-	-
133	-1,91	272,05	296,35	50	-	-	-	18	-	-	-	0	-	-	-
134	-2,26	131,17	115,19	50	-	-	-	19	-	-	-	0	-	-	-
135	-1,59	500,00	516,96	50	-	-	-	21	-	-	-	0	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

10.5. Aplicación Caso Ruta 5 Sector Cuesta Las Chilcas

Se construyó la red de microsimulación del sector Cuesta Las Chilcas en la Ruta 5, para lo cual se generó en Google Earth planchetas con el trazado geométrico de la ruta; la cual también se instaló en SIG ArcGIS, de manera de representar el comportamiento de los vehículos según las características geométricas de la ruta y la composición vehicular del flujo sobre ella.

A partir de la Figura N°34 se puede observar el trazado de la ruta en la cual se genera la red de microsimulación Aimsun.

Figura N°34 **Red Aimsun Ruta 5 Sector Cuesta Las Chilcas**



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°35 **Red Aimsun Ruta 5 Sector Cuesta Las Chilcas**



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°36 **Red Aimsun Ruta 5 Sector Cuesta Las Chilcas**



Fuente: Elaboración propia.

Las curvas flujo velocidades utilizadas para la microsimulación en la Ruta 5 Sector Cuesta Las Chilcas, en el sector con características de baja pendiente y curvaturas mínimas, se asimiló a la pista 1 (derecha) de Costanera Norte, con características de sector plano y recto, con un porcentaje bajo de vehículos pesados.

Tabla N°29. Curvas Flujo – Velocidad Costanera Norte asimilada a la Ruta 5 Sector Anterior a Las Chilcas

Parámetro	Tramo 1
Intercepto	78,899
Pendiente	-0,009

Fuente: Elaboración propia

Se simuló un día desde las 12:00 hasta las 22:00 horas, ingresando el flujo vehicular por hora y tipo de vehículo, las características de pendiente y curvatura propias de la microsimulación Aimsun, obteniendo las velocidades promedio para el tramo, que se presentan en la Tabla N°30.

Tabla N°30. Velocidades Promedio Ruta 5 Tramo Las Chilcas

Atributo	Replicación				Promedio
	1	2	3	4	
Velocidad Veh. Liv (Km/hr)	94,7	95,0	94,8	95,0	94,9
Velocidad Bus (Km/hr)	86,5	86,4	86,5	86,5	86,5
Velocidad Camión Liv. (Km/hr)	83,2	82,9	83,4	83,5	83,3
Velocidad Camión Pes. (Km/hr)	83,2	83,1	83,2	83,2	83,2

Fuente: Elaboración propia

Comparando los resultados con las mediciones realizadas en la Ruta 5 en el mismo tramo, se obtiene la comparación de velocidades que se presenta en la Tabla N°31. Se observa un buen ajuste con las curvas flujo-velocidad obtenidas de Costanera Norte, pues la mayor diferencia es de un 7,8% para el caso de los Camiones Livianos.

Tabla N°31. Velocidades Promedio Ruta 5 Tramo Las Chilcas

Atributo	Velocidad (Km/hr)		
	Aimsun	Observada	Diferencia (%)
Velocidad Veh. Liv (Km/hr)	94,9	97,17	2,3%
Velocidad Bus (Km/hr)	86,5	84,85	-1,9%
Velocidad Camión Liv. (Km/hr)	83,3	90,34	7,8%

Velocidad Camión Pes. (Km/hr)	83,2	80,72	-3,1%
-------------------------------	------	-------	-------

Fuente: Elaboración propia

11. CALIBRACIÓN DE FORMAS FUNCIONALES POR TIPO DE VIALIDAD: FORMAS ALGEBRAICAS Y GRÁFICAS, COMPOSICIONES DE FLUJO.

11.1. Modelos Autopistas Urbanas.

Se recopiló extensa información de la velocidad y el flujo registrada en las autopistas urbanas concesionadas, específicamente en los pódicos, a partir de los registros aportados por la Coordinación de Concesiones. De éstas, se seleccionó la Autopista Costanera Norte para efectos de análisis, ya que en ella se manifiesta, con gran intensidad, el fenómeno de congestión en los períodos punta; así como existen tramos con características distintas, por ejemplo, sectores en superficie y en túnel, y tramos con distintas curvaturas. Se escogió analizar los datos de un mes completo de temporada normal, particularmente el mes de abril de 2011.

La Tabla N°32 muestra la identificación del pódico, el flujo promedio, la velocidad promedio y el porcentaje promedio de vehículos livianos durante el mes de análisis (% VL). Cabe precisar que los valores anteriores corresponden a promedios por pista.

Tabla N° 32. FLUJO Y VELOCIDAD PÓDICOS COSTANERA NORTE, ABRIL 2011

Punto (pódico)	Flujo Promedio (vehículos / hora-pista)	Velocidad Promedio (km / h)	% VL
Kennedy 1	607	88	98,3%
Kennedy 2	668	77	98,3%
2	307	88	92,6%
3	463	88	95,3%
4	322	104	97,5%
5	416	90	94,9%
6	322	85	94,9%
7 ^a	730	100	97,0%
7b	680	78	99,0%
8	601	83	99,0%
9	610	79	98,3%
10	562	81	97,4%
11	621	91	98,0%
12	391	88	16,4%
13	344	97	94,4%
14	314	87	91,3%

15	406	100	96,0%
16	307	92	94,3%
17	163	70	95,8%
18	144	94	92,2%

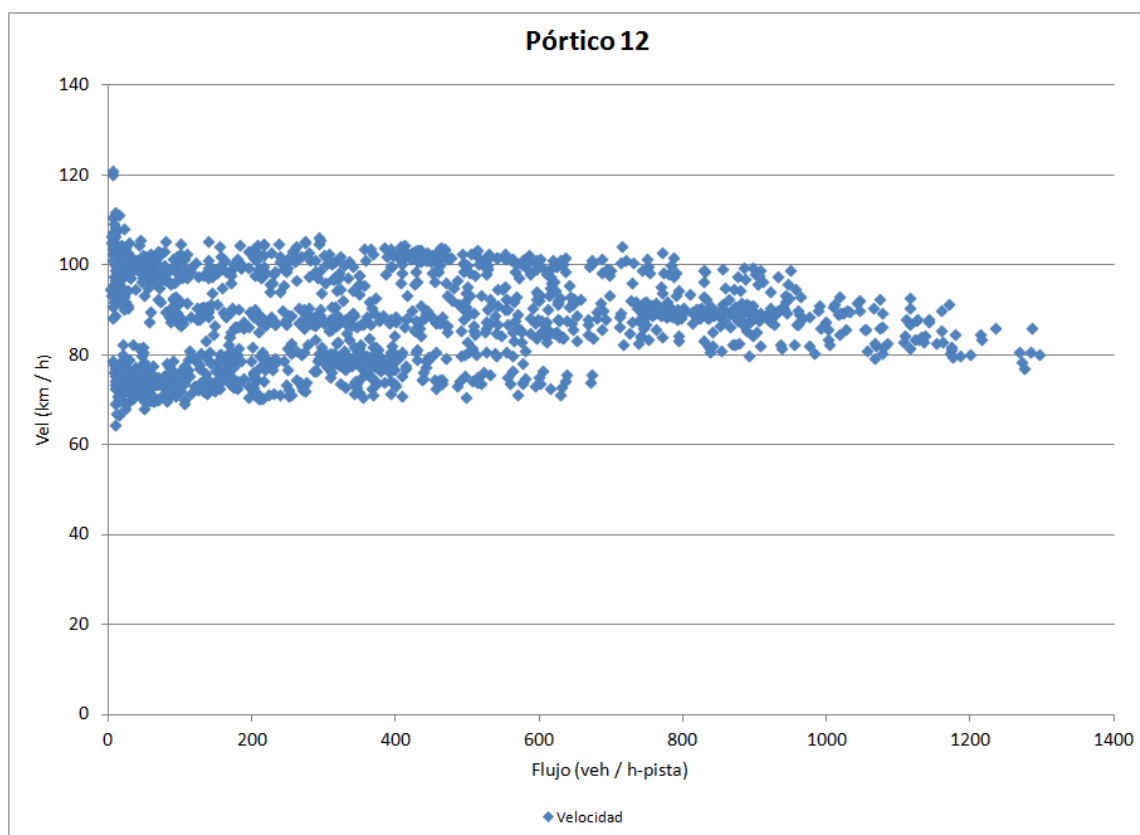
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

A continuación se presenta un análisis de la relación entre flujo y velocidad obtenida en determinados pódicos. Dada la cantidad y calidad de la información recopilada, la cual fue obtenida a partir de sistemas automatizados, el análisis que es posible realizar es tremendamente valioso.

11.1.1. Puntos con Congestión Baja

A partir de la información recopilada, fue posible obtener algunos pódicos donde no se manifestaba el fenómeno de congestión, obteniendo una curva bastante plana. A continuación se presentan gráficos velocidad – flujo, por pista, donde cada punto representa un valor promedio durante una hora.

Figura N°37 **RELACIÓN VELOCIDAD – FLUJO, PÓDICO 12 COSTANERA NORTE**



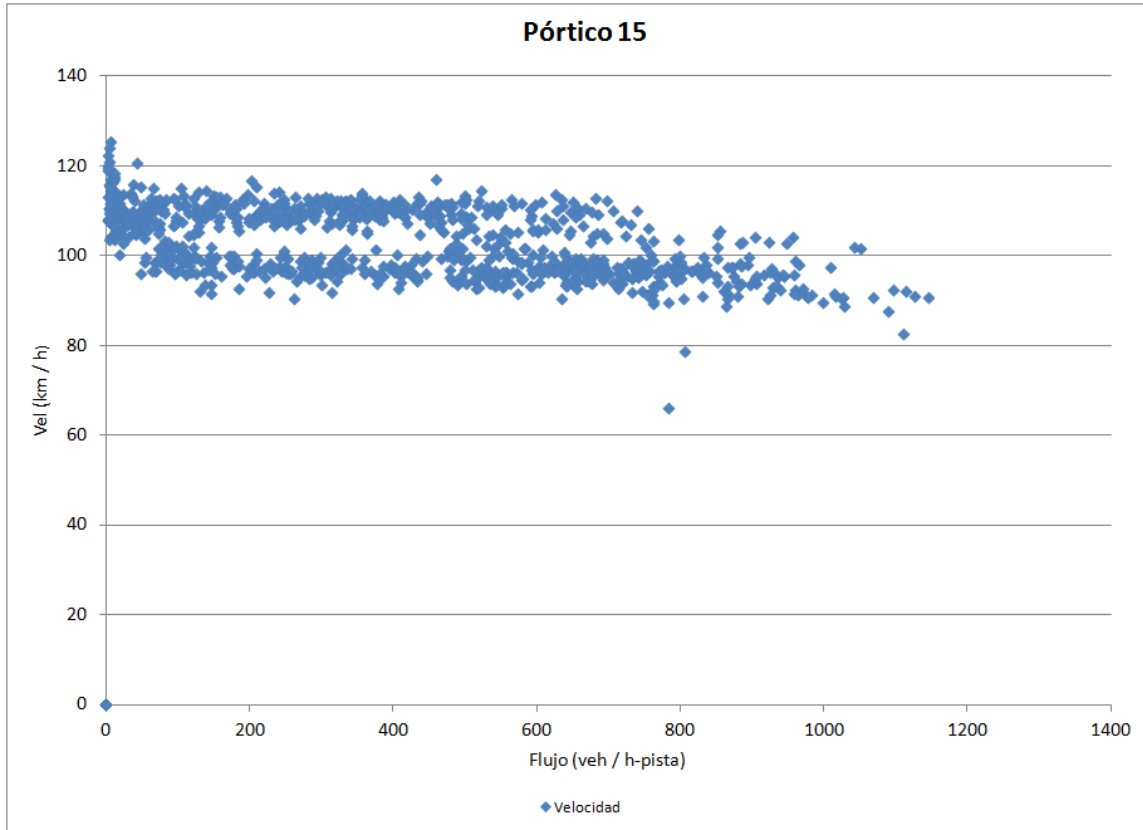


Gobierno de Chile
Ministerio de Obras Públicas / Ministerio de Desarrollo Social
Consultores en Infraestructura, Gestión y Territorio Limitada



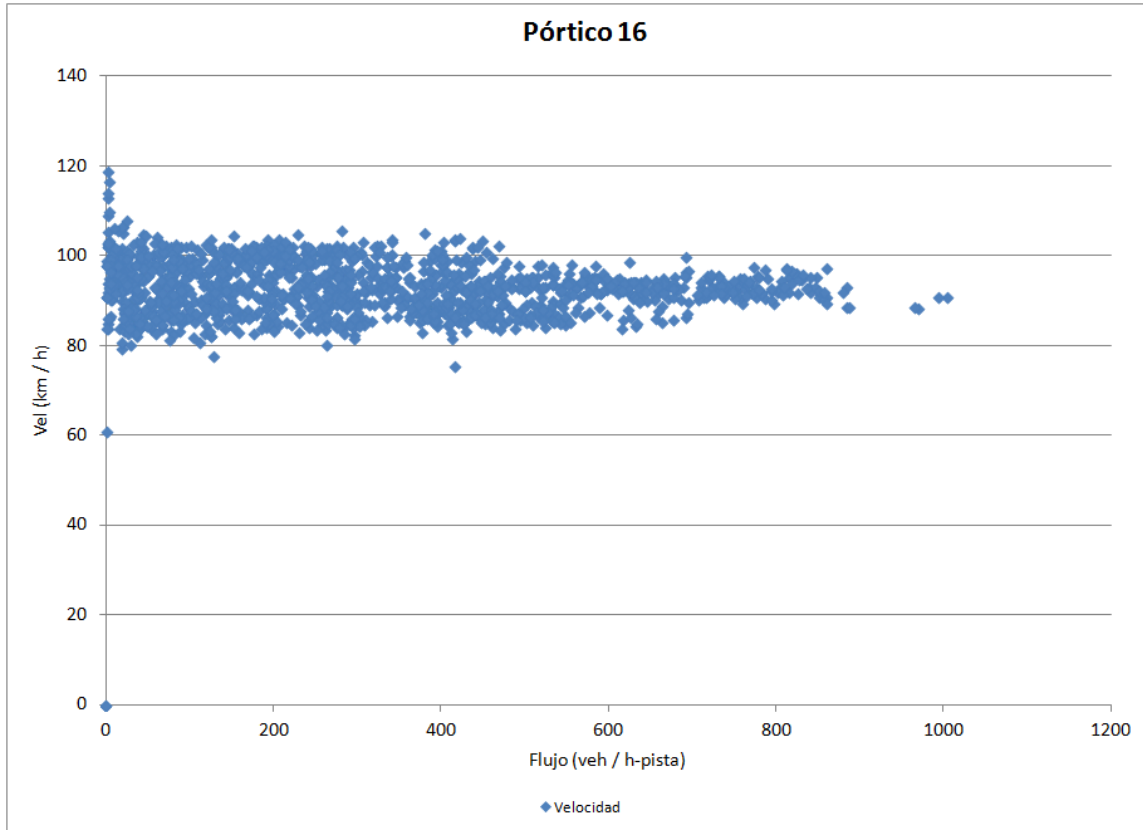
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

Figura N°38 RELACIÓN VELOCIDAD – FLUJO, PÓRTICO 15 COSTANERA NORTE



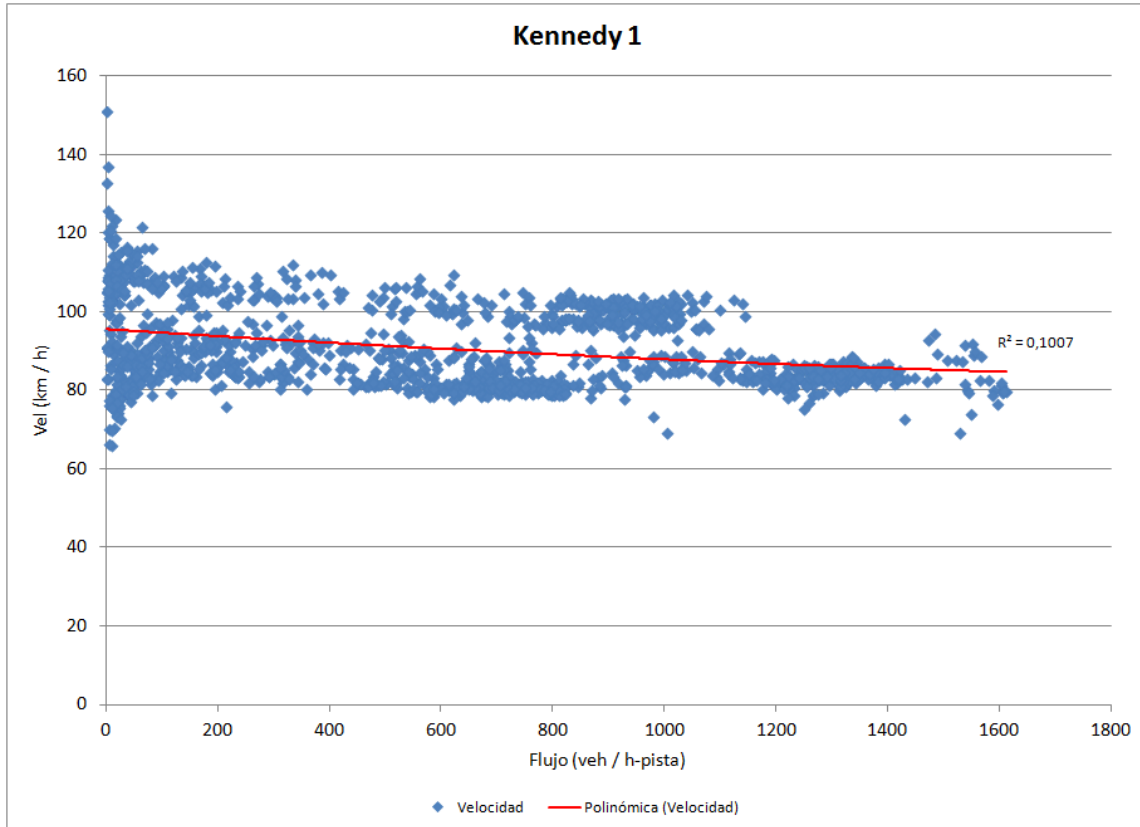
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

Figura N°39 RELACIÓN VELOCIDAD – FLUJO, PÓRTICO 16 COSTANERA NORTE



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

Figura N°40 RELACIÓN VELOCIDAD – FLUJO, PÓRTICO KENNEDY 1



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

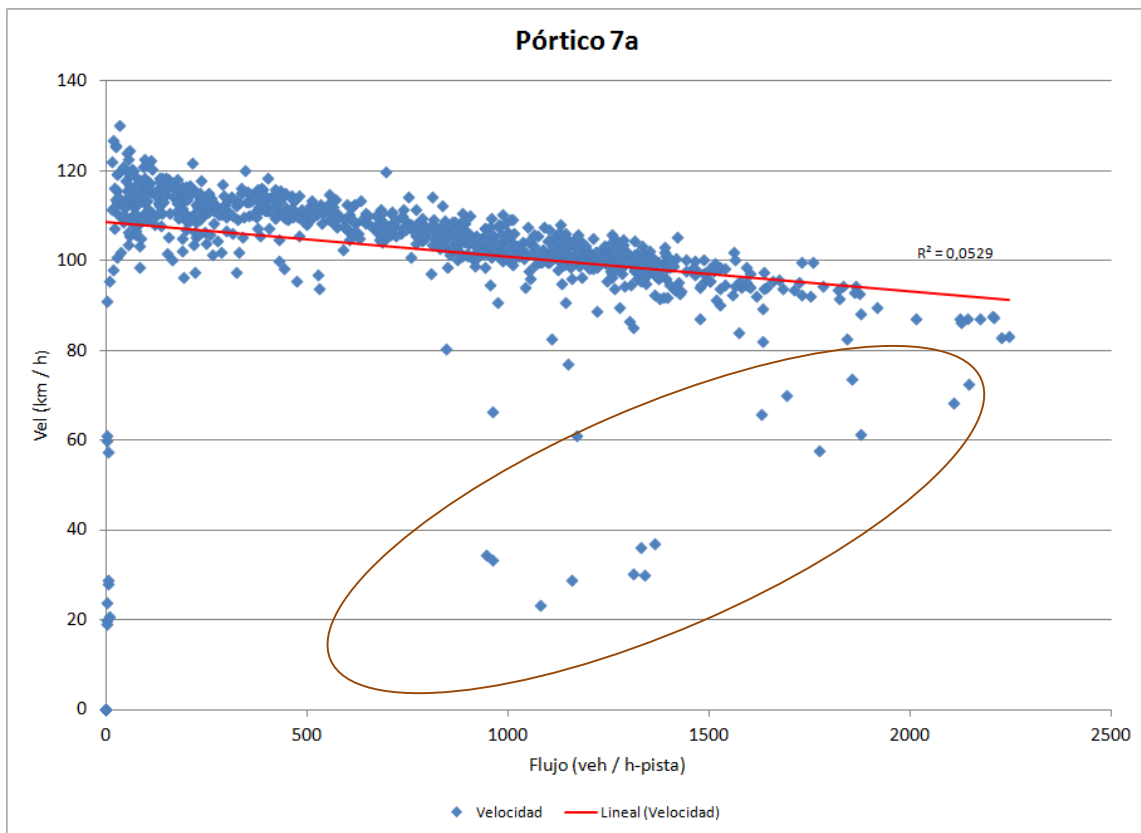
De las figuras anteriores, es posible comentar lo siguiente:

- Se aprecia una alta dispersión de los datos, lo que posiblemente sugeriría la necesidad de desagregar los valores por pista.
- En general la velocidad permanece relativamente homogénea hasta un umbral de 800 ó 1.000 vehículos / hora.

11.1.2. Puntos con Congestión Media y Alta

Al igual que en el caso anterior, se obtuvo la velocidad de ciertos pódicos donde existía congestión en determinados períodos. A partir de la Figura N°41 se presentan gráficos velocidad – flujo por pista, donde cada punto representa un valor promedio durante una hora.

Figura N°41 **RELACIÓN VELOCIDAD – FLUJO, PÓRTICO 7a COSTANERA NORTE**

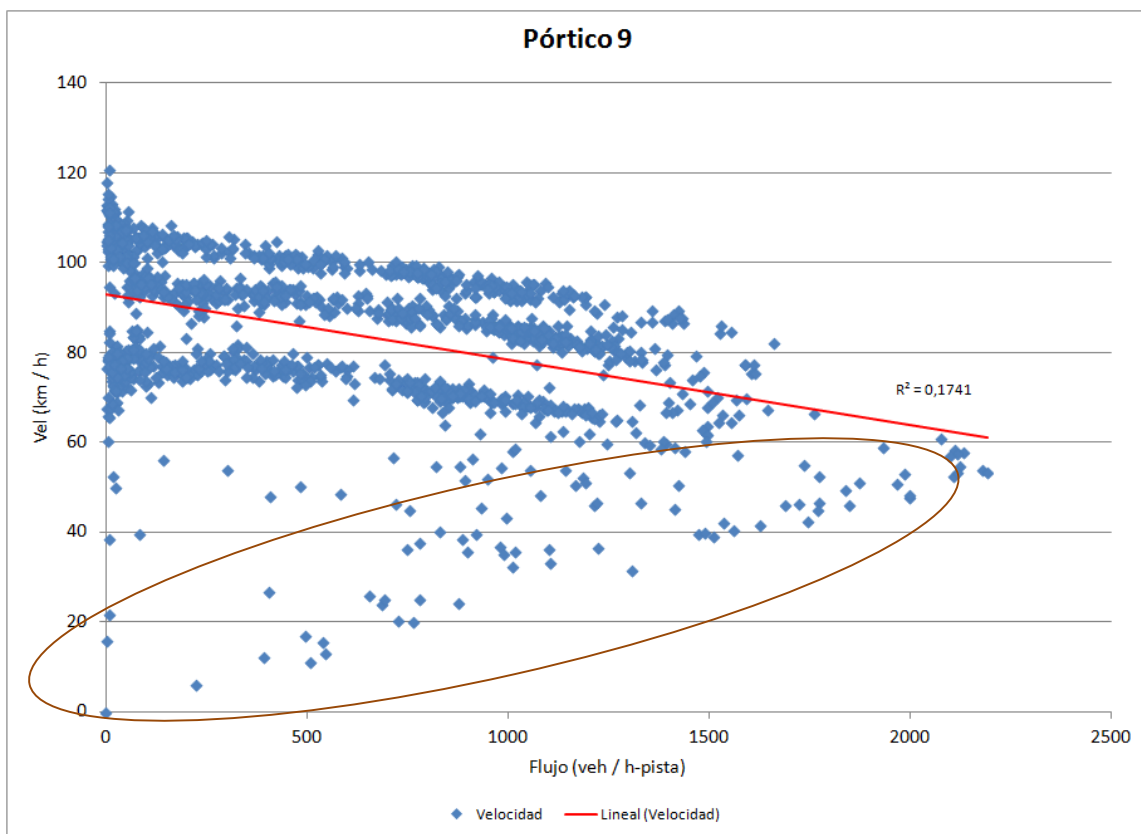


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

De la Figura N°41 es posible comentar lo siguiente:

- La velocidad a flujo libre se mantiene hasta un umbral de aproximadamente 600 vehículos / hora – pista.
- La capacidad es de alrededor de 2.300 vehículos por hora – pista. Este valor evidentemente podría variar, si se desagregaran los datos por pista.
- Comienzan a aparecer puntos en la zona de tráfico inestable (alta congestión), los que fueron mostrados en la figura con una elipse.

Figura N°42 RELACIÓN VELOCIDAD – FLUJO, PÓRTICO 9 COSTANERA NORTE

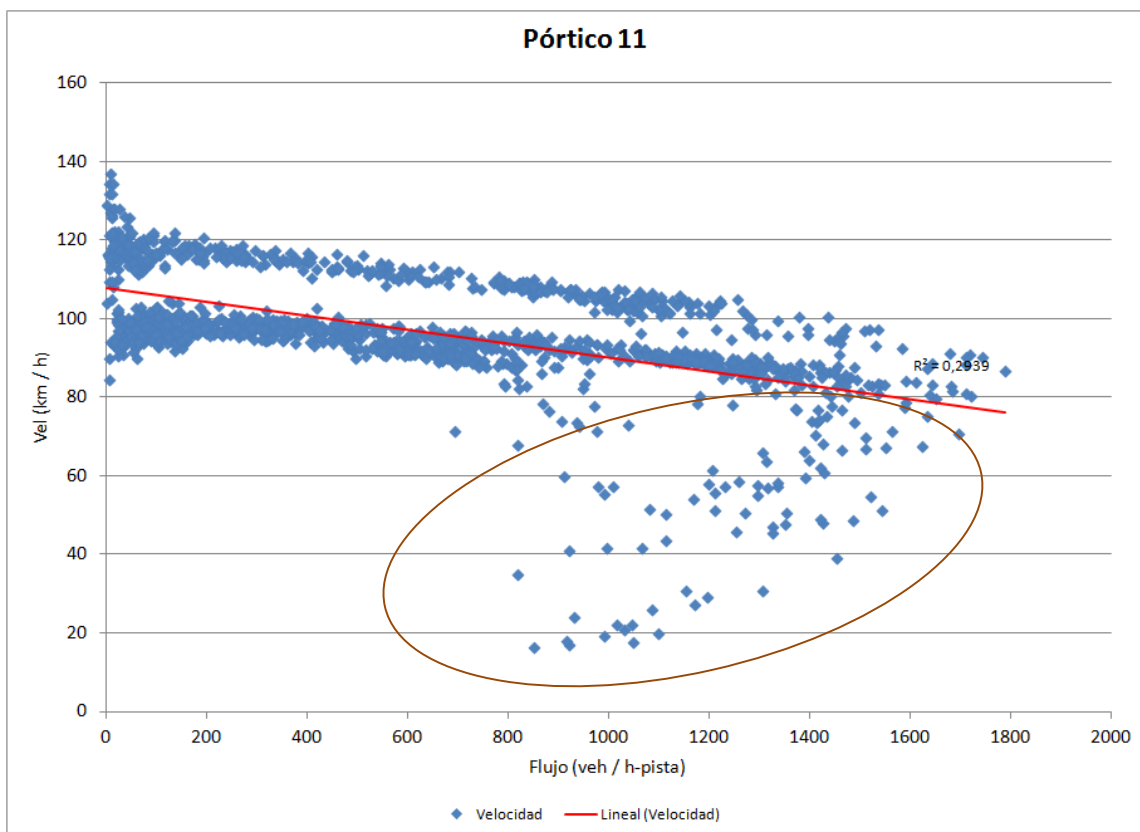


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

Respecto a la Figura N°42 es preciso comentar lo siguiente:

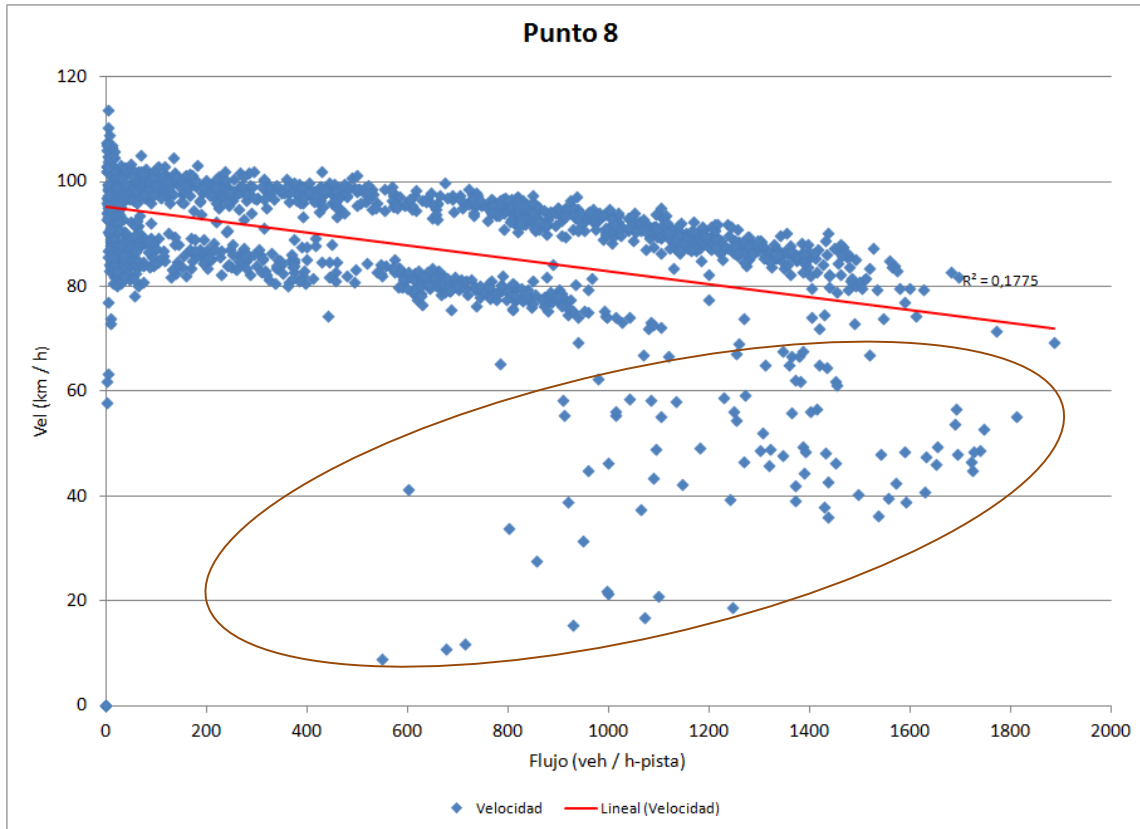
- Se aprecia una alta dispersión en los datos, observándose grupos de datos con velocidades a flujo libre distintas. Por ejemplo, hay un grupo de datos que tendría una velocidad a flujo libre de aproximadamente 100 km / h, mientras que otro grupo tendría una velocidad de poco menos de 80 km / h. Esto se explicaría debido a que los datos están agregados a nivel de pistas y existirían velocidades a flujo libre distintas dependiendo de la pista que se seleccione.
- Existe un grupo importante de puntos en la zona de tráfico inestable (alta congestión), los que fueron mostrados en la figura con una elipse.
- La capacidad es de alrededor de 2.200 vehículos por hora – pista.

Figura N°43 **RELACIÓN VELOCIDAD – FLUJO, PÓRTICO 11 COSTANERA NORTE**



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

Figura N°44 RELACIÓN VELOCIDAD – FLUJO, PÓRTICO 8 COSTANERA NORTE



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

De la Figura N°43 y Figura N°44 es posible comentar lo siguiente:

- Al igual que en el caso anterior, se aprecia una alta dispersión en los datos, observándose grupos de datos con velocidades a flujo libre distintas. Tal como se ha señalado, esto se explicaría debido a que los datos están agregados a nivel de pistas.
- También existe un grupo importante de puntos en la zona de tráfico inestable (alta congestión), los que fueron mostrados en la figura con una elipse.
- La capacidad es de alrededor de 1.800 vehículos por hora – pista en el pórtico 11 y de aproximadamente 1.900 vehículos por hora – pista en el pórtico 8.

11.1.3. Resultados Desagregados por Pista

El análisis anterior sugiere la necesidad de desagregar los datos según pista. En ese contexto, a continuación se muestra la información (velocidad promedio y flujo promedio) desagregada por pista de los puntos analizados previamente. En dicha tabla se agregó la velocidad a flujo libre (Vf), donde se aprecia una diferencia relevante, especialmente entre las pistas 1 y 3 (20% en promedio). Cabe precisar que la pista 1 corresponde a la pista derecha, la pista 2 a la central y la pista 3 a la izquierda.

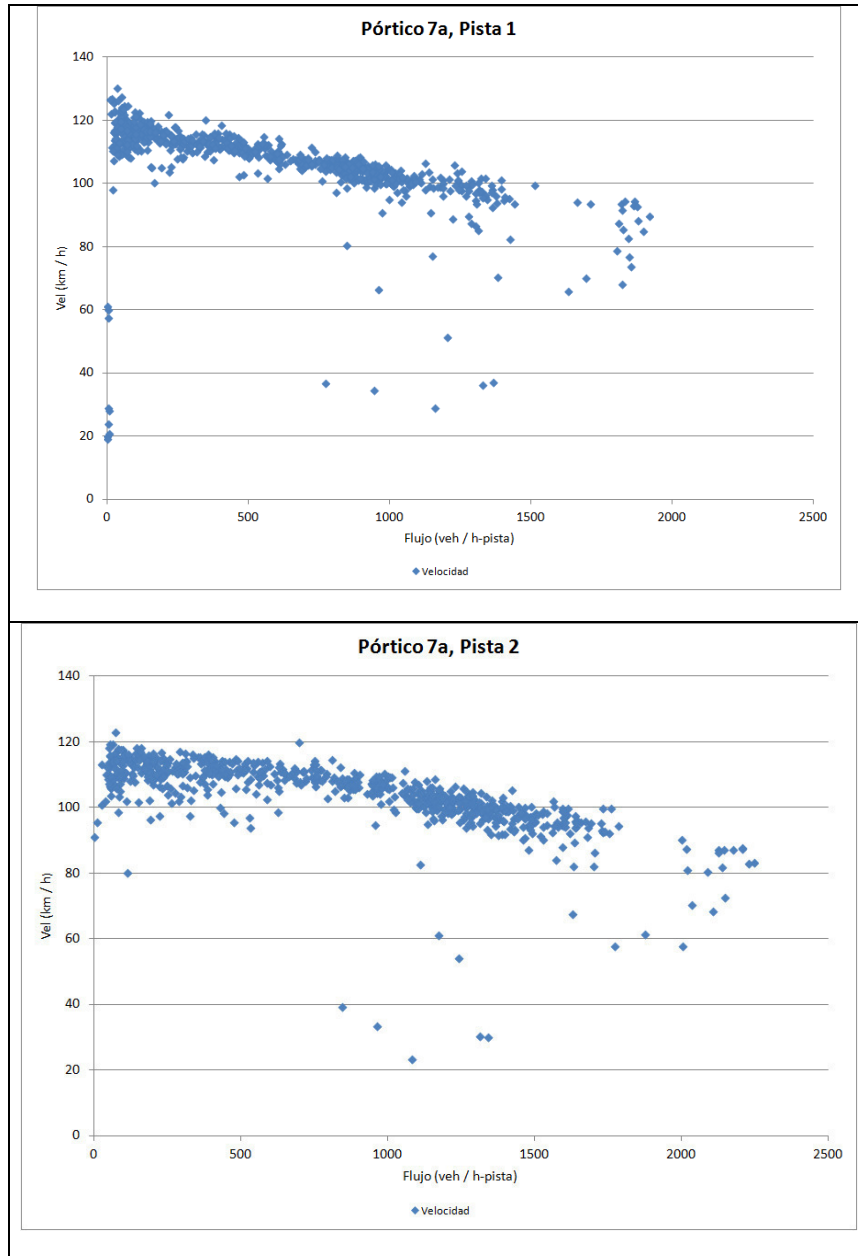
Tabla N° 33. FLUJO Y VELOCIDAD PÓRTICOS COSTANERA NORTE, ABRIL 2011

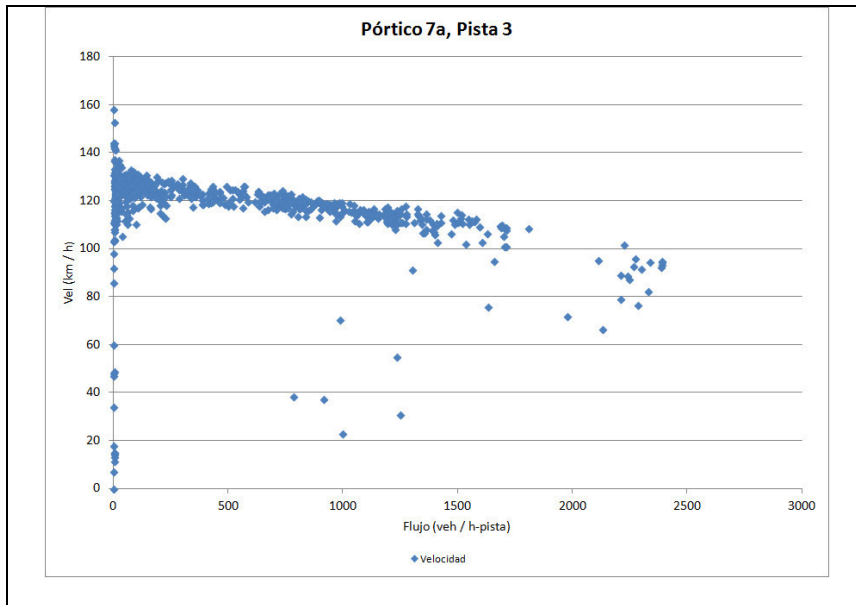
Punto	Pista	Flujo Promedio (vehículos / h – pista)	Velocidad Promedio (km / h)	Vf (km / h)
Kennedy 1	1	440	81,8	82,1
	2	840	85,1	90,4
	3	541	99,0	103,1
7a	1	610	101,3	110,6
	2	850	99,3	110,3
	3	552	111,7	121,6
8	1	430	74,7	82,0
	2	804	85,6	96,3
	3	568	85,5	97,4
9	1	513	67,0	77,2
	2	733	80,5	92,6
	3	584	87,0	102,2
11	1	424	88,4	95,0
	2	832	86,8	97,8
	3	608	98,4	114,6
12	1	223	76,7	76,7
	2	596	87,2	88,3
	3	355	97,5	99,2
15	2	526	95,8	96,6
	3	285	108,1	109,2
16	1	274	87,4	87,4
	2	469	93,2	93,4
	3	179	98,1	98,3

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

A continuación, se muestran las mismas figuras expuestas en las secciones anteriores, pero desagregados por pista.

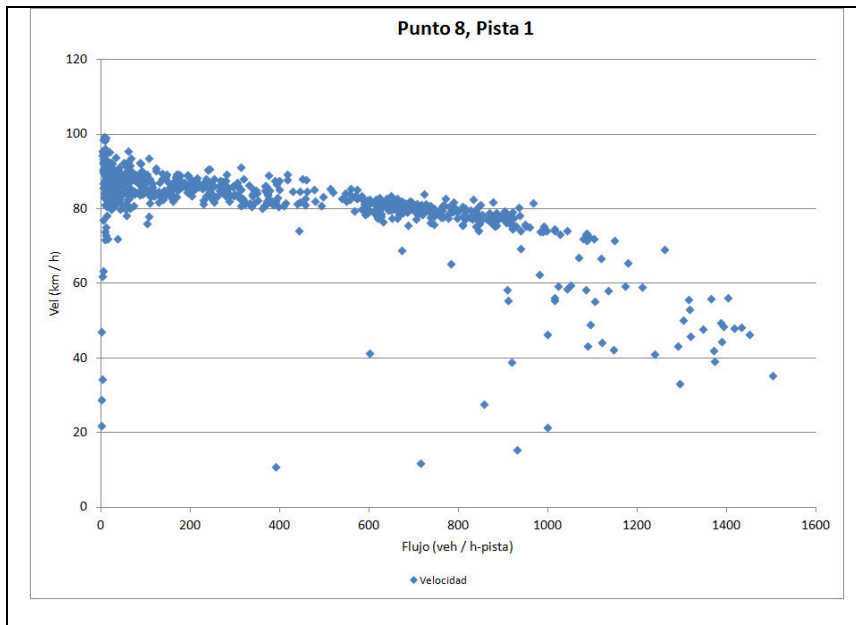
Figura N°45 RELACIÓN VELOCIDAD – FLUJO POR PISTA, PÓRTICO 7a, COSTANERA NORTE

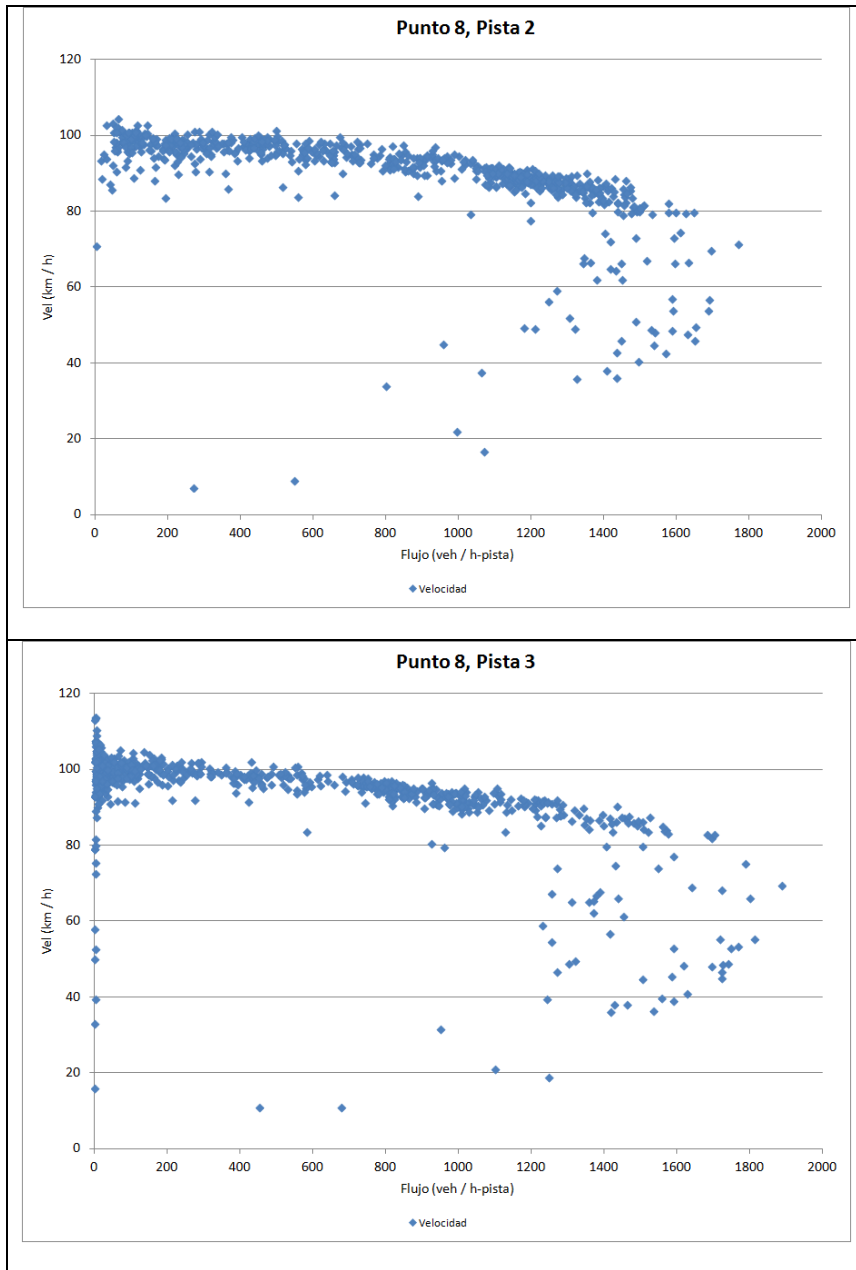




Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

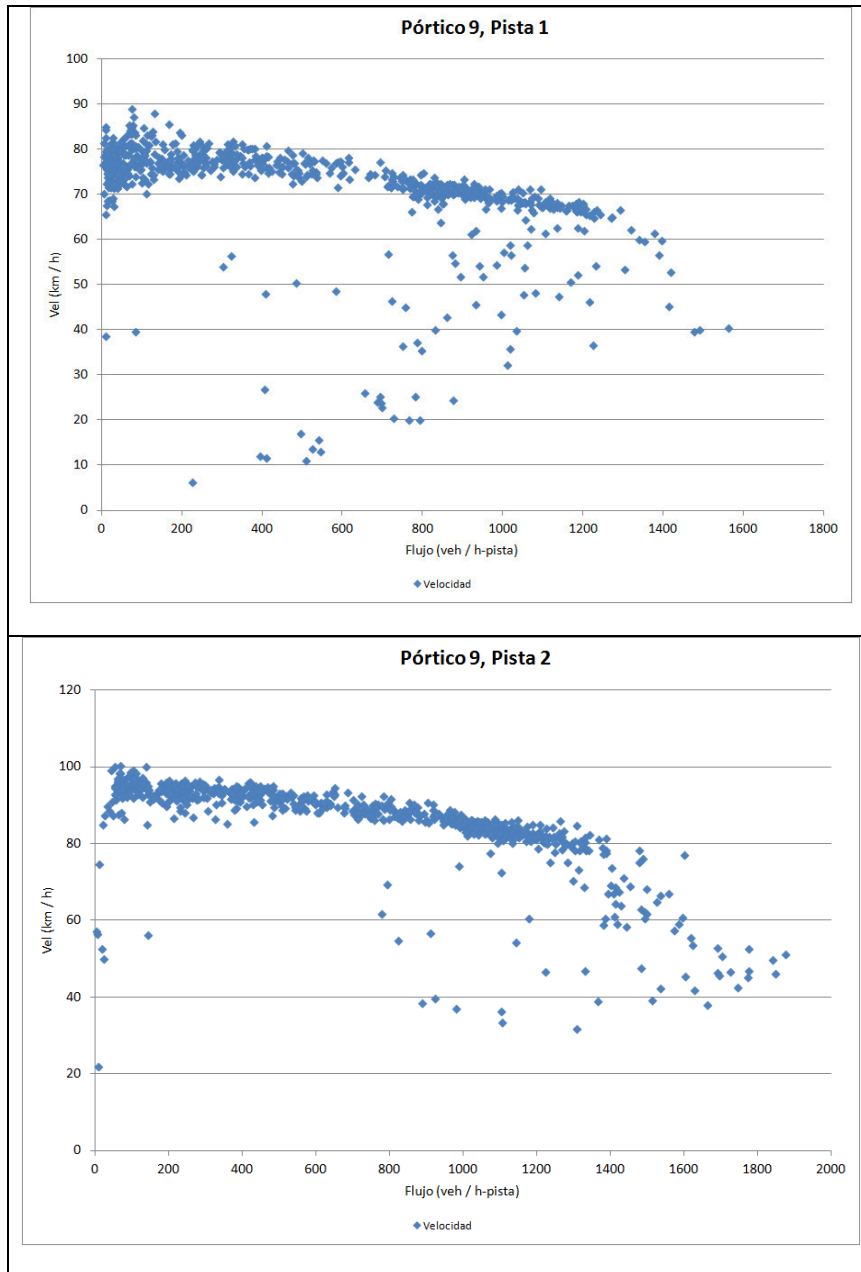
Figura N°46 **RELACIÓN VELOCIDAD – FLUJO POR PISTA, PÓRTICO 8, COSTANERA NORTE**

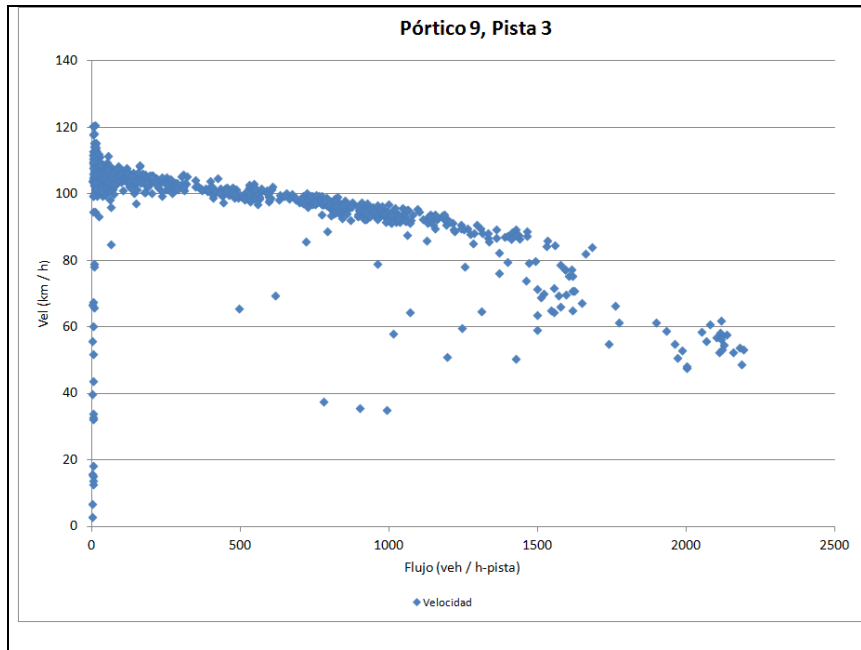




Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

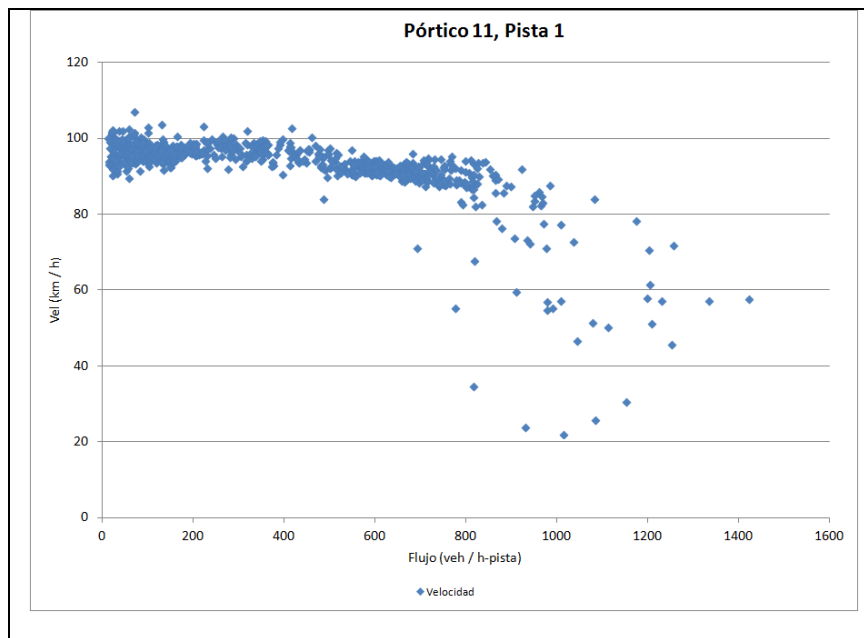
Figura N°47 RELACIÓN VELOCIDAD – FLUJO POR PISTA, PÓRTICO 9, COSTANERA NORTE

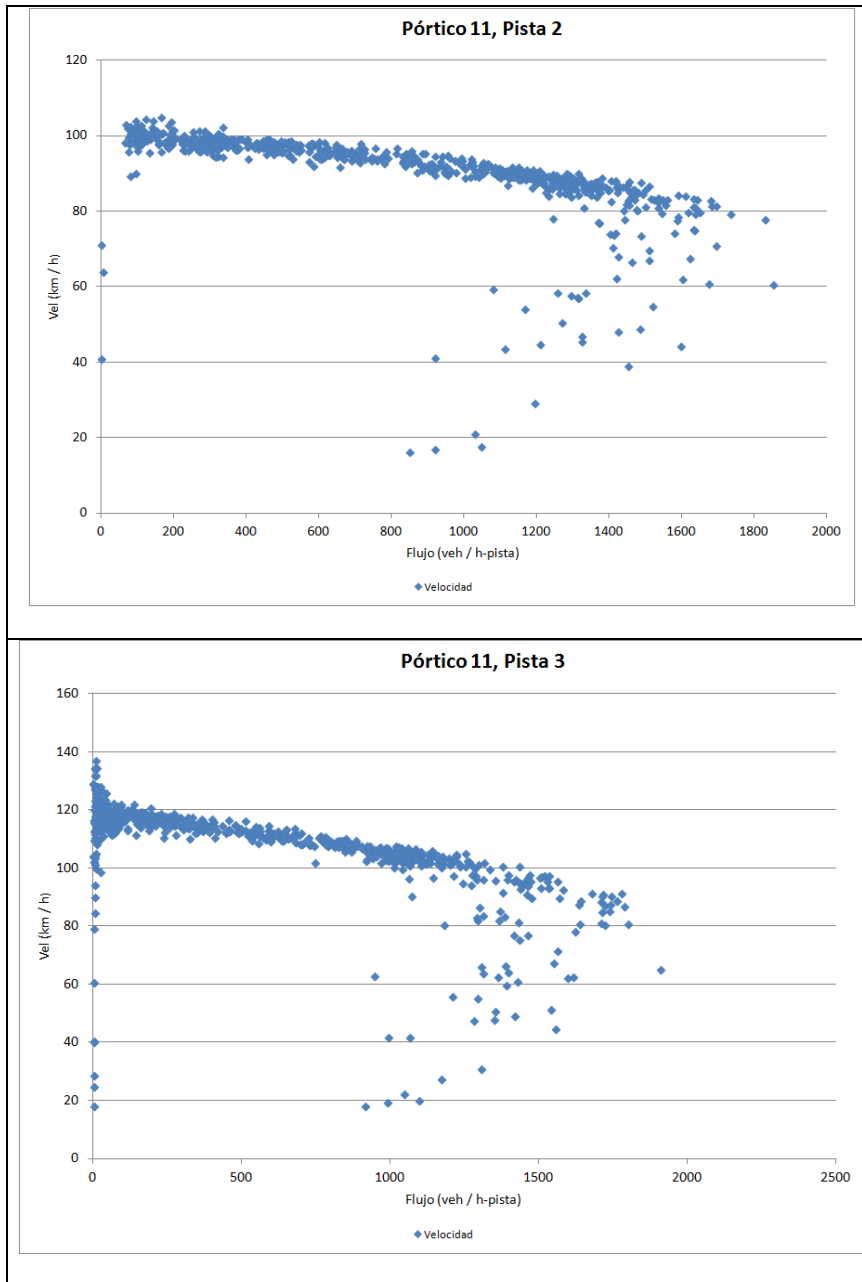




Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

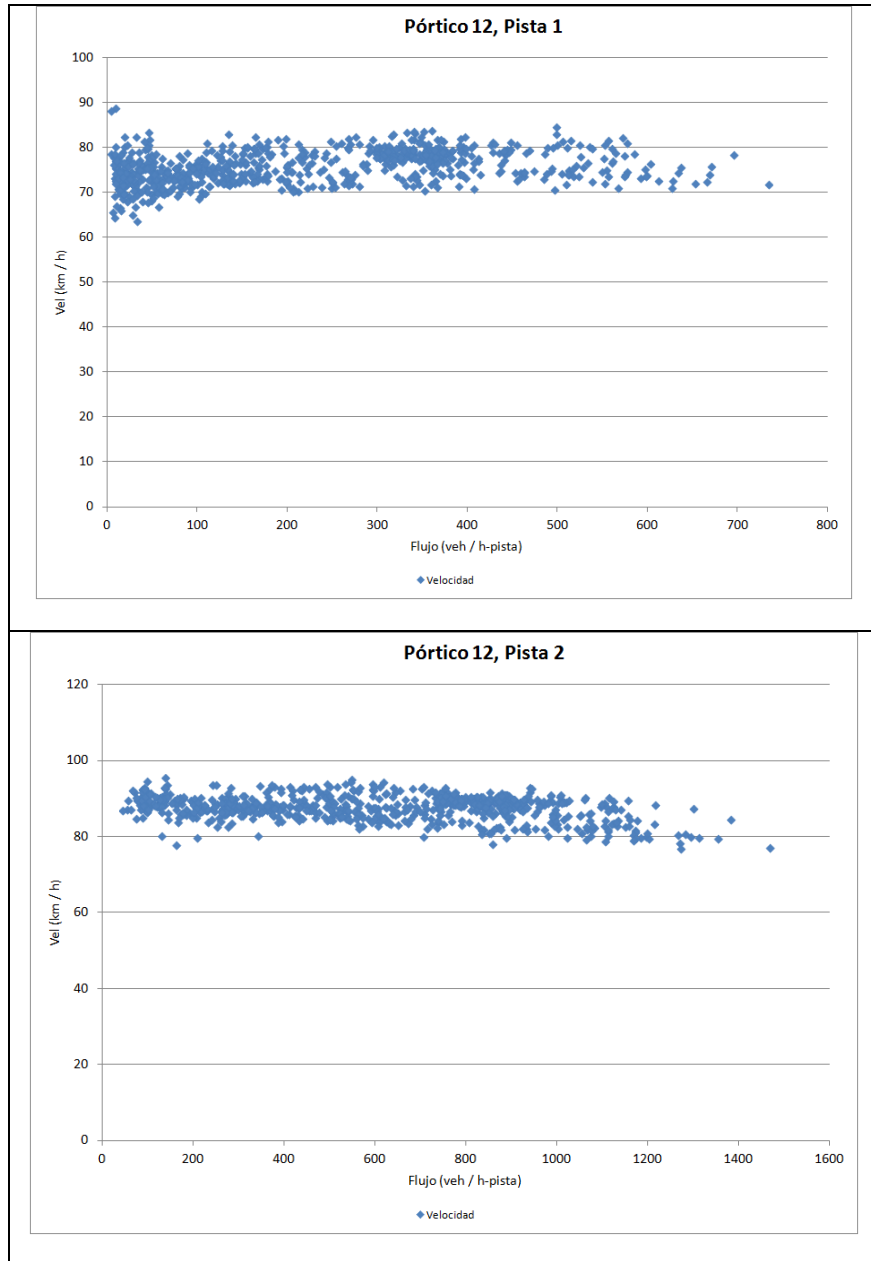
Figura N°48 **RELACIÓN VELOCIDAD – FLUJO POR PISTA, PÓRTICO 11, COSTANERA NORTE**

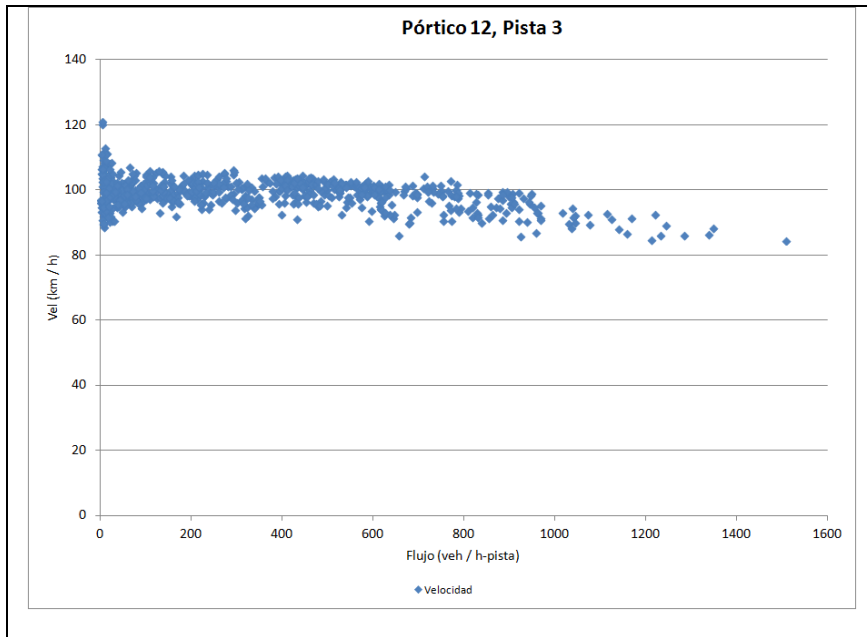




Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

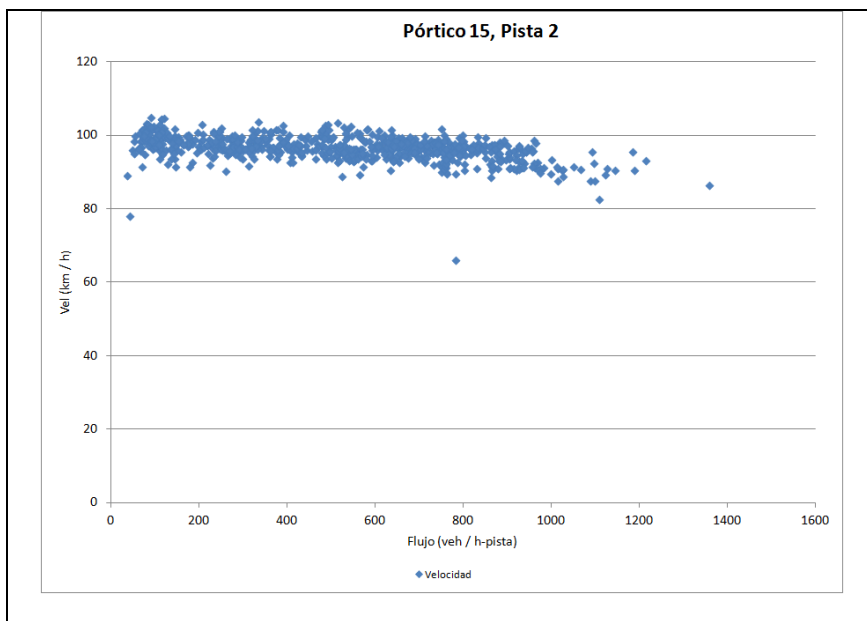
Figura N°49 RELACIÓN VELOCIDAD – FLUJO POR PISTA, PÓRTICO 12, COSTANERA NORTE

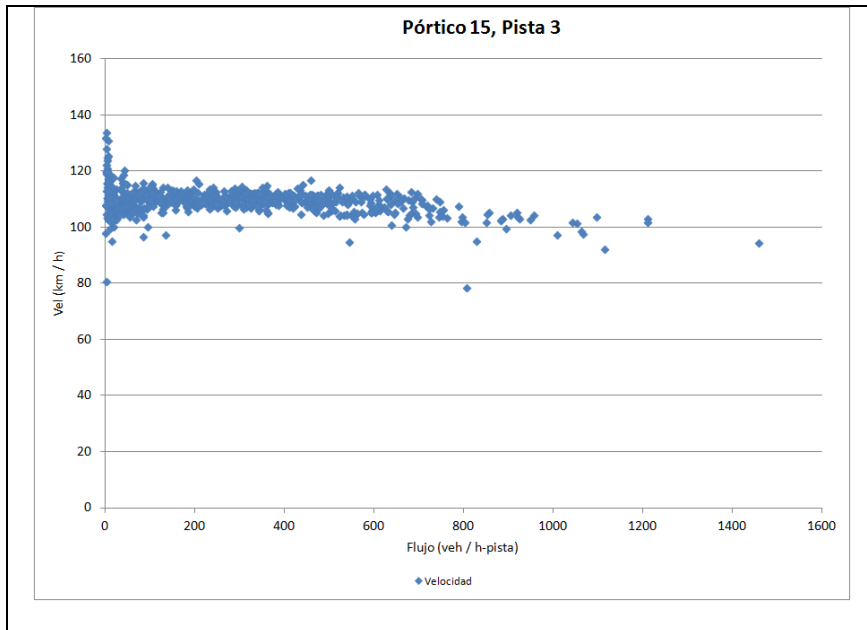




Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

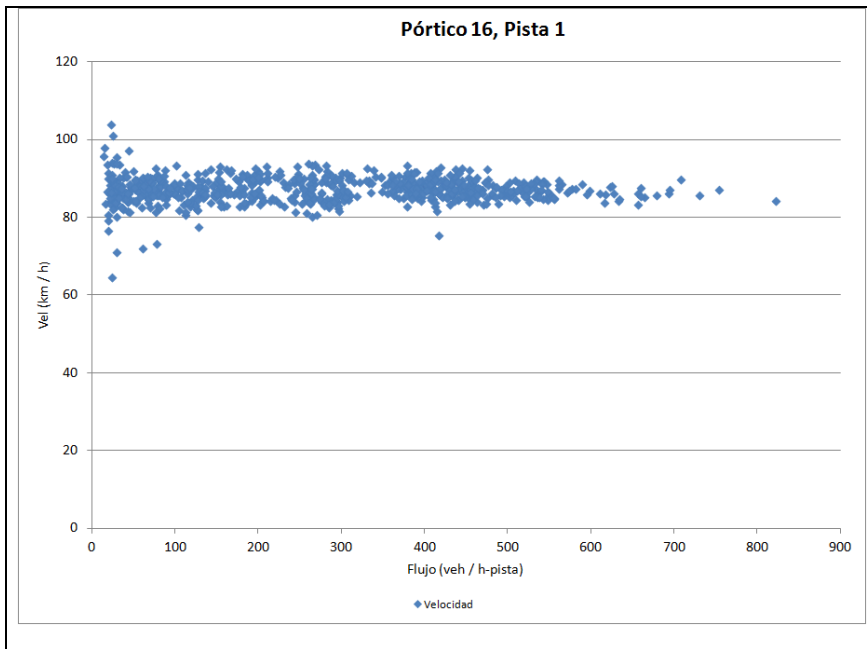
Figura N°50 **RELACIÓN VELOCIDAD – FLUJO POR PISTA, PÓRTICO 15, COSTANERA NORTE**

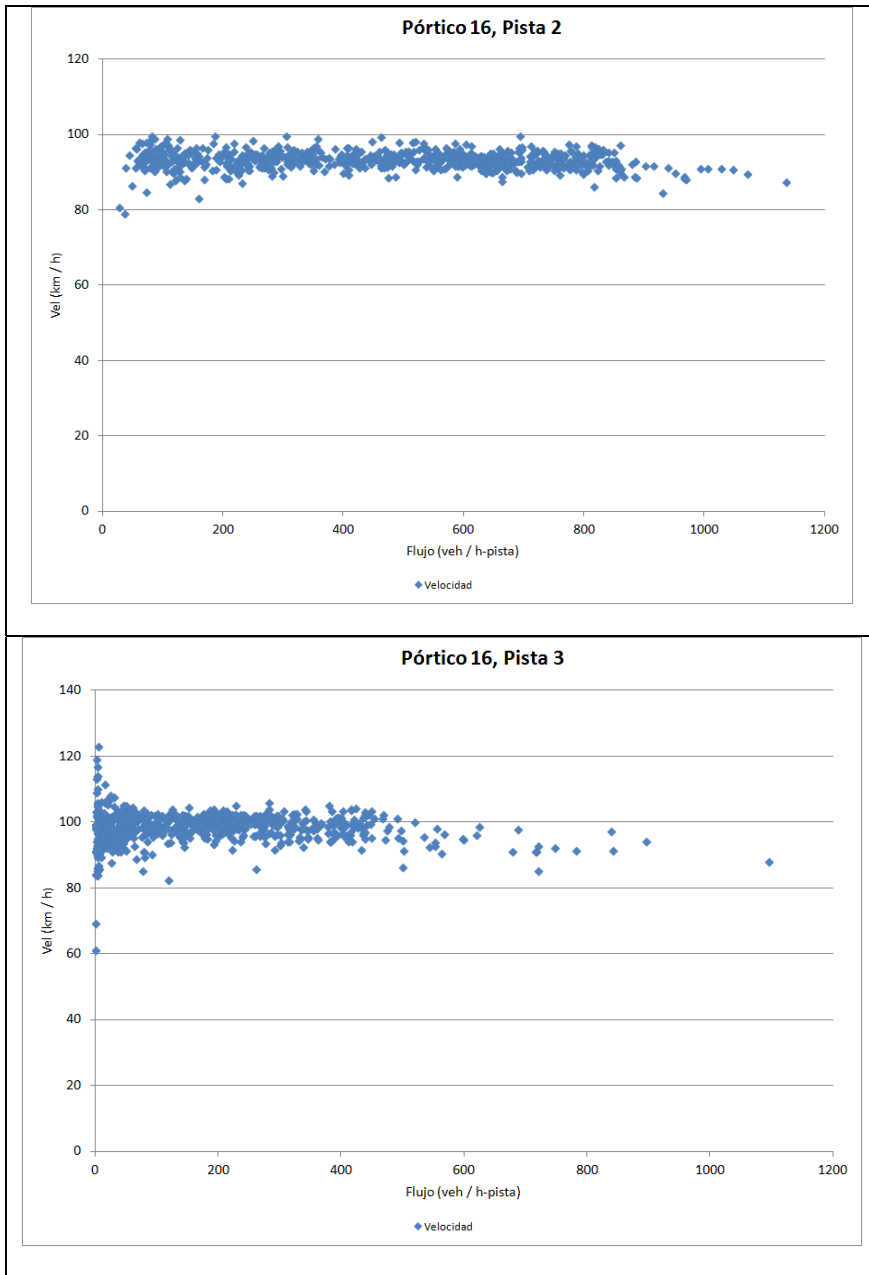




Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

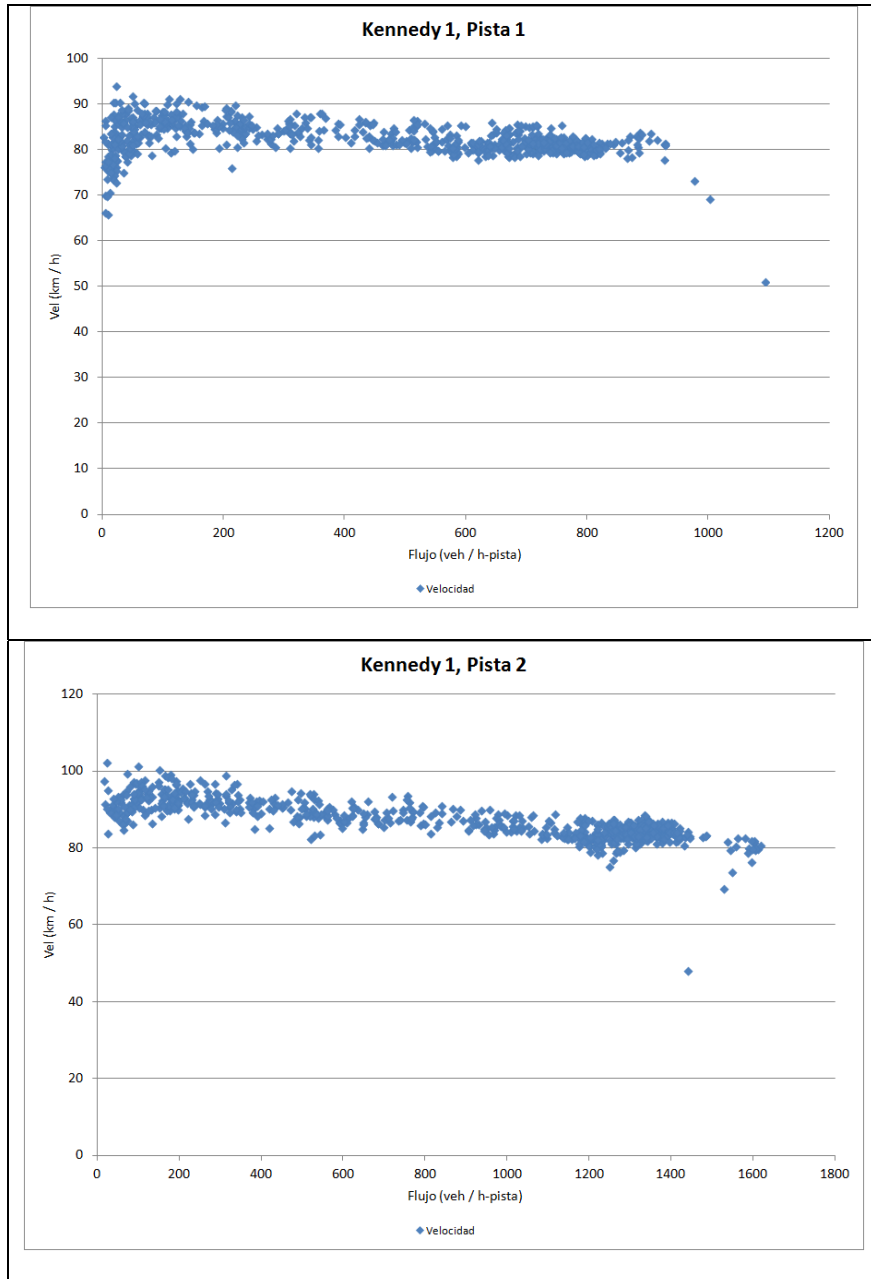
Figura N°51 RELACIÓN VELOCIDAD – FLUJO POR PISTA, PÓRTICO 16, COSTANERA NORTE

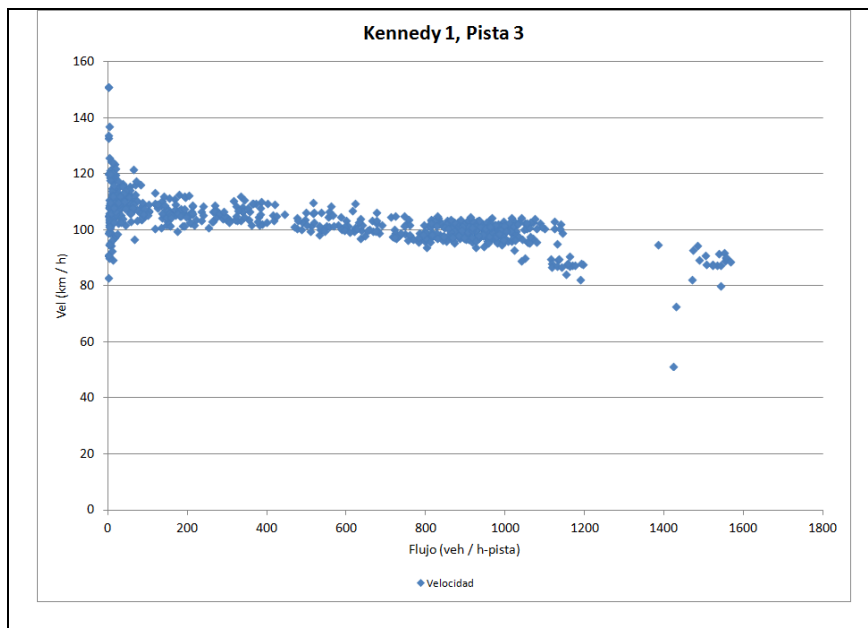




Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

Figura N°52 RELACIÓN VELOCIDAD – FLUJO POR PISTA, PÓRTICO KENNEDY 1





Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

A partir de las figuras anteriores se aprecia claramente que se redujo fuertemente la dispersión de los datos respecto al caso agregado, observándose en forma bastante clara las curvas. Asimismo, se aprecia que no sólo se modifica la velocidad a flujo libre en función de la pista, sino además la capacidad. Esto se puede apreciar con mayor claridad en los puntos donde existe congestión. Por ejemplo, en el pórtico 9 las capacidades de la pista 1, 2 y 3 ascienden a aproximadamente 1.600 vehículos / hora, 1.900 vehículos / hora y 2.200 vehículos / hora, respectivamente.

11.2. Modelo de Curvas Flujo – Velocidad para Autopistas Urbanas

Para el ajuste de curvas a los datos recopilados en las autopistas urbanas, se siguió la siguiente metodología:

- El análisis se efectuó sobre la base de vehículos equivalentes (veq), para lo cual se consideraron los siguientes factores: vehículos livianos = 1 veq / vehículo; camiones simples (2 ejes) = 2 veq / vehículo; camiones de más de dos ejes = 2,5 veq / vehículo; buses = 2 veq / vehículo.
- Se graficaron los datos y se ajustaron gráficamente modelos lineales, identificando la capacidad (Q_c) y el punto aproximado de cambio de pendiente (Q_B). A partir de ello se obtuvieron conclusiones generales respecto a la relación Q_B / Q_c .
- Se estimaron los parámetros asociados a los modelos lineales y BPR, desagregado por pista, comparando los resultados de ambos. Para ello, se escogieron cuatro puntos (pórticos) que mostraran congestión.
- Se validaron los modelos estimados (lineales y BPR) a partir de dos puntos (pórticos) adicionales. En base a este análisis, se obtuvieron conclusiones y recomendaciones.

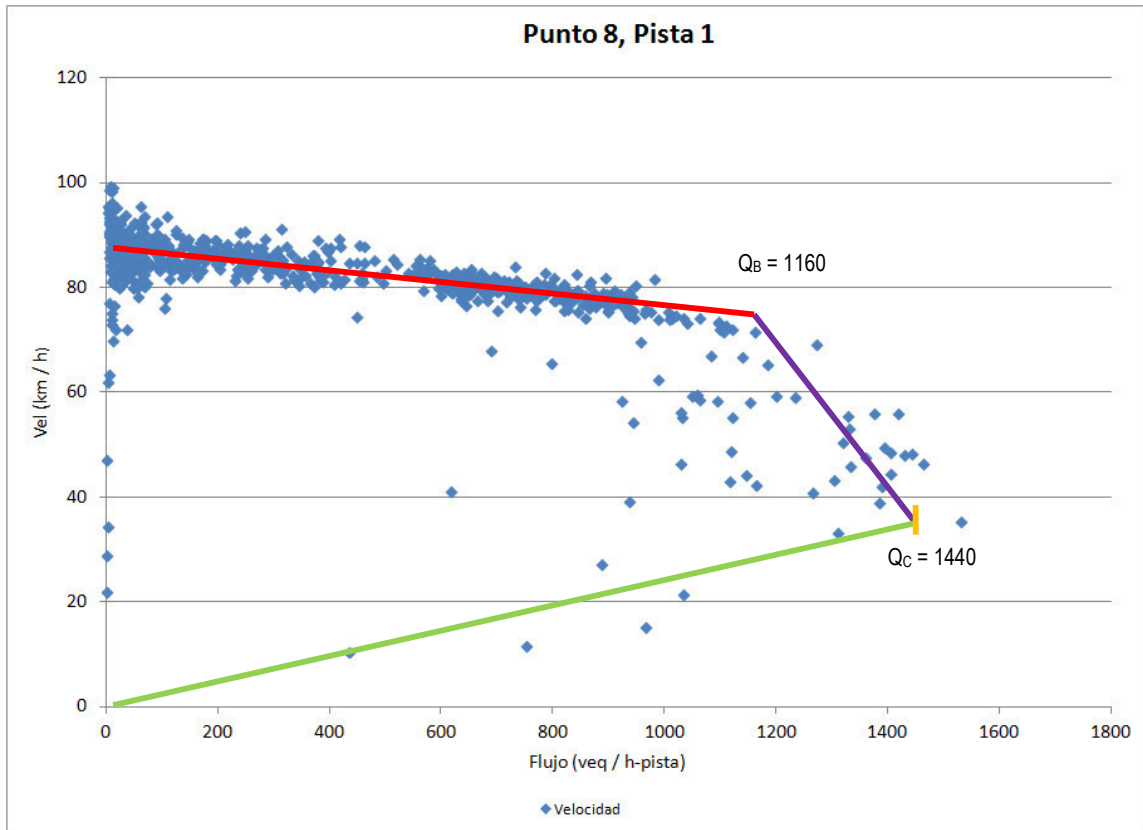
Los sectores analizados eran bastante rectos (baja curvatura), con una baja pendiente y una alta composición de vehículos livianos.

11.2.1. Ajuste Gráfico

Se efectuó un ajuste gráfico, desagregado por pista, considerando tres puntos (pórticos) que mostraban congestión, a saber: pórtico 8, 9 y 11. Cabe hacer notar que se ajustó un modelo lineal por tramos, que recogía el comportamiento teórico de las relaciones flujo – velocidad.

A partir de la Figura N°53 se muestra el ajuste para el pórtico 8, para cada una de las tres pistas. Nótese que la pista 1 corresponde a la derecha, la pista 2 a la central y la pista 3 a la izquierda.

Figura N°53 CURVAS PISTA 1, PÓRTICO 8, SENTIDO O-P⁶

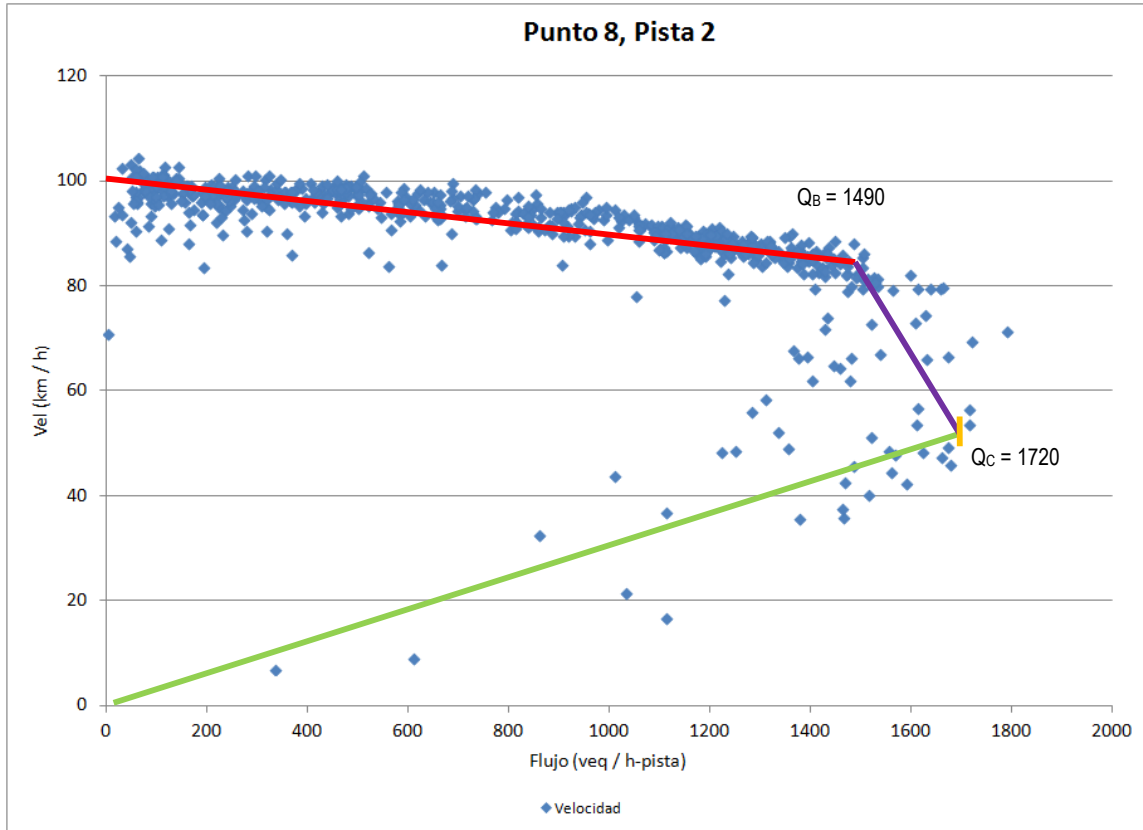


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

$Q_B/Q_C = 81\%$.

⁶ O-P: Oriente – Poniente.

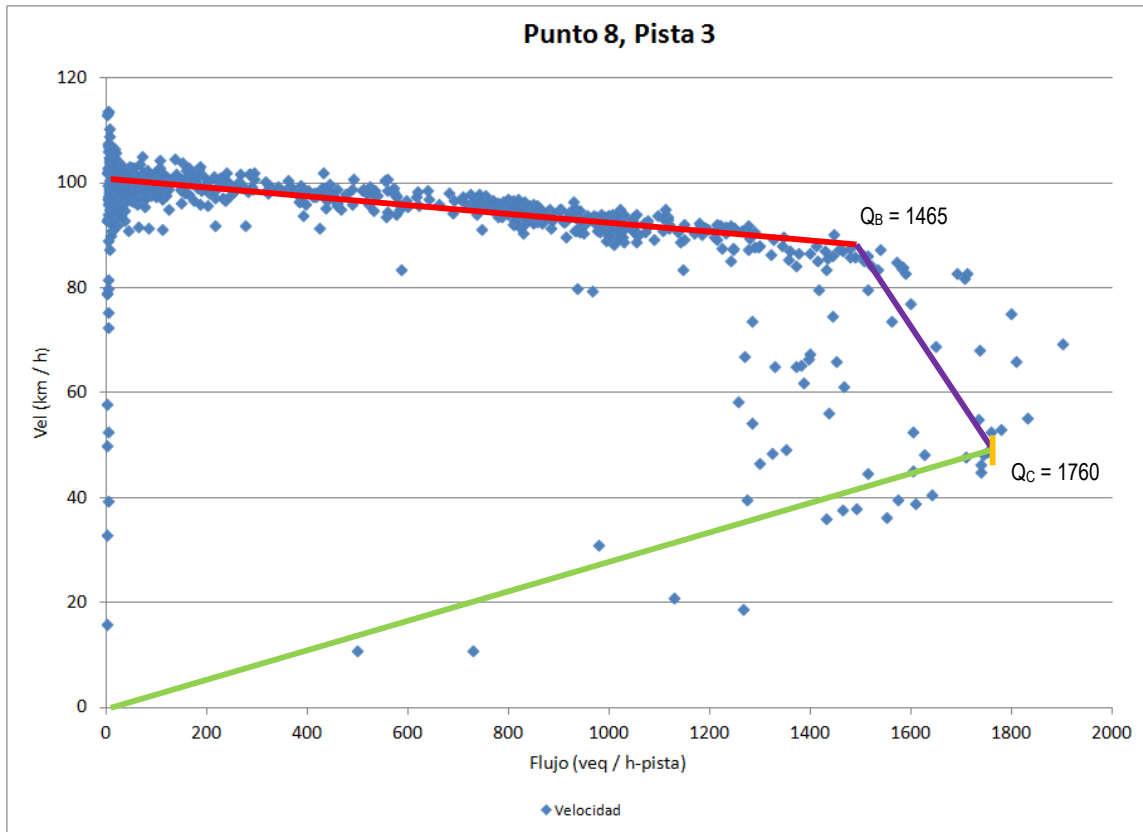
Figura N°54 CURVAS PISTA 2, PÓRTICO 8, SENTIDO O-P



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

$Q_B/Q_C = 87\%$.

Figura N°55 CURVAS PISTA 3, PÓRTICO 8, SENTIDO O-P



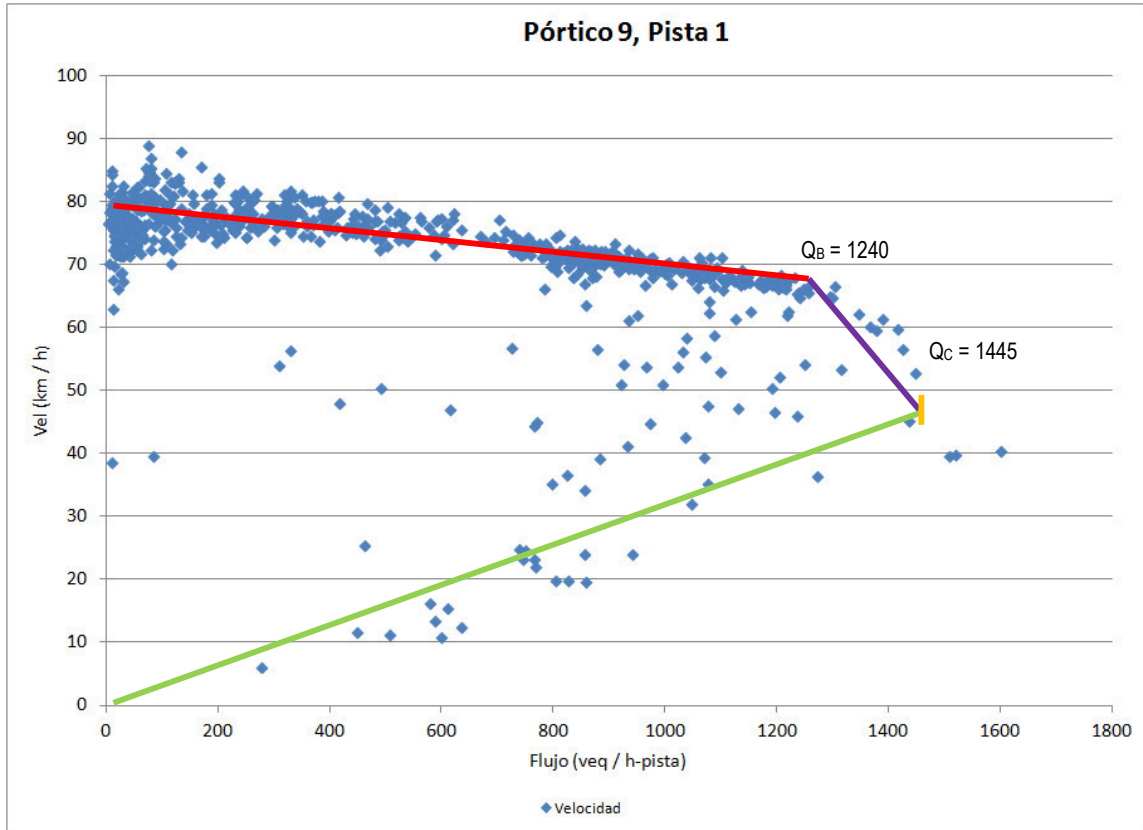
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

$Q_B/Q_C = 83\%$.

Es interesante comentar que el ajuste global se observa bastante bueno, especialmente en el primer tramo (curva roja). Asimismo, se obtuvo un coeficiente Q_B/Q_C (aproximado) de 81%, 87% y 83% para las pistas 1, 2 y 3, respectivamente.

A partir de la Figura N°56 se expone la misma información anterior, pero para el pÓrtico 9.

Figura N°56 CURVAS PISTA 1, PÓRTICO 9, SENTIDO O-P⁷

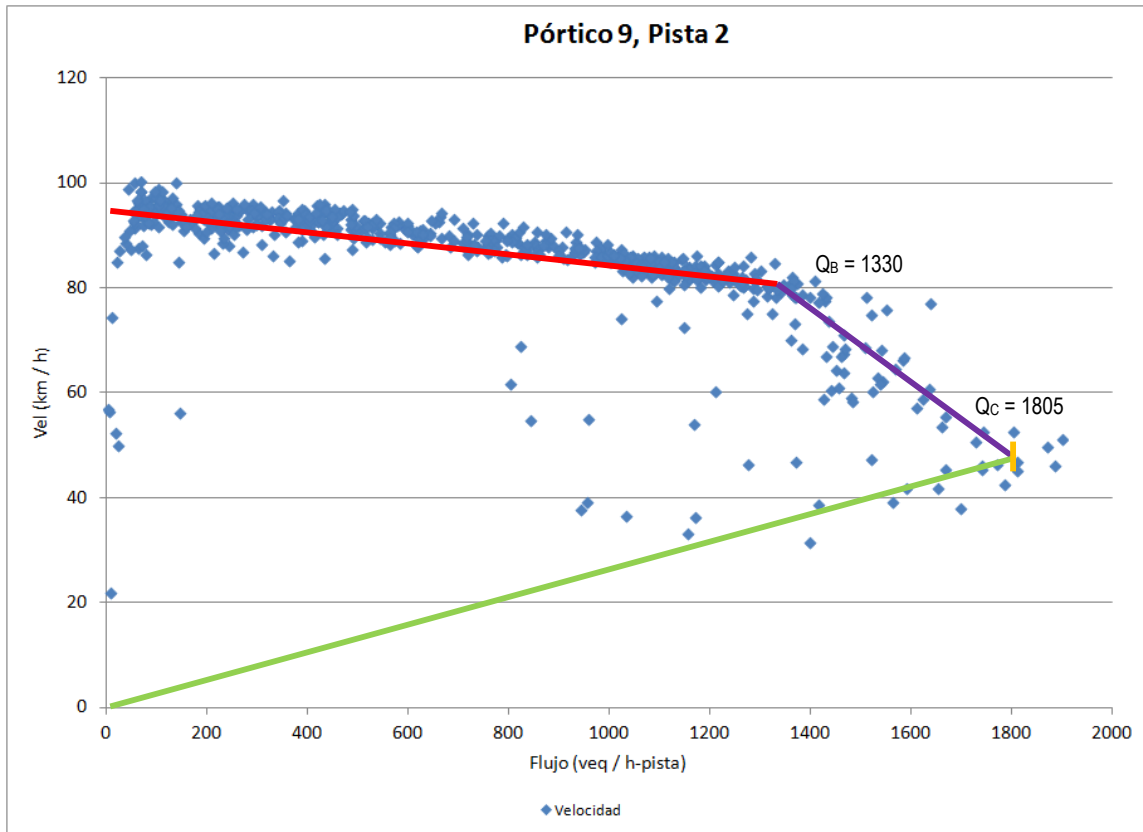


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

$Q_B/Q_C = 86\%$.

⁷ O-P: Oriente – Poniente.

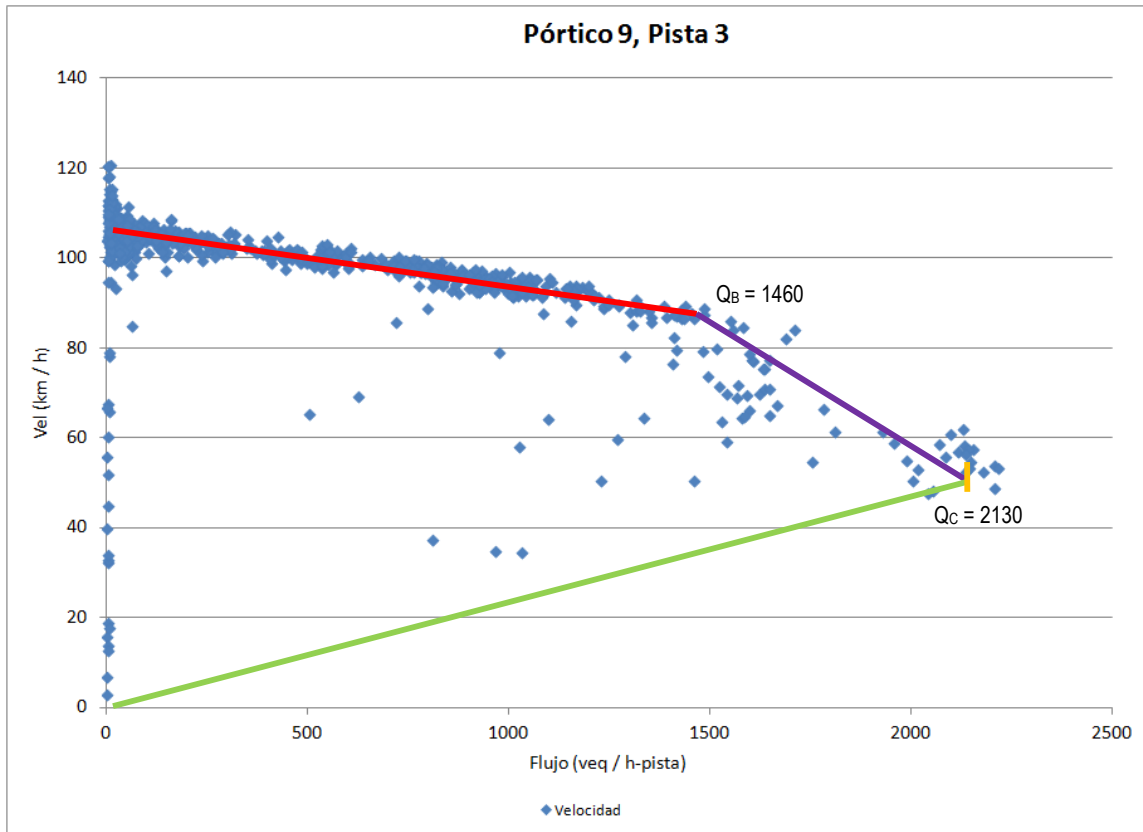
Figura N°57 CURVAS PISTA 2, PÓRTICO 9, SENTIDO O-P



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

$Q_B/Q_C = 74\%$.

Figura N°58 CURVAS PISTA 3, PÓRTICO 9, SENTIDO O-P



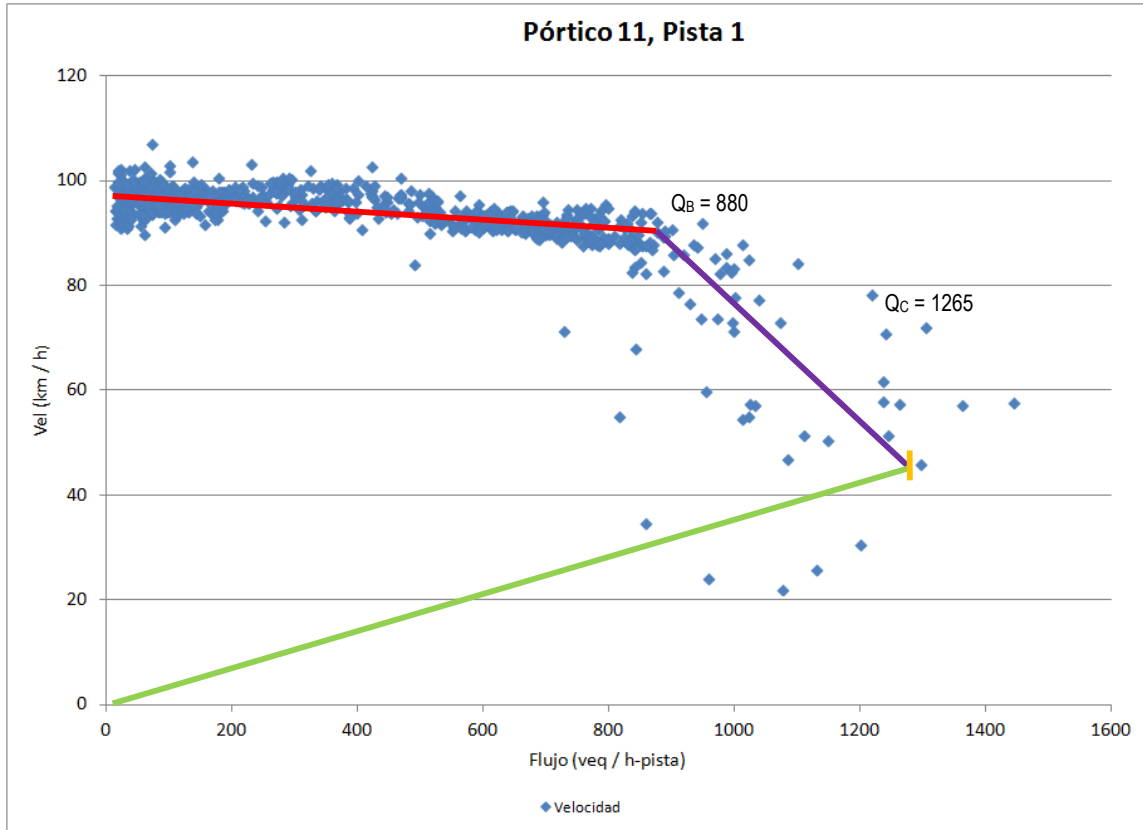
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

$Q_B/Q_C = 69\%$.

En este caso se obtuvo un coeficiente Q_B/Q_C (aproximado) de 86%, 74% y 69% para las pistas 1, 2 y 3, respectivamente.

Finalmente, en los siguientes gráficos se muestra la información para el pórtico 11.

Figura N°59 CURVAS PISTA 1, PÓRTICO 11, SENTIDO O-P⁸

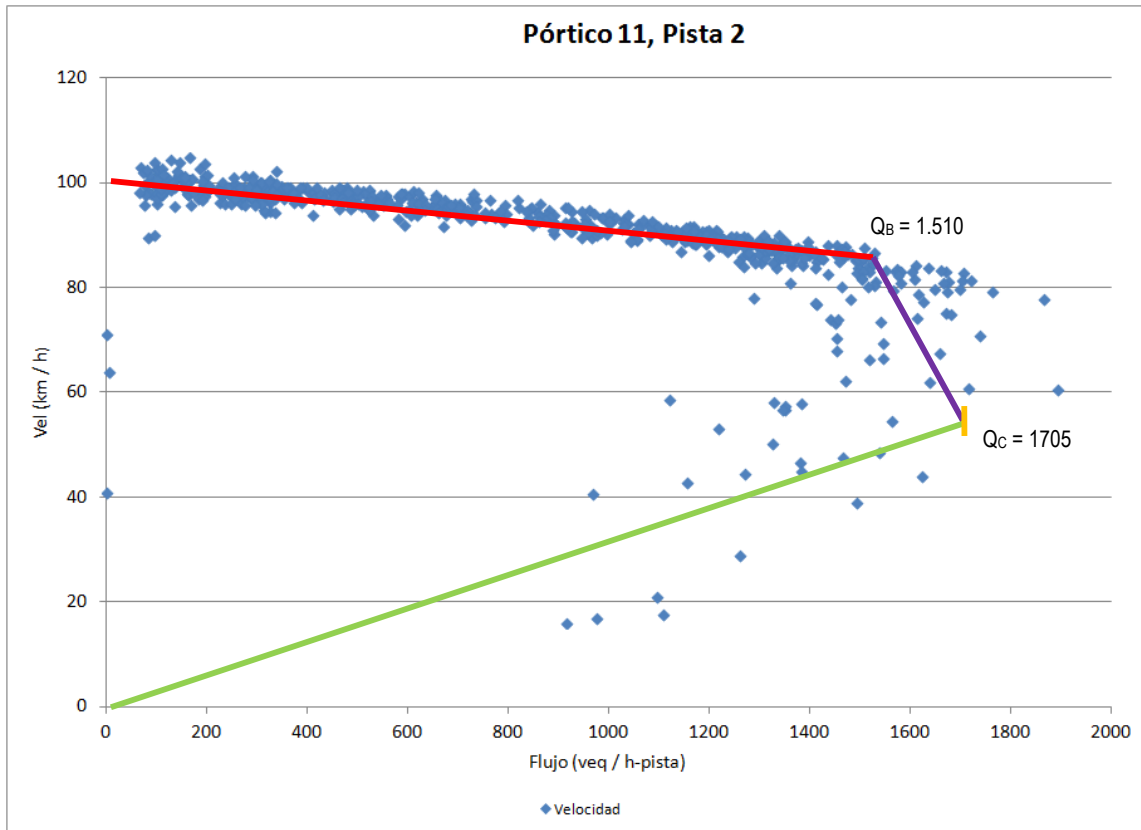


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

$Q_B/Q_C = 70\%$.

⁸ O-P: Oriente – Poniente.

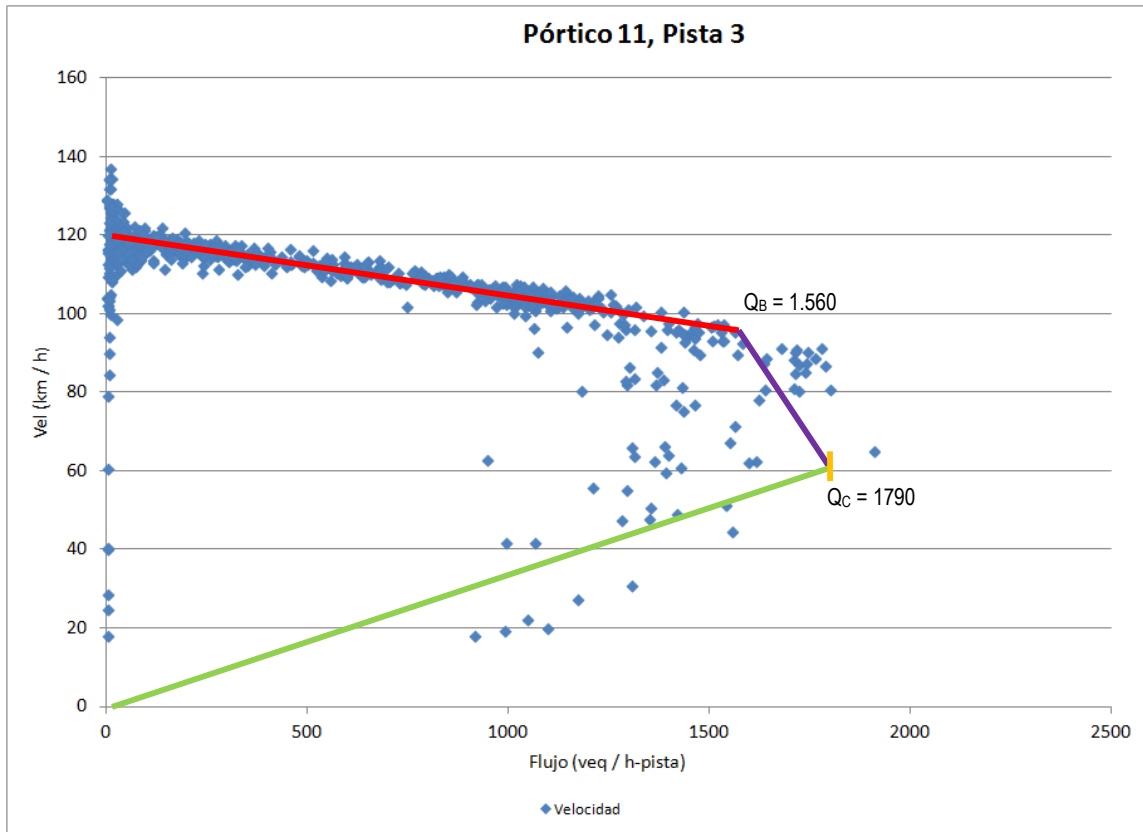
Figura N°60 CURVAS PISTA 2, PÓRTICO 11, SENTIDO O-P



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

$Q_B/Q_C = 89\%$.

Figura N°61 CURVAS PISTA 3, PÓRTICO 11, SENTIDO O-P



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Concesionaria Costanera Norte

$Q_B/Q_C = 87\%$.

En este caso se obtuvo un coeficiente Q_B/Q_C (aproximado) de 70%, 89% y 87% para las pistas 1, 2 y 3, respectivamente. La Tabla N°34 muestra un resumen con la relación aproximada Q_B/Q_C , desagregada por pista y pórtico.

Tabla N° 34. Coeficiente Q_B / Q_c

Pórtico	Pista	Q_B/Q_c
8	1	81%
	2	87%
	3	83%
9	1	86%
	2	74%
	3	69%
11	1	70%
	2	89%
	3	87%
Promedio		80%

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la Tabla N°34 se observa que el índice Q_B / Q_c fluctúa entre 70% y 89%, con un promedio de 80%. De este modo, si bien se trata de una aproximación gráfica, en la práctica para el caso de Chile el coeficiente promedio debiera encontrarse dentro del intervalo de 70% a 89%, siendo consistente con el valor utilizado en el Reino Unido (COBA), el que asciende a 80%.

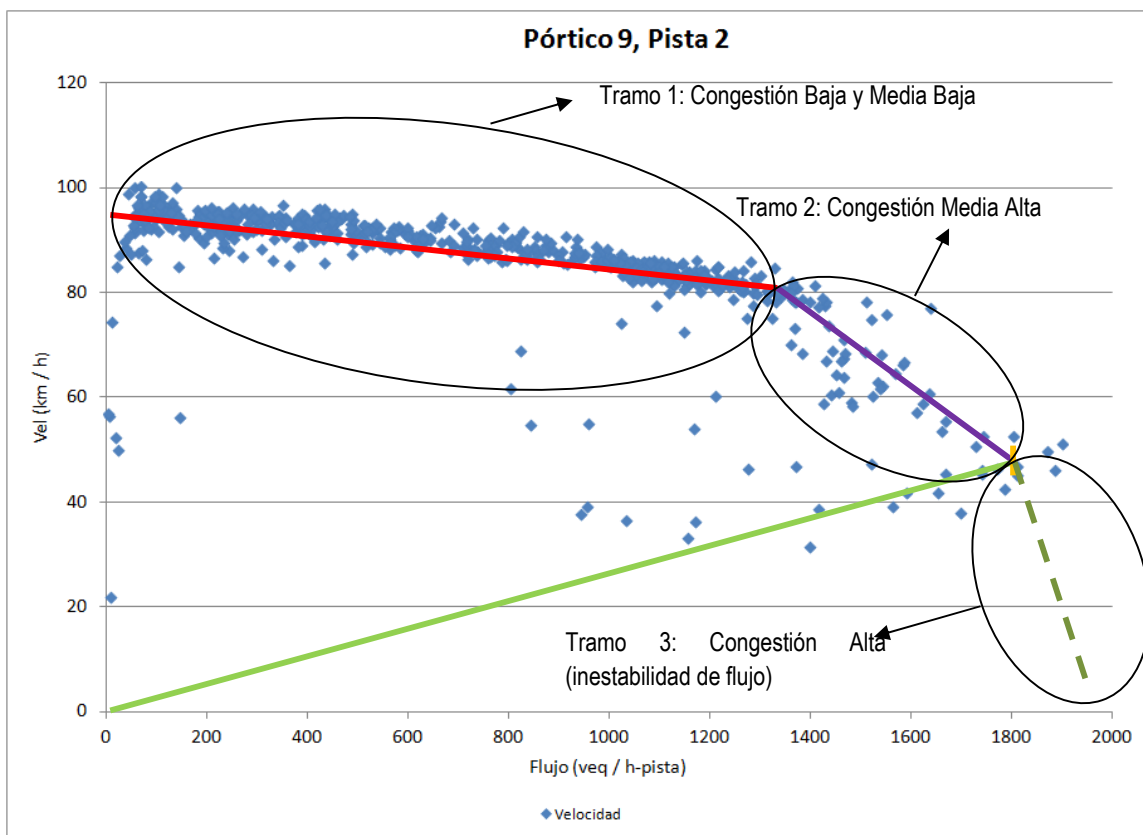
11.2.2. Propuesta de Modelo

Se evaluarán dos modelos, a saber:

- Modelo lineal por tramos.
- Modelo BPR.

Para el primer caso se utilizará la definición de tramos que se muestra a continuación, donde el tramo 1 (recta roja) representa un intervalo de congestión baja y media - baja, el tramo 2 (recta morada) un intervalo de congestión media - alta, y el tramo 3 (recta verde) a un intervalo de congestión alta (flujo inestable). Respecto a esta última, y con el propósito que la expresión tuviera una mayor aplicabilidad, se decidió aproximarla por una recta que representa la reducción de velocidad en función del aumento de demanda. Este último no es posible estimar adecuadamente con los datos disponibles, por lo cual se recurrirá a la información proporcionada por la microsimulación.

Figura N°62 **RELACIÓN VELOCIDAD – FLUJO, PÓRTICO 12 COSTANERA NORTE**



Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, los resultados se compararán con un modelo BPR, que ha sido frecuentemente utilizado a nivel nacional e internacional, y cuya forma funcional es la expresada en la Ecuación 21.

Ecuación 21

$$V = \frac{Vf}{1 + \alpha \left(\frac{q}{Q_c}\right)^\beta}$$

11.2.3. Estimación del Modelo

Para efectos de estimación del modelo se utilizó el pórtico 9 (sentido oriente – poniente), que recoge en forma bastante relevante el fenómeno de congestión.

Como primer paso, se estimó el valor del coeficiente Q_B / Q_c que minimiza el MAPE⁹ (error porcentual), obteniendo los resultados que aparecen en la Tabla N°35.

Tabla N°35. VALORES DE Q_B / Q_c QUE MINIMIZAN EL MAPE, PÓRTICO 9 (SENTIDO O-P)

Pista	Q_B / Q_c	MAPE
1	81%	3,1%
2	69%	2,7%
3	58%	3,3%

Fuente: Elaboración propia

En primer lugar, se aprecia que los valores óptimos son algo menores a aquellos obtenidos gráficamente. Esto podría sugerir que los valores promedio de este coeficiente podrían ser algo menor al 80% indicado anteriormente. En ese contexto, se decidió utilizar un coeficiente similar para las tres pistas, equivalente a 75%.

⁹ MAPE: Mean Absolute Percentage Error. Corresponde al promedio de los errores porcentuales de cada registro (abs(valor real – valor estimado) / valor real).

Para el caso de la pista 1, se estimó una capacidad de 1.445 vehículos / hora. Aproximando Q_B como el 75% de la capacidad, se obtiene que Q_B es igual a 1.084 vehículos / hora. De este modo, los tramos en este caso serían los siguientes:

- Tramo 1: Flujo entre 0 y 1.084 vehículos / hora. Para asegurarse que no esté recogiendo registros con alta congestión (bajo flujo), se consideraron sólo los registros que mostraron una velocidad superior a 60 km / h.
- Tramo 2: Flujo mayor a 1.084 vehículos / hora.

Realizando regresiones lineales, se obtuvieron los resultados que se presentan en la Tabla N°36.

Tabla N°36. ESTIMACIÓN MODELO PISTA 1

Parámetro	Tramo 1		Tramo 2	
	Coficiente	t-estadístico	Coficiente	t-estadístico
Intercepto	78,783	402,87	123,583	12,29
Pendiente	-0,008	-24,37	-0,050	-6,16
R2 Ajustado	0,495		0,373	

Fuente: Elaboración propia

Considerando que ambas curvas se debieran intersectar cuando "x" toma el valor Q_B (1.084), se realizó el ajuste del intercepto de la segunda curva obteniendo así los coeficientes presentados en la Tabla N°37.

Tabla N°37. PARÁMETROS DEFINITIVOS MODELO PISTA 1

Parámetro	Tramo 1	Tramo 2
Intercepto	78,783	123,550
Pendiente	-0,008	-0,050

Fuente: Elaboración propia

En la práctica, los valores de las pendientes estimadas en el modelo anterior no necesariamente se pueden generalizar. En efecto, los valores obtenidos se estimaron en base a un dato puntual, lo cual sugiere obtener estimaciones más robustas en base a un número más amplio de datos. De esta forma, se incluyeron tres puntos adicionales, a saber: 7a, 8 y 11 (todo en sentido O–P); obteniendo así un total de doce muestras (4 puntos x 3 pistas = 12).

Los parámetros definitivos se obtuvieron en base a la minimización del MAPE (promedio de las doce muestras), los que se muestran en la Tabla N°38.

Tabla N°38. PARÁMETROS DEFINITIVOS MODELO LINEAL

Parámetro	Tramo 1	Tramo 2
Pendiente	-0,0076	-0,0607

Fuente: Elaboración propia

Cabe precisar que el intercepto del tramo 1 corresponde a la velocidad a flujo libre, mientras que el intercepto del modelo 2 se obtiene en base a la metodología indicada anteriormente. Adicionalmente, se estimaron los parámetros α y β del modelo BPR que minimizaban el MAPE (promedio) de las doce muestras. Los valores obtenidos se exponen en la Tabla N°39.

Tabla N°39. PARÁMETROS MODELO BPR

Parámetro	Pista 1
α	0,361
β	2,534

Fuente: Elaboración propia

A partir de los modelos anteriores (modelo lineal: ML; BPR) se obtuvieron los resultados desagregados por pista que se muestran en la Tabla N°40. En particular, para cada pista se presenta la velocidad a flujo libre (V_f), la capacidad, el coeficiente de correlación R^2 vinculado al modelo lineal, el MAPE del modelo lineal y el MAPE del modelo BPR.

Tabla N° 40. RESULTADOS MODELOS

Punto ¹⁰	Pista	Vf (km/h)	Capacidad (veh / h)	R ² ML	MAPE ML	MAPE BPR
9	1	77	1445	82,1%	3,4%	3,2%
	2	93	1805	92,9%	4,5%	5,4%
	3	102	2130	84,7%	5,2%	7,4%
7a	1	113	1945	71,0%	4,1%	3,7%
	2	111	2200	74,4%	4,3%	3,4%
	3	123	2500	67,3%	4,2%	3,8%
8	1	84	1440	87,7%	4,2%	4,1%
	2	97	1720	81,7%	5,1%	5,4%
	3	98	1760	81,9%	5,3%	5,1%
11	1	95	1265	82,9%	3,8%	4,0%
	2	98	1705	81,3%	4,3%	4,1%
	3	115	1790	76,5%	4,8%	4,0%
Promedio		-	-	80,4%	4,4%	4,5%

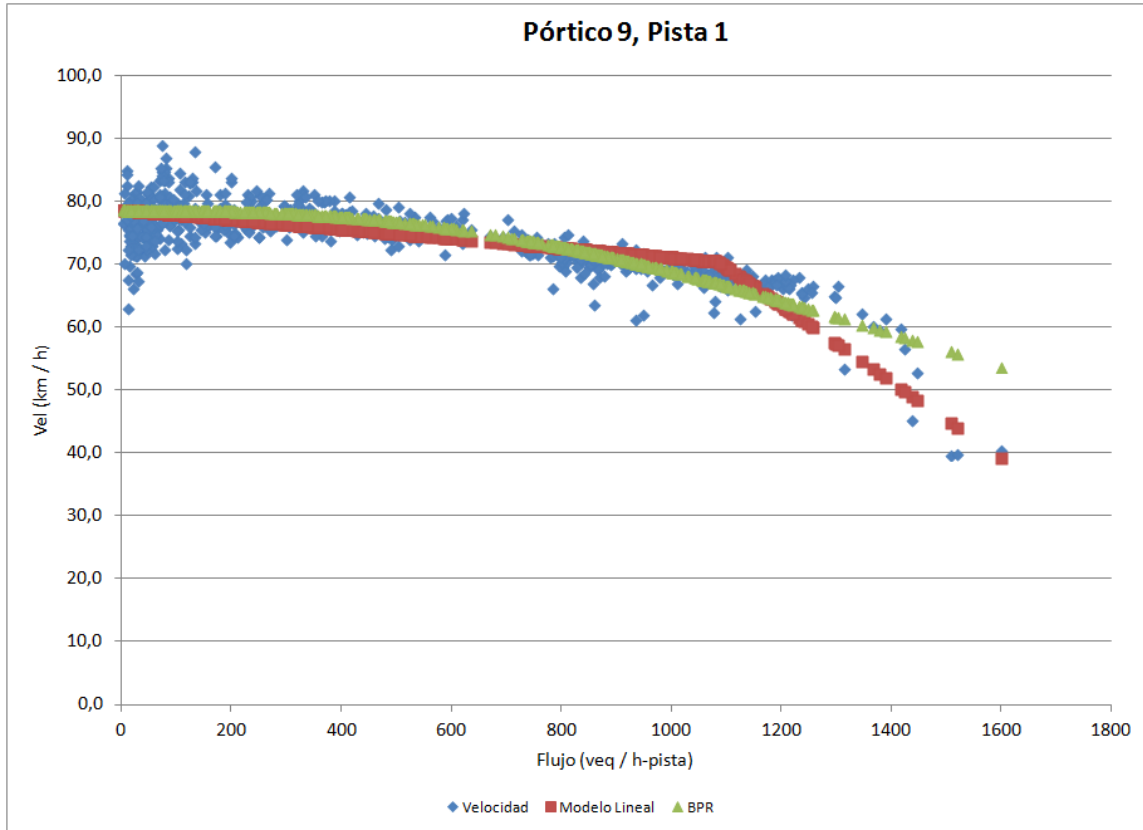
Fuente: Elaboración propia

Es interesante hacer notar que los errores de ambos modelos son bastante pequeños (inferiores a 7,5%) y cercanos entre ellos (no superan el 2%). Adicionalmente se observa un coeficiente R² (modelo lineal) superior al 80% en promedio, lo cual mostraría una bondad de ajuste bastante razonable.

A partir de la Figura N°63 se muestran gráficos con las velocidades medidas (azules), las velocidades estimadas con el modelo lineal (rojos) y las velocidades estimadas con el modelo BPR.

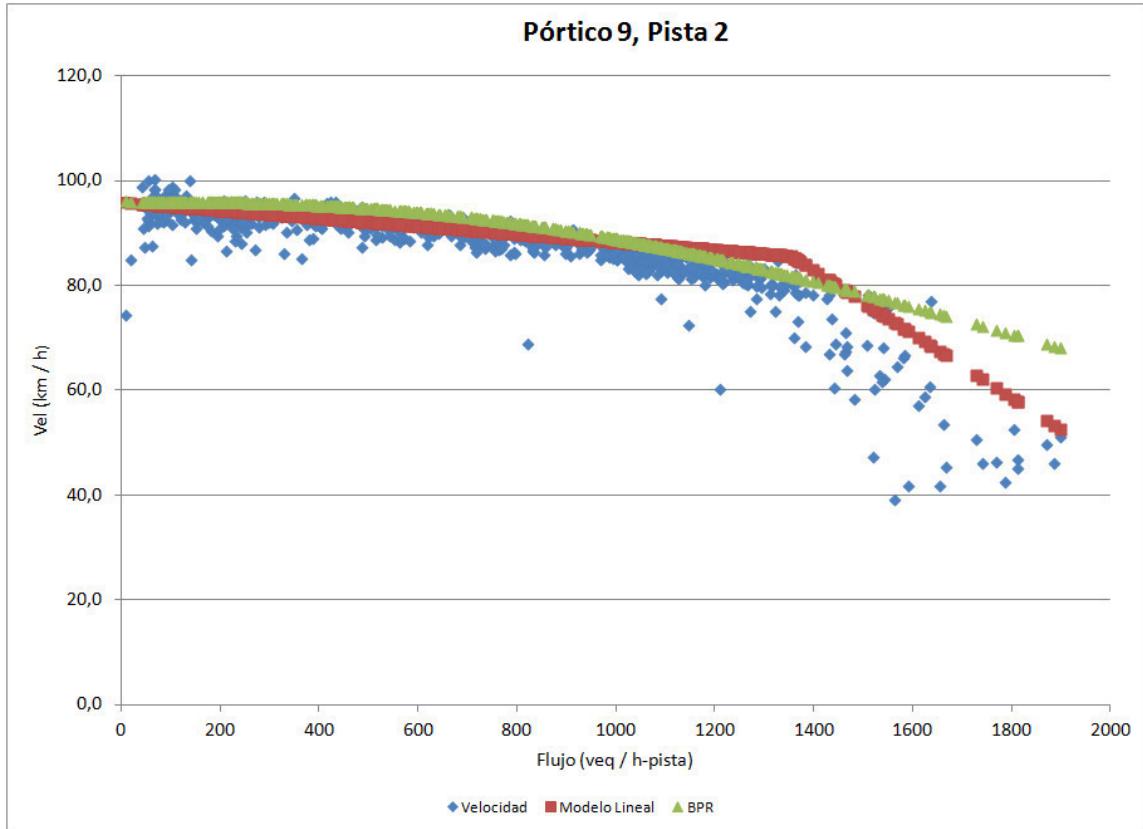
¹⁰ Sentido O-P.

Figura N°63 CURVAS AJUSTADAS PISTA 1, PÓRTICO 9 (SENTIDO O-P)



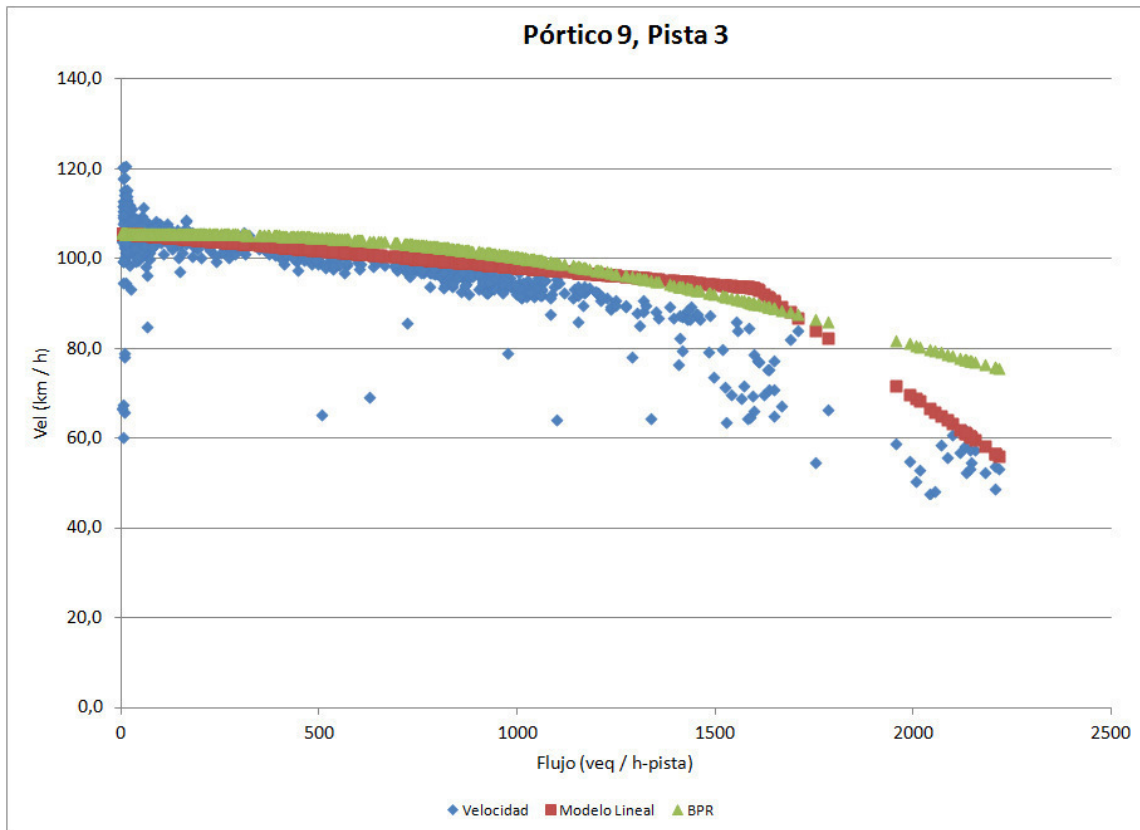
Fuente: Elaboración propia

Figura N°64 CURVAS AJUSTADAS PISTA 2, PÓRTICO 9 (SENTIDO O-P)



Fuente: Elaboración propia

Figura N°65 CURVAS AJUSTADAS PISTA 3, PÓRTICO 9 (SENTIDO O-P)



Fuente: Elaboración propia

11.2.4. Validación del Modelo

Para validar el modelo, se utilizó la información de dos puntos adicionales, a saber: 16 (Costanera Norte) y pórtico 1 de Kennedy (todo en sentido O-P). Los resultados se muestran en la Tabla N°41.

Tabla N°41. RESULTADOS VALIDACIÓN

Punto	Pista	Vf (km/h)	Capacidad (veq / h)	MAPE ML	MAPE BPR
16	1	88	1450	3,6%	3,0%
	2	94	1800	3,7%	2,4%
	3	103	2100	6,1%	6,0%
Kennedy P1	1	84	1450	4,4%	3,8%
	2	92	1800	4,4%	4,6%
	3	105	2100	4,0%	3,7%

Fuente: Elaboración propia

Es interesante hacer notar que los errores de ambos modelos son bastante pequeños (inferiores a 6,1%) y cercanos entre ellos (no superan el 2%), lo que validaría ambas estimaciones.

11.2.5. Conclusiones y Recomendaciones a partir del Modelo

El análisis se efectuó en una autopista concesionada (Costanera Norte – Kennedy) con doble calzada y tres pistas por sentido. A partir del análisis efectuado en secciones anteriores, es posible concluir lo siguiente:

- Existen diferencias importantes de capacidad en las tres pistas, especialmente entre la pista derecha y las dos restantes (central e izquierda). En particular, la capacidad de la pista derecha es al menos un 20% inferior a la pista izquierda.
- Los dos modelos analizados (lineal y BPR) muestran errores pequeños en la estimación de la velocidad. Asimismo, los errores son bastante cercanos y no es posible recomendar un modelo sobre otro en base a ese criterio.
- El modelo BPR tiene la ventaja que no requiere la definición de tramos.
- El modelo lineal tiene la ventaja de poder incorporar otras variables que influyen en la velocidad, como pudiera ser la curvatura y la pendiente, entre otros. Nótese que esas variables no fueron incluidas en el modelo lineal estimado, puesto que se disponía de información en tramos que tenían una baja variación en términos de curvatura y pendiente.
- El modelo lineal tiene mayor flexibilidad en la definición de la curva del tercer tramo.

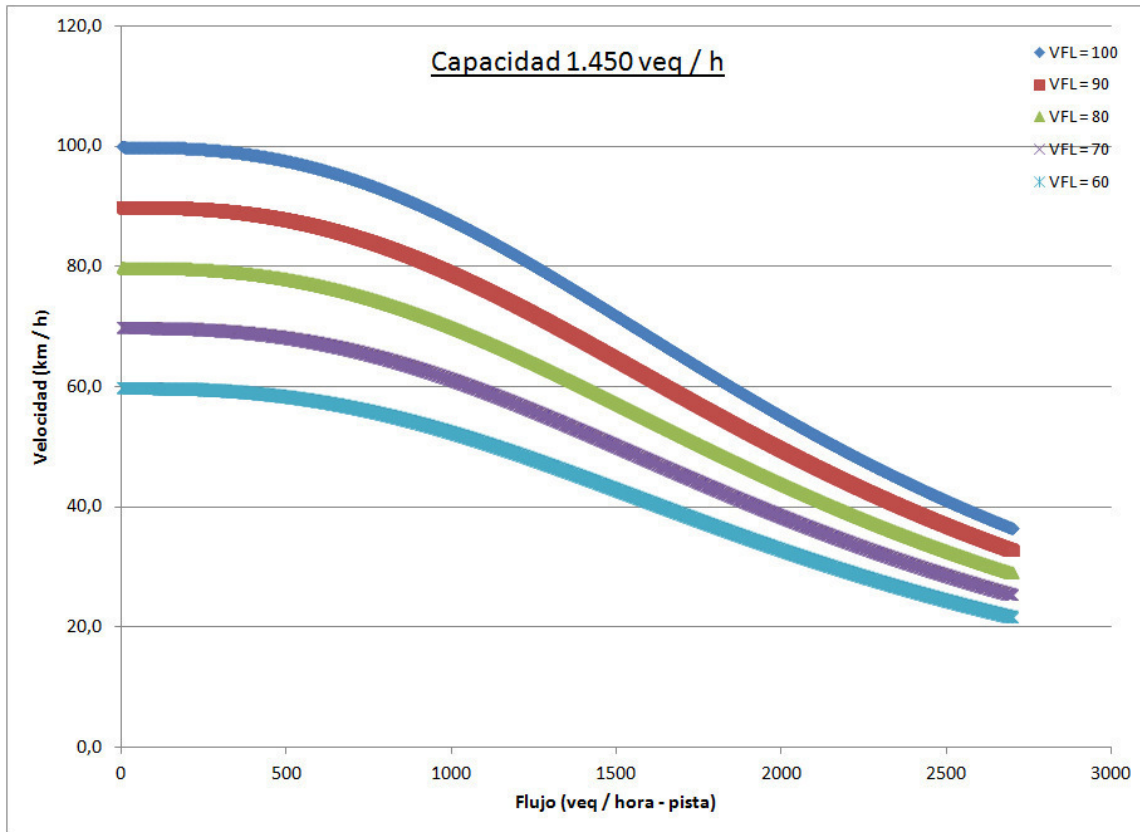
Sin considerar los resultados que se obtienen con el microsimulador para el tercer tramo, y teniendo presente que las autopistas urbanas en general tienen bajas pendientes y curvaturas, a juicio del consultor se recomienda la utilización de curvas BPR, dada la facilidad de aplicación (ya que no requiere la definición de tramos). Esta recomendación no es extensible al caso interurbano, donde sí es posible encontrar un amplio rango de pendientes y curvaturas.

11.2.6. Curvas Propuestas

Con el propósito de que el modelo pueda ser aplicado fácilmente, se han desarrollado curvas a través del modelo BPR, considerando las siguientes velocidades a flujo libre: 100, 90, 80, 70 y 60 km / h; lo cual cubre un espectro bastante amplio de las velocidades de autopistas concesionadas. Para ello se han considerado tres capacidades, cuyos valores se podrían asociar a las pistas derecha, central e izquierda, a saber: 1.450 veq / h, 1.800 veq / h y 2.100 veq / h, respectivamente. Nótese

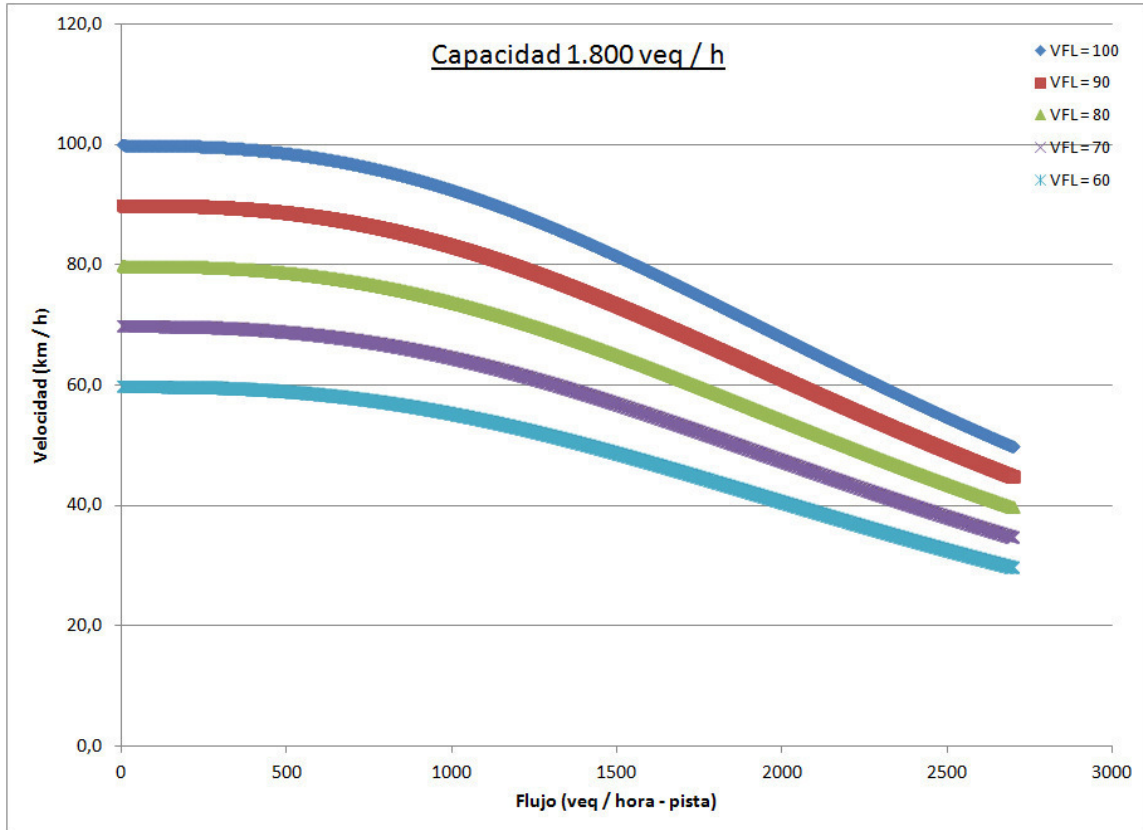
que si bien los valores de capacidad indicados son razonables y se encontrarían dentro de los rangos de variación de cada pista, no necesariamente representan valores promedio.

Figura N°66 **CURVA FLUJO VELOCIDAD, CAPACIDAD 1.450 VEQ / H (PISTA DERECHA)**



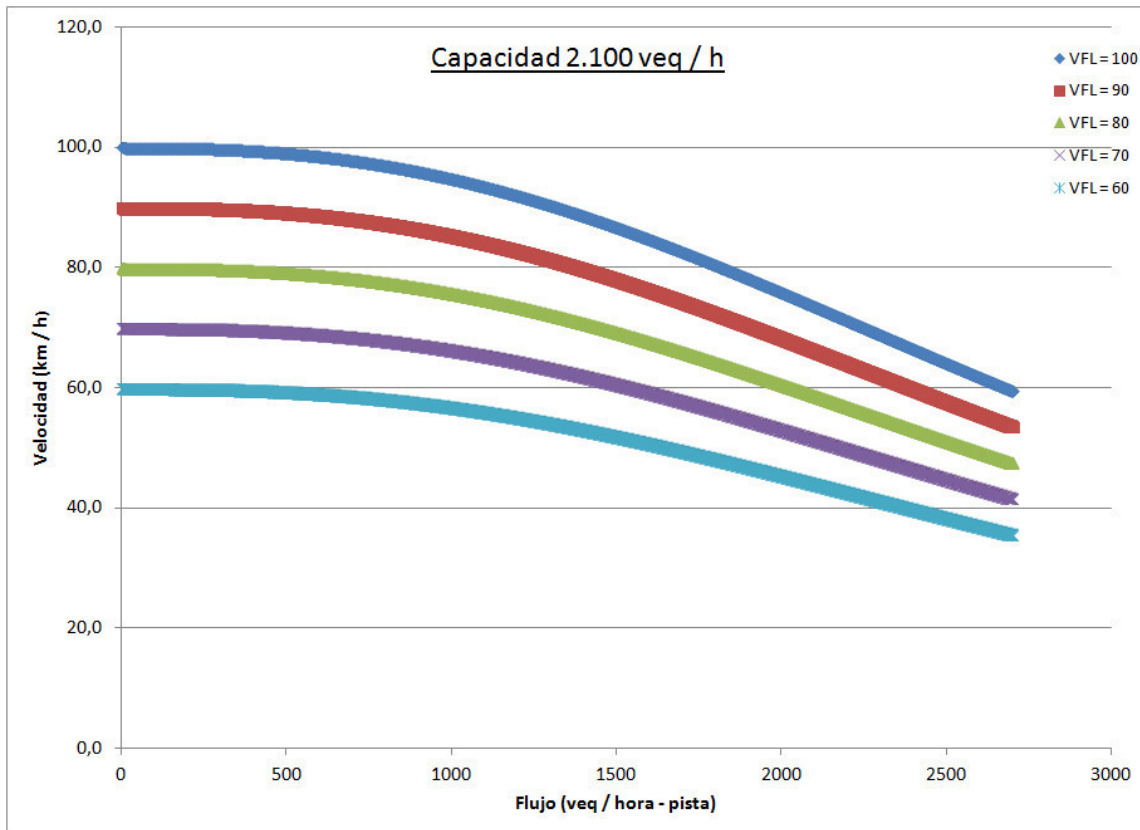
Fuente: Elaboración propia

Figura N°67 **CURVA FLUJO VELOCIDAD, CAPACIDAD 1.800 VEQ / H (PISTA CENTRAL)**



Fuente: Elaboración propia

Figura N°68 **CURVA FLUJO VELOCIDAD, CAPACIDAD 2.100 VEQ / H (PISTA IZQUIERDA)**



Fuente: Elaboración propia

11.3. Modelos Autopistas Interurbanas

Para el caso de autopistas interurbanas, se realizaron mediciones de flujo en sectores que presentaban características distintas, en términos de curvatura, pendiente, tipo (simple, doble, terceras pistas) y fricción lateral. Si bien, en este caso, no se dispone de la cantidad de información que se tiene para las autopistas urbanas, existe información de velocidad en función de múltiples variables (flujo, pendiente, curvatura, etc.), lo que no es posible recoger en el caso urbano.

Como modelo preliminar se consideró un modelo lineal, teniendo presente que no se dispone de información en los tramos congestionados. Si bien el comportamiento no es lineal, en rigor se puede aproximar razonablemente bien por segmentos lineales por tramos. A partir de estos datos, se aplicó la microsimulación presentada en el Capítulo 10 para generar las curvas flujo – velocidad.

Se analizaron distintas combinaciones de variables para modelos de vehículos livianos en calzada simple y doble, y cuyos mejores resultados se muestran en la Tabla N°42. En ella se muestran los siguientes parámetros: Intercepto (Vf: Velocidad a Flujo Libre), flujo total en el sentido del vehículo, curvatura y pendiente. Adicionalmente se expone la bondad de ajuste y el número de datos utilizados. Para el caso de calzada doble se muestran los dos mejores modelos.

Tabla N° 42. MODELOS PRELIMINARES, VEHÍCULOS LIVIANOS

Parámetro	Calzada Simple		Calzada Doble 1		Calzada Doble 2	
	Coefficiente	t-estadístico	Coefficiente	t-estadístico	Coefficiente	t-estadístico
Vf (km / h)	78,36	22,34	105,85	31,88	106,09	31,77
Flujo (veh/h)	-0,06	-1,92	-0,02	-2,73	-0,02	-2,85
Curvatura (°/km)	-0,22	-4,29	-0,25	-5,61	-0,26	-6,07
Pendiente (%)			-0,81	-1,43		
R ² Ajustado	0,150		0,371		0,362	
Número Datos	128		78		78	

Fuente: Elaboración propia

A partir de estos modelos es posible comentar lo siguiente:

- La velocidad a flujo libre de los modelos es razonable, tanto para calzadas simples como dobles.
- Los datos medidos son insuficientes para ajustar la curva completa, por cuanto no se dispone de información en los tramos de la curva más congestionados. Tal como ha sido señalado en la revisión metodológica, los datos restantes serán generados a partir de microsimulación.
- La pendiente resultó no ser estadísticamente significativa al 95% de confianza, tanto para calzada simple como doble.
- En calzada simple, el flujo en sentido contrario tampoco resultó ser estadísticamente significativo, lo que obedece a la ausencia de congestión durante la medición. Con el microsimulador se debieran generar datos suficientes para verificar la significancia estadística real de esa variable.
- El modelo definitivo debiera incluir como parámetro la capacidad, lo cual se vuelve relevante para la estimación de la velocidad en los tramos congestionados de la curva.

12. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS NACIONALES DEL MANUAL DE CARRETERAS.

12.1. Antecedentes

El Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad es considerado un documento de carácter normativo, elaborado con el propósito de servir de guía a las acciones que son de competencia técnica de dicha Dirección. De esta manera establece políticas, criterios, procedimientos y métodos que deben cumplir los proyectos viales en sus distintas etapas y ámbitos de análisis.

Está estructurado en nueve volúmenes, según las especialidades involucradas:

- Volumen 1: Planificación, Evaluación y Desarrollo Vial
- Volumen 2: Procedimientos de Estudios Viales
- Volumen 3: Instrucciones y Criterios de Diseño
- Volumen 4: Planos de Obras Tipo
- Volumen 5: Especificaciones Técnicas Generales de Construcción
- Volumen 6: Seguridad Vial
- Volumen 7: Mantenimiento Vial
- Volumen 8: Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control
- Volumen 9: Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales

De los nueve volúmenes, es posible encontrar referencias a las temáticas de relación entre flujo y velocidad en los número “1”, de Junio de 1997, y “3”, de Marzo de 2012. En los siguientes subcapítulos se identifican y comentan aquellos elementos incorporados en el Manual.

12.2. Volumen 1: Planificación, Evaluación y Desarrollo Vial

Los temas asociados a las curvas flujo velocidad están disponibles en el Volumen 1 Tomo II, correspondiente a “Evaluación de Proyectos Viales Interurbanos”. El Tomo I corresponde a conceptos, criterios y antecedentes de planificación y desarrollo vial.

En el punto 1.402.2 de dicho manual se entregan algunas definiciones básicas:

- Velocidad de flujo libre, que corresponde a la que se puede desarrollar cuando no es restringida por la circulación de otros vehículos.
- Velocidad de operación o circulación, que sería aquella de un vehículo cuando está restringido, tanto por las características de la vía, como por la circulación de otros.
- Velocidad observada, que corresponde a la velocidad media de operación.
- Condición de flujo libre, que ocurre cuando la velocidad de cada clase de vehículos no difiere significativamente de la velocidad de flujo libre.
- Condición de flujo restringido o congestión, que ocurre cuando la velocidad de cada clase de vehículos difiere significativamente de la de flujo libre.
- Relación flujo – velocidad, que expresa la velocidad de operación de un vehículo dado, en función del nivel de flujo en la vía y otros parámetros.
- Capacidad de un tramo de vía, que corresponde al flujo máximo que puede pasar a través de dicho tramo.

En el punto 1.402.3, que se puede observar en la Tabla N°43, se indican los procedimientos a seguir para determinar el consumo de recursos, distinguiendo la etapa de análisis y los casos de congestión y flujo libre.

Tabla N° 43. Procedimientos para determinar consumo de recursos, según Manual de Carreteras.

Etapa	Flujo libre	Congestión
Perfil	HDM-III simplificado	HDM-III simplificado, corrigiendo tiempo de viaje y combustible mediante CRITAM
Prefactibilidad	HDMIII-CH	HDMIII-CH y TRARR o HDM-X
Factibilidad	HDMIII-CH	HDMIII-CH y TRARR

Fuente: Elaboración propia a partir de Manual de Carreteras

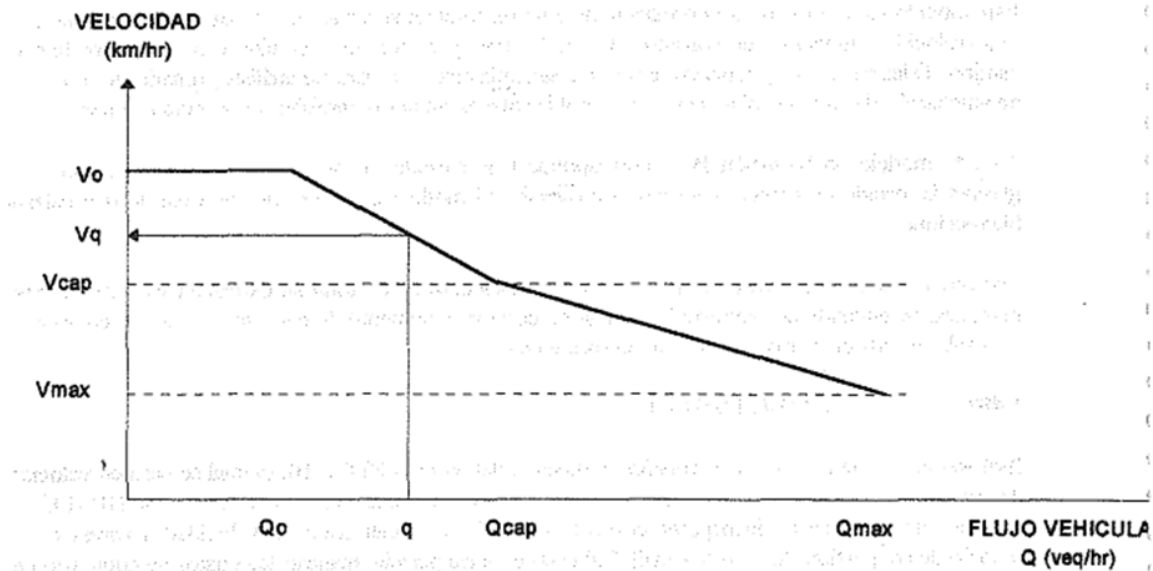
Como parece evidente, esta parte del Manual presenta un alto grado de desactualización en cuanto a las alternativas propuestas para la modelación. Se cuenta con una versión calibrada de HDM-IV CH, en tanto TRARR y CRITAM, son modelos de menor utilización en la práctica actual. No se hace referencia a metodologías ampliamente utilizadas como los modelos de microsimulación, si bien persisten deficiencias en la adaptación de estos modelos a la realidad nacional.

Es interesante notar, por ejemplo, que el HDM III-CH permitía modelar, dentro de las tipologías vehiculares, a autos menores de 800 cc, o autos con motores entre 801 y 1800 cc, valores que resultan poco representativos del parque automotor nacional a.

El modelo CRITAM es una planilla de cálculo que permite determinar variaciones de tiempo, combustible y costos de operación para la ampliación de un camino de una calzada bidireccional, de una pista por sentido, a una doble calzada unidireccional de dos pistas por sentido. TRARR es un modelo desarrollado en 1978 y adaptado al caso chileno en 1990, simulando a nivel microscópico el comportamiento individual de los vehículos, lo que permitía utilizarlo en casos en que la velocidad de circulación estaba restringida por la geometría o las posibilidades de adelantamiento.

El modelo HDM-X resulta de interés porque incorporaba el efecto del flujo vehicular sobre la velocidad a través de un modelo de congestión lineal o trizonal. En este último caso, las tres zonas correspondían a flujo libre, interacción de tránsito y congestión.

Figura N°69 Relación Flujo – Velocidad en Modelo Lineal Trizonal.



Fuente: Manual de Carreteras Volumen 1.

En el punto 1.402.7 se indican valores referenciales para algunos parámetros como:

- Velocidad a capacidad corresponde a la V15% de la velocidad de los vehículos más lentos, es decir la velocidad a la que circula el 15% de los vehículos lentos.
- Flujo máximo en flujo libre, como 0,1 veces el flujo máximo o capacidad en congestión (Q_{max}).
- Flujo máximo en congestión es 1,25 veces el flujo en condiciones de interacción (Q_{cap})
- Velocidad a capacidad es 0,88 veces la velocidad del vehículo más lento

Las pendientes de la recta, en la zona de interacción, se debían obtener de relaciones flujo - velocidad medidas o predichas, pero por defecto se podía asumir un valor de 0,02 para la calzada simple y 0,005 para doble calzada.

En el punto 1.406.2 se analiza con detalle la metodología de asignación. Se plantea, por ejemplo, que para caracterizar la red de modelación se deben considerar, entre otros parámetros, la capacidad y la velocidad o tiempo de viaje. No obstante, pese a que se analizan con detalle distintas metodologías de asignación (estocásticas, todo o nada, equilibrio de Wardrop) no se hace mayor mención a la vinculación entre nivel de flujo vehicular y velocidad de circulación.

12.3. Volumen 3: Instrucciones y Criterios de Diseño

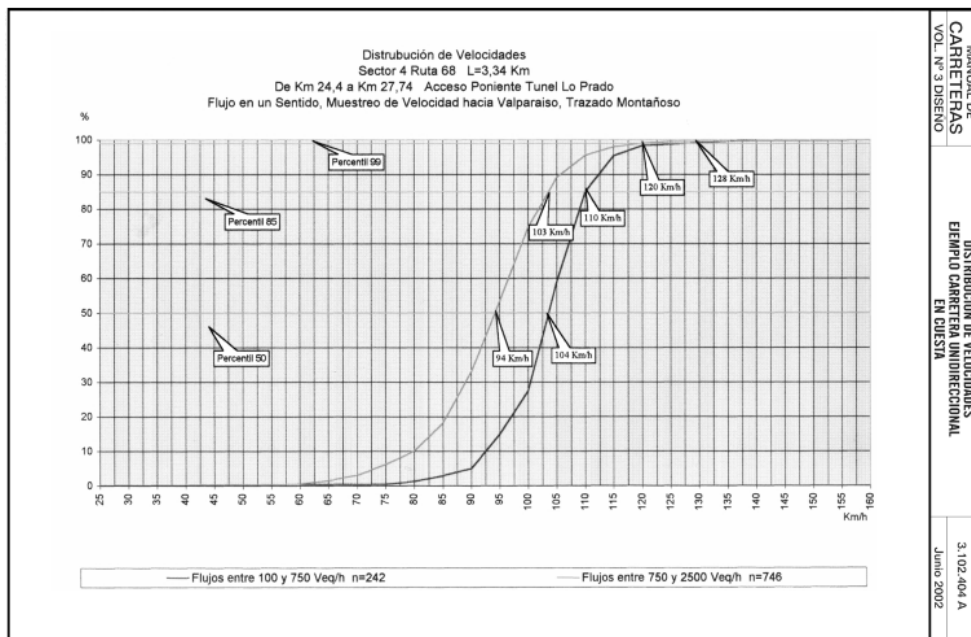
Las principales referencias a flujo – velocidad se encuentran en la Sección 3.100 “Controles Básicos de Diseño”, en particular en los apartados 3.102.4 “Conceptos relativos a velocidad en el diseño vial” y 3.102.8 “Capacidad y Niveles de Servicio”.

En relación al punto 3.102.4 se definen los siguientes conceptos:

- Velocidad de proyecto, la que define las características geométricas mínimas de los elementos del trazado bajo condiciones de seguridad y comodidad.
- Velocidad específica, definida como la máxima velocidad a la que se puede circular por un elemento individual del trazado, particularmente elementos curvos de la planta.
- Velocidad de operación, entendida como la velocidad media de desplazamiento que pueden lograr los usuarios, en un tramo de vía, a una velocidad de proyecto dada; bajo las condiciones prevalecientes del tránsito, del estado del pavimento, meteorológicas y grado de relación de esta con otras vías y con la propiedad adyacente. Se puede notar que en esta definición se vincula la velocidad de circulación con el nivel de tránsito, si bien se establecen otras condicionantes. Se indica además que “a medida que el tránsito crece la interferencia entre vehículos aumenta, tendiendo a bajar la velocidad de operación del conjunto”, vinculando este concepto con la calidad de servicio que brinda una carretera y que se aborda en el punto 3.102.8.
- Velocidad percentil 85, definida como aquella velocidad no superada por el 85% de los usuarios en un tramo de características homogéneas. Si las condiciones de tránsito, pavimento, meteorológicas y de borde no son restrictivas, la V85% suele ser mayor que la de proyecto o la velocidad máxima legal.

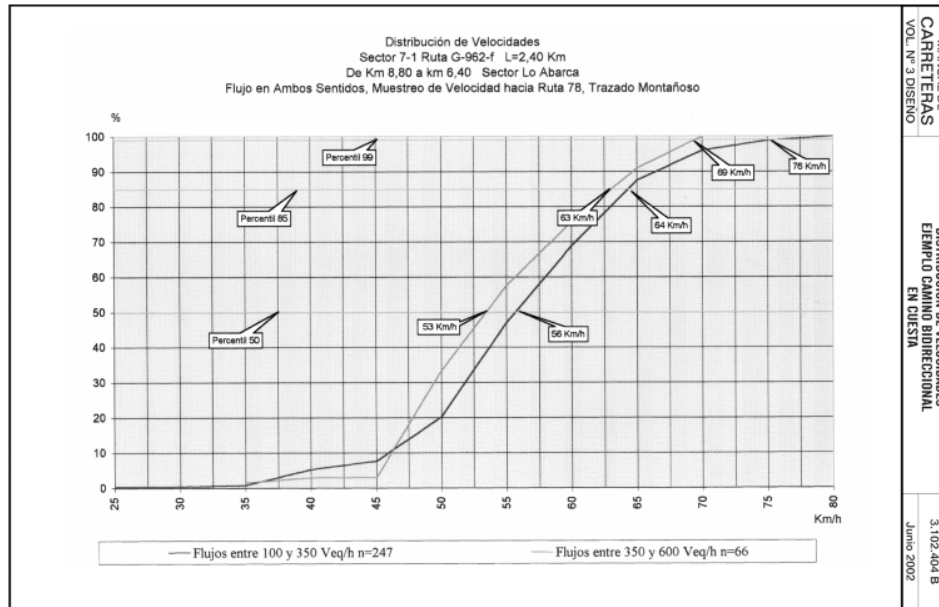
En este acápite se indica que “según estudios hechos en distintos países y también Chile, si para condiciones de flujo libre se representa en ordenadas el porcentaje acumulado de usuarios que circula a una velocidad menor o igual que X, y en abscisas la velocidad de circulación, resulta una curva en forma de S inclinada, que ilustra la distribución de velocidades.” Para ilustrar este concepto se presentan dos láminas, las cuales se observan en la Figura N°70 y Figura N°71 respectivamente, que representan muestreos de velocidad efectuados en la zona central de Chile.

Figura N°70 **Ejemplo Distribución de Velocidades Carretera Unidireccional en Cuesta**



Fuente: Manual de Carreteras

Figura N°71 Ejemplo Distribución de Velocidades Camino Bidireccional en Cuesta



Fuente: Manual de Carreteras

La primera lámina corresponde a un tramo del acceso poniente al túnel Lo Prado de la Ruta 68, en sentido hacia Valparaíso. Se indica que, por condiciones de planta, la velocidad de proyecto es de 80 a 85 Km/hr en curvas y puede elevarse en los alineamientos rectos, por lo que la velocidad de operación sería del orden de 90 a 95 km/h. Este último rango de velocidad correspondería en la curva de menos de 750 veq/hr a la V15%, lo que indica que la mayor parte de los usuarios circula a velocidades superiores a la de operación.

Se presenta la Tabla N°44 , donde se representan los percentiles 50, 85 y 99 tanto para bajada como subida.

Tabla N°44. Percentiles 50, 85 y 99 para bajada y subida.

Sentido	V50%	V85%	V99%
De Bajada	94 y 104	103 y 110	120 y 128
De Subida	89 y 101	100 y 109	118 y 118

Fuente: Manual de Carreteras

Se indica en el análisis además que el efecto de la pendiente, estimado entre 4% a 5%, no afecta de manera relevante las velocidades excepto para el percentil 99.

El segundo caso presentado corresponde a la ruta G-962-F, entre Lo Abarca y Orrego Bajo, en el tramo de Cuesta Lo Abarca Km 6,4 a 8,8. Se señala que es un camino colector, bidireccional, con trazado sinuoso y fuertes pendientes, calzada de 7 m y bermas de 1,5 m. Se estima que la velocidad de operación podría alcanzar a 70 km/h. La distribución de velocidades según el Manual de Carreteras se presenta en la Tabla N°45.

Tabla N°45. Velocidad en camino colector bidireccional.

Sentido	V50%	V85%	V99%
De Bajada	53 y 56	63 y 64	69 y 76
De Subida	44 y 53	57 y 62	84 y 85

Fuente: Manual de Carreteras

Se comenta que “la velocidad posible de los vehículos livianos existentes hoy en día, casi no está limitada por las pendientes si el usuario está dispuesto a correr el riesgo”. Se analiza a pie de página también que la velocidad de subida es mayor que la de bajada, lo que se explicaría porque la pista de subida está hacia los taludes de corte y la de bajada hacia el barranco, lo que actuaría como moderador de la velocidad máxima, por la percepción de riesgo de los usuarios.

Cabe señalar que no se identifica el trabajo o estudio que dio origen a estas estimaciones de velocidad, si bien se señala que se analizaron nueve tramos de ruta y se reportan sólo dos de ellos. Se indica, no obstante, que en la actualización 2002 del Volumen 3 se analizaron los nueve tramos en que se midieron velocidades medias, en longitudes de 3 Km y unos 25 puntos en que se contaba con instrumentos contadores – clasificadores con capacidad de medir velocidades instantáneas. Las mediciones de velocidad se habrían desarrollado entre 1995 a 1998, lo que si bien genera antecedentes suficientes y de un volumen considerable, tendría algún grado de desactualización considerando las variaciones en las capacidades del parque vehicular actual y los nuevos criterios de diseño y seguridad vial que se han implementado en la vialidad interurbana, particularmente la concesionada, considerando que la implementación de estos proyectos fue posterior a las fechas en las que se efectuaron las mediciones.

En el documento se citan referencias internacionales, como Reino Unido, Alemania y Suiza quienes habrían elaborado modelos de predicción de la V85% según las características de la ruta, especialmente para caminos bidireccionales.

En el caso del Reino Unido, indican que se ha adoptado como representativa una relación entre percentiles de la forma: $V_{85\%}/V_{50\%} \sim 1,19$ $V_{99\%}/V_{85\%} \sim 1,19$, si bien se establece que no está determinada la relación entre la $V_{50\%}$ y la velocidad de proyecto.

En el caso español se cita una investigación de CEDEX del año 1993, con órdenes de magnitud para diferentes tipos de carreteras según su sección transversal, lo que se muestra en la Tabla N°46.

Tabla N°46. Magnitudes para diferentes tipos de carreteras según CEDEX.

Percentil	Carreteras bidireccionales		Carreteras Unidireccionales
	Bermas < 1,5 m	Bermas > 1,5 m	Bermas > 3,0 m
V99	128	145	165
V85	90	110	130
V50	70	90	105
V99/V85	1,38	1,33	1,28
V85/V50	1,30	1,25	1,23

Fuente: Manual de Carreteras

En el Manual se advierte sobre la amplia diferencia entre los parámetros ingleses y españoles, por lo que “no parece recomendable adoptar un modelo de predicción desarrollado en otros países sin antes estudiar detenidamente la realidad nacional”, considerando que ésta ha cambiado sustancialmente en los últimos 15 años, producto que las principales vías de país, se encuentran, en la actualidad, concesionadas con un alto estándar de operación.

En el cierre del acápite se hace referencia a la importancia de estimar las velocidades por parte del proyectista, considerando que trazados amplios pueden inducir velocidades de desplazamiento superiores a las de proyecto, lo que hace necesario un chequeo tanto en planta como en alzado.

Si bien en este acápite se entregan antecedentes de interés, que vinculan la velocidad de circulación con el nivel de flujo, el efecto del nivel de tránsito sobre la velocidad aparece como de menor importancia al comparar las curvas con niveles de flujo diferentes.

El punto 3.102.8 “Capacidad y Niveles de Servicio” está basado en la teoría de Capacidad de Carreteras desarrollada por el Transportation Research Board en 1997, y constituiría una

herramienta para analizar la calidad de servicio que es esperable para un conjunto de vehículos que operan en una carretera de determinadas características.

Según el Manual de Carreteras esta teoría sería aplicable a carreteras con tránsito ininterrumpido, sin interferencias, como semáforos o cruces de prioridad, y con pavimentos en un estado de conservación razonable, lo que descarta caminos en ripio o tierra.

En el acápite 3.102.802 se establece que los tipos de carreteras rurales consideradas son:

- Carreteras o caminos de dos pistas con tránsito bidireccional
- Carreteras de más de dos pistas, sin control de acceso. Puede tratarse de una calzada sin mediana o dos calzadas separadas.
- Carreteras de dos o más pistas para tránsito unidireccional, con control total de acceso y calzadas separadas, lo que correspondería a autopistas, autorrutas y primarios.

En el punto 3.102.804 se define la intensidad máxima de vehículos que pueden pasar por una sección del camino, en condiciones ideales (flujo de tránsito continuo, sólo vehículos livianos, pistas de 3,6 m con bermas de 1,8 m o mayores, libres de obstáculos, distancia de visibilidad a lo largo de todo el sector, y en terrenos planos). La capacidad máxima para un camino bidireccional de dos pistas alcanza a 2.800 Vehículos livianos/hora como flujo total en ambas pistas, en tanto para un camino unidireccional, con al menos dos pistas, para tránsito en el mismo sentido alcanza a 2.200 Vehículos livianos/hora por pista.

En 3.102.805 se señalan los niveles de servicio que define la metodología del TRB, que considera cuatro niveles de operación superior (A, B, C y D), uno a capacidad (nivel E) y en condiciones de flujo forzado (nivel F). Estos niveles se establecen a partir de la relación entre Intensidad de Flujo y Capacidad (I/C) y el porcentaje de tiempo demorado, que corresponde a la proporción del tiempo en que el usuario se ve demorado antes de lograr las maniobras de adelantamiento que desea.

Cabe señalar que si bien se establece mediante el nivel de servicio una vinculación entre nivel de flujo y velocidad media de circulación, desde el punto de vista del diseño normativo se plantea que son los antecedentes presentados son “para ilustrar el concepto de Capacidad y Nivel de Servicio en situaciones particulares”, las que deben ser “considerados sólo como indicadores que permiten ilustrar órdenes de magnitud para las condiciones más corrientes en Chile”. En la tabla 3.103.3 A, la cual se presenta en la Tabla N°47, se establecen las características funcionales de carreteras y caminos, y se incluye el concepto de nivel de servicio por tipo de vía, incluyendo velocidad de operación y volúmenes típicos de tránsito (TMDA).

Tabla N° 47. Características típicas de las carreteras y caminos, según la clasificación funcional.

		CARRETERAS			CAMINOS		
CATEGORIA		AUTOPISTAS	AUTORRUTAS	PRIMARIOS	COLECTORES	LOCAL	DESARROLLO
VELOCIDADES DE PROYECTO (km/h) TIPO DE TERRENO		120 - 100 - 80 LL - O - M	100 - 90 - 80 LL - O - M	100 - 90 - 80 LL - O - M	80 - 70 - 60 LL - O - M	70 - 60 - 50 - 40 LL - O - M	50 - 40 - 30 LL - O - M
PISTAS DE TRANSITO		UNIDIRECCIONALES	UNIDIRECCIONALES	UNIDIRECCIONALES O BIDIRECCIONALES	BIDIRECCIONALES O (UNIDIRECCIONALES)	BIDIRECCIONALES	BIDIRECCIONALES
FUNCION	Servicio al Tránsito de paso	Prioridad absoluta	Prioridad absoluta	Consideración principal	Continuidad de tránsito y acceso a la propiedad de similar importancia	Continuidad de tránsito consideración secundaria	
	Servicio a la propiedad adyacente	Control total	Control total de acceso vehicular	Control parcial de acceso		Consideración primaria	
CONEXIONES	Se conecta con	Autopistas, Autorrutas Primarias (Colectoras)	Autopistas, Autorrutas Primarias, Colectoras	Autopistas, Autorrutas Prim. y Colectoras (Locales)	Todas	(Primarias) Colectoras, Locales Desarrollo	Colectoras Locales Desarrollo
	Tipo de conexión	Enlaces	Enlaces Accesos direccionales	Enlaces Intersecciones (Acc. Directo)	Todas	(Intersección) Acceso Directo	Acceso Directo
CALIDAD SERVICIO	Nivel de Servicio (1)	A, B C	B (2) C, (D)	B C, (D)	C (2) (D)	No Aplicable	
	Tipo de Flujo	Libre Estable	Libre (Prox. Inestab.) Estable	(Libre) Estable (Prox. Inestab.)	Estable con restricción (Prox. Inestable)	Restringido por movimientos hacia y desde la propiedad	
	Veloc. Operación (1) (3) Según demanda rango probable	115 - 85 km/h	95 - 90 km/h	90 - 85 km/h	80 - 70 km/h	70 - 60 km/h	50 - 25 km/h
TRANSITO	Volumenes Típicos de tránsito al año inicial TMDA	UD = 10.000 confirmar fact. económica	UD = 8.000	80 = 3000 UD = 8000	80 = 300 UD: Caso especial	Tránsito y composición variable según tipo de actividad: Agrícola, Minera, Turística	
	Tipo de vehículo	800 veh/c. diseñados para circular normalmente en carreteras	Vehículos motorizados y autorizaciones especiales	Vehículos motorizados y autorizaciones especiales	Todo tipo de vehículos	Vehículo liviano y camiones medianos	

Letras o conceptos entre paréntesis indican situaciones límites en condiciones poco frecuentes.

(1) Considera: Trazado Llano y Ondulado; Trazado Montañoso constituye caso particular (Vop = Velocidad Operación usuario medio = V 50%) (Definición LL - O - M Ver 3.103.201)

(2) Las Velocidades de Proyecto limitan la posibilidad de niveles mejores aún con baja demanda.

(3) EL RANGO DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN SE DA A TITULO INDICATIVO PARA FLUJOS LIBRE - ESTABLE.

LOS VALORES DEFINITIVOS DEBERAN ESTABLECERSE SEGÚN LO SEÑALADO EN EL TOMO II DEL VOLUMEN N° 1.

BD : Tránsito Bidireccional, total ambos sentidos.

UD: Tránsito Unidireccional, total ambos sentidos.

Fuente: Manual de Carreteras, Volumen 2.

La Tabla N°47 reproduce en el acápite 2.101.4 del Volumen 2, donde se reiteran además algunos de los conceptos mencionados previamente en relación a la clasificación funcional de una vía y el estándar requerido.

13. ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA RELACIÓN FLUJO – VELOCIDAD DE LA PLANILLA CRITAM.

13.1. Antecedentes

La planilla CRITAM fue desarrollada por la empresa Len y Asociados Ingenieros Consultores Ltda., en el contexto de una consultoría solicitada en el año 1994 por el Departamento de Planes y Programas de la Dirección de Vialidad.

El objeto del estudio consistió en proveer una herramienta de evaluación de inversiones para aumento de capacidad vial interurbana, en sectores en donde el tránsito presenta condiciones que distan de encontrarse en flujo libre. Así, la herramienta provee los indicadores socioeconómicos que permiten apoyar la decisión de invertir o no en ampliaciones de capacidad a nivel de perfil.

Lo anterior porque la herramienta utiliza datos de entrada con características agregadas y, en las relaciones flujo-velocidad, en las funciones de consumo de combustible, y en los costos de operación, utiliza funciones de tipo estándar; siendo lo ideal, para una etapa de preinversión, contar con funciones ad hoc al caso de estudio.

En relación a los tipos de aumentos de capacidad, la herramienta CRITAM considera el análisis de aumentos de capacidad a dobles calzadas totales o parciales, por tanto, no alcanza a cubrir los aumentos a terceras pistas en calzadas simples ni dobles.

13.2. Metodología

Los proyectos de ampliación considerados en CRITAM corresponden a los siguientes casos:

- Ampliación a Doble Calzada (DC) en toda su extensión
- Ampliaciones parciales a doble calzada, subdividida en los siguientes casos:
 - o E3: ampliación a DC en sectores extremos del arco, en una Longitud (L) = 30% de la Longitud total (Lt) del arco, es decir, 15% en cada extremo.
 - o E5: ampliación a DC en los sectores extremos del arco, en L=50% de la Lt del arco, ie., 25% en cada extremo.
 - o C3: ampliación a DC en el sector central del arco, en L=30% de la Lt del arco.
 - o C5: ampliación a DC en el sector central del arco, en L=50% de la Lt del arco.¹¹

Además, se recomienda que, en el caso de ampliación a DC parciales, se estudie el perfil de velocidades a lo largo de la extensión del tramo, a objeto de conocer el comportamiento de esta variable en las siguientes situaciones:

- Relación entre las velocidades, sin y con proyecto.
- Análisis de las velocidades de tramos posteriores a la ampliación, con el fin de observar la disipación del efecto congestión que entrega cada tipo de solución.

¹¹ La estimación del consumo de tiempo de viaje asociado a cada una de las situaciones señaladas se obtiene de la modelación de cada esquema en el modelo TRARR.

13.3. Tipos de geometría considerados

En cuanto a las características geométricas que utiliza CRITAM son las presentadas en la Tabla N°48.

Tabla N°48. Características Geométricas de CRITAM

Geometría	Pendiente (%)	Curvatura (°/Km)
Plana 1	1	50
Ondulada 1	3	62
Montañosa 1	4	62

Fuente: Len y Asociados Consultores Ltda. (1994)

Las categorías de vehículos consideradas son:

- Vehículos livianos (agrupación de automóviles y camionetas).
- Camiones de 2 Ejes y Buses; supone 70% interurbanos y 30% de rurales.

El tránsito se ingresa como TMDA por categoría de vehículo. El modelo estimará el TMDA al año anterior al de la puesta en servicio, de acuerdo a tasas de crecimiento establecidas.

Las tasas de crecimiento pueden ingresarse directamente, no obstante ello el modelo propone tasas estándar por categoría de vehículo.

Las funciones flujo velocidad del modelo CRITAM operan con vehículos equivalentes. Los factores son los presentados en la Tabla N°49. Estos factores son fijos porque las relaciones flujo velocidad se han calculado en base a ellos.

Tabla N° 49. Factores de Equivalencia Modelo CRITAM

Camino	Camiones 2 Ejes	Camiones +2 Ejes	Buses
Plano	2,5	3,0	2,0
Ondulado	3,0	3,0	2,0
Montañoso	3,5	3,5	2,5

Fuente: Len y Asociados Consultores Ltda. (1994)

El modelo fue construido para obtener consumos y costos para 3 periodos horarios de análisis, los que pretenden representar diferentes condiciones. Los periodos son:

- Período 1 (P1): período punta.
- Período 2 (P2): período de horas medidas del día (típico entre 7:00 y 19:00).
- Período 1 (P3): período bajo (nocturno).

El modelo contiene valores por defecto para cada uno de los 3 periodos. Todos ellos pueden reemplazarse cuando se cuenta con información de mejor calidad. Los valores se han construido a partir de las siguientes consideraciones:

- Extensión de la periodización:
 - P1: 2% (175 horas al año)
 - P2: 35% (3066 horas al año)
 - P3: 63% (5519 horas al año)
- Relación TMDA y flujo horario por período:
 - P1 = 0,12 (consistente con HDM, puesto que concentra el TMDA en 2,9 horas)
 - P2 = 0,064 (considera 12 horas equivalentes al 30% inferior del tránsito diarios T24)
 - P3 = valor a definir de manera de asegurar consistencia entre el flujo ingresado en TMDA y el resultante de la periodización.

Así se tiene lo señalado en la Ecuación 22.

Ecuación 22

$$P = \frac{[365 - \sum[(\text{Horas Período } i \text{ al año}) * (\text{Relación TMDA} - \text{Flujo horario período } i)]]}{\text{Horas período } 3}$$

Por defecto se tiene que $P3 = 0,027$ ($= [365 - 175 * 0,12 - 3.066 * 0,064] / 5.519$)

- Relaciones velocidad – flujo (v-q)
 - Lineal: $\text{vel } i = A + B * \text{veq}$
 - Exponencial: $\text{vel } i = A * \exp(B * \text{veq})$

Donde:

Vel i : velocidad de la categoría vehicular i, en (Km/h),

Ve_q : vehículos equivalentes del período, en (veq/h),

A, B : parámetros a calibrar

Los resultados de las regresiones son favorables a la expresión lineal por su simplicidad y ajuste R² similar al exponencial.

- Funciones de consumo de combustible

Las funciones de consumo de combustible usadas, son las del modelo COPER, recibiendo la velocidad de la relación v-q. Estas no discriminan según pendiente de subida y bajada, la función de consumo del HDM3 es la presentada en la Ecuación 23.

Ecuación 23

$$CC = 500 * \alpha * (UFC_u + UFC_d) / V$$

Donde,

CC : Consumo de combustible, en (1.000 l/Km)

α : Factor de calibración

- UFCu : Consumo de combustible por unidad de tiempo para tramos con pendientes positiva en (mlt/s)
- UFCd : Consumo de combustible por unidad de tiempo para tramos con pendientes negativa en (mlt/s)
- V : Velocidad de la relación v-q, en (m/s)
- UFCo : Consumo en función de la velocidad del motor
- HP : Potencia del motor en (HP)
- Ai : Parámetros de los modelos de predicción mecánicos
- NHo : Potencia límite en bajada
- CRPM : Velocidad del motor en (rpm)
- CR : Coeficiente de roce
- α y β : Parámetros de cada categoría de vehículos

Ecuación 24

$$UFC_u = (UFC_o + A3 * HP_u + A4 * HP_u * CRPM + A5 * HP_u^2) * 10^{-5}$$

$$UFC_d = \begin{cases} (UFC_o + A3HP_d + A4 * HP_d * CRPM + A5 * HP_d^2) * 10^5, & HP_d \geq 0 \\ (UFC_o + A6 * HP_d + A7 * HP_d^2) * 10^5, & NH_o \leq HP_d < 0 \\ (UFC_o + A6 * NH_o + A7 * NH_o^2) * 10^5, & HP_d < NH_o \end{cases}$$

$$UFC_u = A0 + A1 * CRPM + A2 * CRPM^2$$

$$HP_u = [(1.000 * CR + sub) * GVW * g * v + 0,5 * RHO * CD * AR * V^3] / 736$$

$$HP_d = [(1.000 * CR + baj) * GVW * g * v + 0,5 * RHO * CD * AR * V^3] / 736$$

$$CR = \alpha + \beta * Q * I$$

- Costos de operación: Para los ítems de neumáticos, repuestos, mano de obra en mantención, lubricantes y depreciación, se considera el uso de las funciones de costos de operación de HDM-3. La situación sin proyecto considera costos de rugosidad de IRI = 4,0, en tanto que la situación con proyecto considera IRI = 2,7. Los costos de ambas situaciones se obtienen de corridas de HDM-3, con valores de rugosidad de estudios de proyectos de ampliación de Ruta 5 Sur.

Ecuación 25

Sin proyecto : $Csp * Q$

Con proyecto : $Csp^{1/2} * Q^{1/2} + Csp^{1/2} * Q^{1/2} + Csp^{1/2} * Q^{1/2} + Ccp^{1/2} * Q^{1/2}$

Donde,

- Csp : Costos de operación unitarios sin proyecto
Ccp : Costos de operación unitarios con proyecto
Q : Tránsito total circulante, en vehículos por unidad de tiempo
I1 : Proporción de la longitud total objeto de ampliación
I2 : Proporción de la longitud total que no es objeto de ampliación

Por lo tanto, $I1 + I2 = 1$.

13.4. Diagnóstico de la planilla CRITAM

- Se trata de una planilla que opera correctamente, no tiene problemas de operación ni arroja resultados incoherentes.
- Su aplicabilidad es a nivel de perfil y debe seguir en ese ámbito dada su gran cantidad de supuestos.
- En general los supuestos que utiliza son sensatos y equilibrados, cumpliendo las condiciones de equidad para que los evaluadores puedan obtener las orientaciones que requieren a nivel de perfil.
- Las funciones que utiliza provienen de HDM-3 en la mayoría de los casos, lo cual lo hace compatible con una serie de metodologías de evaluación que realiza el MOP.
- Hay parámetros de costos que están totalmente obsoletos, como por ejemplo el valor del vehículo nuevo. No obstante, ello no debe preocupar porque estos valores pueden ingresarse en la planilla, lo mismo con los precios sociales.
- Los aumentos de capacidad, por lo general, conllevan a mayores velocidades y éstos, a la vez, generan mayores consumos de combustible. Al revisar estos resultados con algunos ejemplos de prueba, no queda claro que este aspecto esté bien estimado, probablemente se requiera revisar las performance de los vehículo actuales, puesto que CRITAM fue

desarrollado en base a tecnologías que hoy se utilizan muy poco (sistemas de alimentación monopunto, es uno de los sistemas que se encuentran totalmente obsoletos).

- En relación a las curvas flujo – velocidad que utiliza, éstas carecen de calibración, puesto que son el resultado de múltiples corridas de TRARR, por lo cual, podría mejorarse la calidad del modelo si se calibran los parámetros que se encuentran pendientes. En este estudio se presentan curvas calibradas con AINSUM, lo que es un avance que aporta un segundo mejor si es que se quiere mejorar el funcionamiento de las relaciones v-q de CRITAM.
- CRITAM no contempla el análisis de ampliaciones a terceras pistas, tanto para calzada simple como calzada doble. Esta situación lo deja con un alto grado de obsolescencia puesto que los actuales niveles de flujo están demandando terceras pistas precisamente en calzada simple y calzada doble, cuestión que irá en aumento con las altas tasas de motorización y de ingreso, que se están dando prácticamente en todo el país.
- A futuro se deben revisar los parámetros de las curvas en los casos en que la pendiente y la curvatura del camino no permiten el adelantamiento, puesto que las curvas flujo – velocidad que utiliza CRITAM son muy generales como para identificar correctamente el problema y los beneficios de este tipo de casos.
- Como todo modelo, CRITAM debe utilizarse cuidadosa y juiciosamente, y con la precaución de no sobrepasar el nivel de perfil para el cual fue desarrollado.
- Hoy en día las herramientas de microsimulación permiten capturar de forma rigurosa el funcionamiento de los flujos en diversas situaciones o condiciones. En consecuencia, no debe obviarse su utilización, así como la calibración con datos extraídos de la realidad.

13.5. Propuestas de mejoramiento

Las oportunidades de mejora de CRITAM han quedado descritas en el subcapítulo 13.4, por ello, a continuación, se presentadas las prioridades de mejoramiento, a juicio del consultor.

- Mejorar la cobertura para realizar análisis de ampliación de capacidad de terceras pistas, tanto en calzada simple como doble.
- Calibrar curvas flujo – velocidad en zonas montañosas e internalizarlas en el modelo.
- Revisar las performance de los vehículos que se están utilizando en la actualidad.
- Verificar la pertinencia de incluir una curva tecnológica que internalizar aumentos de eficiencia, velocidad y aceleración de los vehículos, así como los mejoramientos en el guiado que puedan aportar los sistemas inteligentes ITS.

14. IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE INFORMACIÓN UTILIZADAS EN LA CONFECCIÓN DE CURVAS FLUJO - VELOCIDAD.

Para la confección de las curvas de flujo velocidad se dispuso de procedimientos distintos, pero relacionados, para el caso de las curvas urbanas versus las curvas interurbanas.

Lo anterior, debido a la presencia de sistemas de transporte inteligente en las concesiones urbanas que permite disponer de series de datos sobre tránsito y velocidad, en forma permanente y con alto nivel de precisión; a diferencia de las vías interurbanas donde se tiene sólo datos parciales de tránsito, por lo cual la construcción de las curvas requiere complementar las series disponibles con trabajo de campo y microsimulación.

De esta manera, se puede mencionar las siguientes fuentes de información para las curvas urbanas e interurbanas.

14.1. Curvas Flujo – Velocidad en Vialidad Urbana

Para este caso, la principal fuente de información se encuentra en los sistemas de transporte inteligente, presentes en las autopistas urbanas. Producto de los contratos vigentes de concesión se generan series de datos de velocidad y de tráfico en planillas de cálculo, para ambos sentidos, en los pódicos y espiras de las respectivas concesiones.

Además del valor que generan estas series en sí mismas, por la cantidad de información que generan; éstas van registrando los datos en periodos breves de tiempo, específicamente cada 15 minutos, lo cual permite disponer de una gran cantidad de registros para elaborar las curvas de flujo – velocidad.

En el DVD anexo a este informe se incluyen los registros de las series de flujo–velocidad para las Concesiones Urbanas, aportadas por la Coordinación de Concesiones a este estudio.

Estos datos se contrastan con las características de diseño de las vías, de manera de poder derivar en forma simple las curvas vigentes para distintas condiciones urbanas. En particular para este estudio, y es la recomendación para siguientes, se usaron los datos de la Concesión Costanera Norte ya que es la vía que presentaba un mayor número de características específicas, con mayor presencia de congestión y de esta manera, es la mejor fuente de información para la derivación de las curvas, al disponer datos de distintos puntos de la serie.

14.2. Curvas Flujo – Velocidad en Vialidad Interurbana

En este caso, a diferencia de la Vialidad Urbana, no se dispone de información generada por sistemas de transporte inteligente. Por lo anterior, se hace necesario construir una base de información para la generación de las curvas flujo – velocidad.

En particular, las fuentes de información utilizadas en este estudio y que pueden ser replicadas para procesos de actualización de éstas, son las siguientes:

- Reporte de pasadas de vehículos por día, hora, pista y clasificación, generado por los Censos de Tránsito de la Dirección de Vialidad en los puntos de control, aportados por la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas.
- Registro de tráfico en las plazas de peaje de Concesiones Interurbanas, aportado por la Coordinación de Concesiones del Ministerio de Obras Públicas.
- Mediciones de tráfico específicas, realizadas para un tramo de interés, para análisis y construcción de curva flujo-velocidad.
- Captura de datos en terreno, a través del método del vehículo flotante, en vías de interés para realizar distintas tipologías de curvas. En particular en este estudio se seleccionaron, y son recomendadas para futuras actualizaciones, el sector de la cuesta La Dormida, la Ruta 5 Norte y el sector del Túnel El Melón.
- Georreferenciación de los tramos de vías a capturar registros de flujo y velocidad, para identificar con precisión las características de éstas, y de esa manera construir curvas para las distintas tipologías de vías, incluyendo presencia de zonas de adelantamiento, fricción lateral, curvaturas y pendientes.
- Microsimulación para calibrar escenarios, a partir de los datos capturados en terreno y los registros de Vialidad y Concesiones; y de esta manera disponer de una serie completa de datos en distintos escenarios, para construir una curva flujo – velocidad representativa.

En el DVD anexo a este informe se incluye el registro de estos datos, para el presente estudio.

15. PROPUESTA METODOLÓGICA Y DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA ÓPTIMA DE ACTUALIZACIÓN DE LOS PARAMETROS.

Para que las curvas predigan adecuadamente la velocidad media, se requiere la actualización periódica de ciertos parámetros, tanto en los modelos BPR como lineales.

Si bien en la literatura no se encontraron reportes que indicaban el momento óptimo de actualización, es claro que ésta se debiera realizar cada cierto período de tiempo. En efecto, dado que la tecnología vehicular se va modificando con el tiempo y dado que el comportamiento de las personas tampoco es estático, es adecuado pensar que se debieran registrar cambios en los parámetros de las curvas en el tiempo, específicamente en el largo plazo.

En la práctica, un intervalo de actualización de 5 ó 10 años debiera ser un rango prudente para este tipo de relaciones. Dado que no se dispone de antecedentes concretos, la sugerencia del consultor es considerar un período de 5 años.

En relación con la metodología de actualización, se sugiere considerar lo siguiente:

- Para autopistas urbanas se sugiere continuar recopilando la información actual, lo que en rigor representa una valiosa fuente de información. A partir de ello es posible estimar los parámetros de cualquier modelo (BPR o lineal).
- Para el caso de autopistas interurbanas, y considerando que no se dispone de gran cantidad de información, se recomienda utilizar microsimulación. Para ello es necesario realizar previamente mediciones (flujo y velocidad), con el propósito de calibrar adecuadamente el microsimulador.

De esta manera, se debiera mantener como herramienta de uso permanente los gráficos de curvas flujo-velocidad presentadas en el subcapítulo 11.2.6, ya que corresponden a una herramienta simple y de fácil comprensión para toma de decisiones respecto a ampliación de vías o mejoramientos para mantención de niveles de servicio. Tal como se ha indicado, en el sistema brasileño esta metodología es usada en forma recurrente y ha significado una eficaz manera de resolver los momentos para realizar ampliaciones, de común acuerdo y entendimiento para todos los actores involucrados en la decisión.

16. ASPECTOS RELEVANTES CONSIDERADOS DE UTILIDAD EN LA ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS.

En relación a la formulación, la primera perspectiva surge del tratamiento regular que se le da a los proyectos, encontrándose lo siguiente:

- Vialidad interurbana
 - Desarrollo de un perfil que postula directamente a diseño y luego a ejecución.
 - Desarrollo de un perfil que – pocas veces – postula a prefactibilidad, luego a diseño, y finalmente a ejecución.
- Vialidad urbana
 - Desarrollo de un perfil que postula a prefactibilidad, luego a diseño, y finalmente a ejecución.

Estos casos exponen el problema de no considerar los aspectos relacionados con el flujo y la velocidad que se encuentran en los proyectos de vialidad interurbana. Así, la decisión de incorporarlos, o de desarrollar un estudio de prefactibilidad, queda a definición del Departamento de Inversiones del MDS¹², quien, sin antecedentes concretos proporcionados por el ente postulante, no tiene otra opción más que decidir en forma discrecional.

¹² Ministerio de Desarrollo Social

Para evitar que se produzca el conflicto anterior, bastaría con que el postulante incluya en el perfil de proyecto un análisis que permita identificar la necesidad de desarrollar análisis de velocidad y accidentes. Los parámetros recomendados podrían ser los siguientes:

- Porcentaje esperado de vehículos lentos superior al 10%, es decir, que circulan a menos de la mitad de la velocidad media.
- Porcentaje de vehículos muy veloces superior al 10%, es decir, que circulan a un 30% más de la velocidad media.
- Porcentaje de camiones superior al 10% del TMDA.
- Paso por zonas pobladas de más de 10.000 habitantes.
- Geometría del camino ondulado.

Cada uno de estos parámetros de chequeo permite identificar la necesidad de realizar estudios de preinversión y así se evitan decisiones discrecionales.

En relación a los estudios de prefactibilidad de redes o vías interurbanas, cabe señalar que estos no siempre exigen la realización de estudios de velocidad, por lo que se puede inferir que los consultores realizan análisis de asimilación de las características físicas y operacionales, tal como lo recomienda el Manual de Carreteras. Sin embargo, resulta pertinente revisar esta medida con mayor frecuencia, dada la rapidez con que se están produciendo cambios en la tasa de motorización, el aumento sostenido de los volúmenes vehiculares, longevidad de los conductores cada vez mayor, aumento del número de controles, el mejoramiento de la tecnología de seguridad vial y de los vehículos, etc.

Por otra parte, respecto de la evaluación, no se encuentran recomendaciones claras sobre la utilización de curvas flujo velocidad, de hecho la Metodología para la Valorización de Beneficios de Obras Anexas en Proyectos de Vialidad Urbana (MDS, 2011; p.27-p31) propone la utilización de curvas flujo velocidad diferentes a la Trizonal propuesta en el Manual de Carreteras, Volumen 1 Tomo II, denominado “Evaluación de Proyector Viales Interurbanos” (MOP, 1997) y, desde luego, no es que las obras anexas requieran otro tratamiento, sino que simplemente se buscó una formulación más actualizada.

Uno de los aspectos más interesantes del estudio de la experiencia internacional, en particular la brasileña, corresponde al “gatillo” para aumentos de capacidad (pistas), siendo el límite superior del Nivel de Servicio “D” el que provoca la intervención de las vías con ampliación del número de pistas. Este aspecto podría chequearse en Chile a fin de verificar si las condiciones requeridas de flujo, velocidad (por demora) y costos de inversión, permiten obtener la rentabilidad social mínima en todas sus combinaciones, de modo de evitar la evaluación completa, por lo menos a nivel de Perfil. En este contexto, las etapas de proyecto incluirían la etapa de preinversión sólo en los casos que corresponda.

Es más, incluso se podría evaluar toda la red nacional e identificar las vías o tramos de éstas que tienen alta probabilidad de gatillar una ampliación de capacidad.

Otro aspecto relevante respecto de la evaluación de proyectos, se encuentra en los mecanismos de estimación e internalización de impactos, por ejemplo:

- El “ramp-up” que se produce cuando se mejoran las condiciones de transitabilidad de una ruta, es decir, el aumento en la generación de viajes por una única vez y sólo en el primer año de operación, sin considerar crecimientos futuros por este factor; quizás sí en forma vegetativa.
- La eliminación de tiempos perdidos, especialmente cuando se aumenta de 2 a 4 pistas, puesto que desaparecen los adelantamientos a vehículos lentos al ser reemplazados por simples rebasamientos. Estos procesos no siempre quedan correctamente cuantificados con curvas flujo velocidad, por tanto, se recomienda considerar microsimulación, así se pueden modelar todas las combinaciones posibles.
- Respecto a la seguridad, se deben realizar evaluaciones ex post, de modo de verificar si el aumento de la velocidad generó aumentos en la siniestralidad del camino. Como se mencionó en el capítulo 9, no existe experiencia internacional comprobada que demuestre claramente el sentido o signo que pueden tener las medidas en aumento de capacidad en la seguridad vial, por tanto, no queda una mejor opción que recabar experiencia a través de evaluaciones ex post.
- En casos de caminos ondulados, se podrían verificar posibles correlaciones entre velocidad y precio de los combustibles, a fin de anticipar los efectos del mejoramiento sobre la siniestralidad del camino. Un ejemplo de eso lo constituye la Ruta D-85 que conecta Ruta 5 con la ciudad de Illapel y en su trayecto atraviesa un cordón montañoso. Aquí los intentos de adelantamiento son masivos por la presencia de un número importante de vehículos lentos, principalmente camiones.

17. ANÁLISIS CRÍTICO SOBRE LA FORMULACIÓN Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS.

17.1. Análisis relacionado a las curvas Flujo - Velocidad.

En virtud de la experiencia internacional revisada para este estudio, incluyendo las reuniones con el Ministerio de Transportes y el Departamento de Concesiones de Brasil, en la visita técnica a Brasilia; la revisión bibliográfica y los resultados del proceso de construcción de las curvas flujo – velocidad, es posible realizar algunas recomendaciones sobre la metodología vigente de evaluación de proyectos de vialidad urbana e interurbana respecto a la construcción de curvas flujo – velocidad.

En primer lugar, un hecho fundamental es la propuesta de simplificar la presentación de las curvas flujo - velocidad para el uso de evaluaciones. Respecto a esto, el modelo brasileño, construido sobre la base del Highway Capacity Manual (HCM) del 2000 y 2010, representa un buen ejemplo de una presentación con respaldo técnico, pero de fácil comprensión. Este modelo es el que se ha buscado replicar en este estudio, donde se presenta un gráfico de curvas para distintos niveles de servicio, lo que permite, interpolando entre puntos, exponer valores y parámetros sobre flujo – velocidad y nivel de servicio, transversalmente entendidos por los actores participantes.

En la visita técnica del equipo consultor a Brasilia, se pudo observar que estas curvas son utilizadas por todos los actores relevantes en la definición de ampliación de vías, lo que fue expresado de esa manera en las reuniones con el Director de Concesiones del Ministerio de Transportes de Brasil Sr. Dino Antunes Batista; y la Superintendente de Exploración de Rodovías (Obras Viales) de la Agencia Nacional de Transporte Terrestre de Brasil, Srta. Vivianne Esse.

La ventaja de usar una metodología de estas características es que permite establecer claramente cuando se alcanza un nivel de tránsito que justifica un mejoramiento de la infraestructura vial, y cuál será el efecto de dicho cambio; lo cual permite tomar decisiones al respecto que son entendidas por todas las partes. En particular, en el caso de Brasil, cuando se alcanza este nivel en un proyecto concesionado, inmediatamente se “gatilla” la acción para que al año siguiente se realice la construcción de la nueva pista en las vías concesionadas, lo cual queda explícitamente incorporado en los contratos.

En el Anexo 5 de este informe es posible revisar el acta de las reuniones realizadas con las autoridades brasileñas respecto a las curvas flujo – velocidad.

17.2. Análisis relacionado a la Metodología de Evaluación de Accidentes.

Existen dos metodologías vigentes para la evaluación de accidentes: MOSAC y Manual de Carreteras.

17.2.1. Evaluación de Beneficio Social asociado a Accidentes del MOSAC.

La metodología que ocupa el MOSAC incluye parámetros tanto históricos como proyectados. Como primer lugar es necesario mencionar todos los parámetros que tienen relevancia con el cálculo de beneficio.

Parámetros:

1. Número de Arcos: La cantidad de arcos que se involucran en todo el proyecto (tanto el que se construirá o mejorará como los que serán de desvíos mientras se implementan los cambios) cambian la probabilidad futura de que ocurra algún tipo de accidente.
2. Zona: Depende de la zona donde se realice el proyecto, los costos sociales por accidentes son diferentes según si la zona es Norte, Centro o Sur. Por lo tanto es necesario especificar la zona para obtener un correcto cálculo.
3. Longitud: Sirve para calcular las tasas históricas de accidentes. También sirve para saber el área de influencia afectada por el proyecto y la influencia que éste tendrá.
4. Categoría: La categoría pre proyecto y post proyecto afecta a los costos sociales, ya que, éstos son distintos si estamos frente a un proyecto de camino nuevo o ampliación de vía, etc.
5. Año de Inversión: Para calcular el VAN desde el año que corresponda.
6. Horizonte de Evaluación: Para calcular el periodo en que se ve afectado el proyecto.
7. Tasa Social de Descuento: Para el cálculo del VAN.
8. Valor de UF: Debido que en cada año va cambiando, es necesario conocer el valor a ocupar y el año del cual se sacó dicho valor.

9. TMDA: Para calcular la cantidad de accidentes esperados, se necesita también la tasa de crecimiento de éstas y se divide en cinco categorías: V. Liviano, Camión, Camión de 2 ejes, Camión de 2 o más ejes y buses.
10. Datos de Accidentes: Para las mismas categorías anteriores se necesitan los datos de accidentes históricos y el periodo exacto de estos para realizar las estimaciones necesarias para la cantidad de accidentes esperados.
11. Costos sociales: Este es un dato dado, el cual indica en UF cuánto cuesta a la sociedad un accidente según la gravedad de este (atropello, choque, colisión y volcadura)

Con todos los parámetros ya establecidos, se realiza una proyección para los años de duración del proyecto, que mezcla el TMDA esperado por las tasas de crecimiento junto con una probabilidad de accidentes obtenido por el registro histórico de estos para obtener una cantidad de accidente esperado para cada tipo de accidente.

Ya con las cantidades de accidentes esperados, se multiplican por el factor de costos sociales que dependerán del tipo de camino del proyecto, del tipo de accidente y de la zona en la que se encuentre el proyecto para calcular los costos asociados por los accidentes en los años del proyecto. Finalmente se suma el costo de todos los accidentes por año. Este procedimiento se realiza tanto para la situación sin proyecto y situación con proyecto.

Ya con los costos sociales por año y para la situación con y sin proyecto se realiza la resta entre ambas situaciones y se obtiene un diferencial de costos, el cual es el ahorro que se tiene por la reducción de accidentes por año, siendo este último el beneficio obtenido para la sociedad. Ya con el diferencial de todos los años del proyecto se calcula el VAN y se estima si el proyecto es conveniente o si se debe cambiar algo o postergar su realización.

17.2.2. Metodología del Manual de Carreteras.

La metodología estima los beneficios sociales asociados a accidentes de manera muy similar a la MOSAC. Primero se ocupan los accidentes esperados y se ponderan por el valor en UF de los tipos de accidentes tanto para situación base como situación con proyecto para realizar la diferencia por años. Cabe destacar que agrega también el daño material como el daño recibido por los ocupantes de los vehículos y que dependiendo de la TRI se decide si los beneficios van asociados a los beneficios directos del proyecto o se calculan como el VAN al igual que la metodología de MOSAC.

17.3. Diagnóstico de las metodologías de evaluación de Accidentes.

En general, las metodologías vigentes apuntan a determinar los beneficios y los costos de los proyectos, por concepto de aumento/disminución de las tasas de accidentabilidad, siendo la fuente de medición, algunas referencias conocidas de la efectividad de las medidas.

Así, parecen no considerarse los efectos de las políticas, normas, esfuerzos en fiscalización y en mejores diseños, lo mismo con la educación vial.

Antiguas referencias, quizás todavía vigentes, hablaban de las 3E como las directrices de la seguridad, es decir, Education, Engineering y Enforcement (Control). Estos 3 ejes hoy aparecen operando en Chile con poca coordinación. Por ejemplo, los controles de velocidad no siempre, o más bien pocas veces, se focalizan en los lugares o en las fechas en donde se conduce con mayor imprudencia. Asimismo, las normativas laborales no siempre están coordinadas con las de tránsito (fundamentalmente conducción).

De este modo, se configura la duda, no fundada por el momento, que existe un costo social asumido. De hecho, todas las metas generales se plantean en función de las estadísticas del año anterior, siendo lo relevante el costo social de los accidentes en términos de daños a las personas y a la propiedad pública¹³ y privada, además de los costos de los servicios de rescate, hospitalización, tratamiento, cirugías, entre otros.

En este contexto, al Ministerio de Obras Públicas (MOP) le cabe la responsabilidad por los diseños viales fundamentalmente, y también, en la prevención debido al cabal conocimiento de las condiciones o falencias de la infraestructura que debe tener.

De este modo, la preocupación, para el caso del MOP, debe estar concentrada en el diseño y en la operación o gestión, en condiciones de circulación críticas, es decir, con grandes volúmenes de tránsito. Así, las cosas, la seguridad vial es una alternativa de solución de problemas de diseño o pueden ser medidas de mitigación para el caso en que las condiciones de operación son crítica.

¹³ Se refiere básicamente al mobiliario urbano y rural.

De los dos casos mencionados, aquel que corresponde tratar en este estudio, es el relacionado con la planificación de las inversiones, es decir, el problema de diseño vial. Este importante elemento es el determinante de las condiciones de seguridad vial que imperarán una vez que las obras se han construido. Luego, sólo pueden mitigarse los problemas con medidas de bajo costo, hasta que finalmente aparece la solución con un nuevo proyecto que se construye sin las restricciones del estándar de diseño original. En consecuencia, más importante que la metodología de evaluación de accidentes, es la consideración de los riesgos en la mecánica de priorización de las inversiones, debiendo tener un lugar importante y urgente, las obras que presentan índices de accidentabilidad preocupantes, los que siempre tienen grados de correlación altos con los problemas de diseño.

Después pueden analizarse los casos complejos, es decir, aquellos que requieren obras mayores para resolver los problemas, por ejemplo un puente, un túnel o sistema de cruce en Ferry.

18. BIBLIOGRAFÍA.

Anderkani, S., Ghandehari, M., Nepal, S. (2011). Macroscopic Speed – Flow Models for Characterization of Freeway and Managed Lanes. Buletinul Institutului Politehnic Din Iasi.

Banks, J. H. (1989). Freeway speed flow concentration relationships: More recent evidence and interpretations. Transportation Res. Record 1225, pp. 53-60.

Banks, J. H. (1991a). Two-capacity phenomenon at freeway bottlenecks: A basis for ramp metering? Transportation Res. Record 1320, pp. 83-90.

Banks, J. H. (1991b). The two-capacity phenomenon: Some theoretical issues. Transportation Res. Record 1320, pp. 234-241.

CITRA (2001). Estudio de Ingeniería de Tránsito Ruta 60 CH.

Daganzo, C.F. (1975). Probabilistic structure of two-lane road traffic. Transportation Research Part B 9 (4), pp. 339–343.

Duncan, N. C. (1976). A note on speed/flow/concentration relations. Traffic Engrg. Control 17, pp. 34-35.

Duncan, N. C. (1979). A further look at speed/flow/concentration. Traffic Engrg. Control 20, pp. 482-483.

Duncan, N. C, Christie, A. W., Marlow, M. (1980). Traffic speed in towns: Further analysis of the urban congestion surveys. Traffic Engrg. Control 21, pp. 576-579.

Greenshields, B. D. (1935). A study of traffic capacity. Highw. Res.Board, Proc. Annu. Meet., 14, pp. 448–477.

Greenberg, H. (1959). An analysis of traffic flow. Oper. Res., 7, pp. 78–85.

Hall, F.L., Hurdle, V.F., Banks, J.H. (1992). Synthesis of recent work on the nature of speed-flow and flow-occupancy (or density) relationships on freeways. Transportation Research Record 1365, TRB, National Research Council, Washington, DC, pp. 12–18.

Hall, F. (2002). Traffic Stream Characteristics. Traffic Flow Theory: A State-of-the-Art Report, Washington, DC: US Department of Transportation, Turner – Fairbank Highway Research Center, Chapter 2.

Highway capacity manual (HCM). (2000). Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 13-1–13-5.

Laval, J. (2006). A Macroscopic Theory of Two – Lane Rural Roads. Transportation Research Part B 40, pp. 937 – 944.

Laval, J.A., Daganzo, C.F.(2006). Lane-changing in traffic streams. Transportation Research Part B 40 (3), pp. 251–264.

LEN (1998). Estudio de ingeniería de tránsito para la concesión de la Red Vial Litoral Central.

Ministerio de Obras, Dirección de Vialidad, Subdirección de Desarrollo, Departamento de Planes y Programas (1994). Modelo de Evaluaciones Simplificadas de Ampliación en Vías Interurbanas CRITAM 2.0.

Li, M. (2008). A Generic Characterization of Equilibrium Speed – Flow Curves. Transportation Science, Vol. 42, N°2, pp. 220 – 235.

Li, Y., Lu, H., Bian, C. (2009). Traffic Speed – Flow Model for the Mix Traffic Flow on Beijing Urban Expressway. International Conference on Mesuring Technology and Mechatronics Automation.

Newell, G. F. (1955). Mathematical models of freely flowing highway traffic. Oper. Res. 3, pp. 176-186.

Newell, G.F. (1998). A moving bottleneck. Transportation Research Part B 32 (8), pp. 531–537.

Nielsen, R. M., y Jorgensen, R. M. (2008). Estimation of Speed – Flow and Flow – Density Relations on the Motorway Network in the Greater Copenhagen Region. IET Intelligent Transport Systems, Vol. 2, pp. 120 – 131.

Persaud, B., Hurdle, V.F. (1988). Some new data that challenge some old ideas about speed-flow relationships. Transportation Research Record 1194, TRB, Washington, DC, pp. 191–198.

Richards, P.I. (1956). Shockwaves on the highway. Operations Research (4), 42–51.

SECTRA (1999). Análisis y desarrollo evaluación sistema de transporte interurbano: IX Etapa. ESTRASUR.

Thomas, J., Srinivasan, K., Arasan, V. (2012). Vehicle Class Wise Speed – Volume Models for Heterogeneous Traffic. Transport. Volume 27(2), pp. 206 -217.

Underwood, R. T. (1961). Speed, volume, and density relationship: Quality and theory of traffic flow, Yale Bureau of Highway Traffic, pp. 141–188.

Weng, J. y Meng, Q. (2011). Modeling Speed – Flow Relationship and Merging Behaviour in Work Zone Merging Areas. Transportation Research Part C, pp. 985 – 996.

19. ANEXOS.

19.1. Anexo 1: Resultados y Singularidades en Recorridos de Reconocimiento

Tabla N° 50. Resultados Recorrido Tramo 1

Ruta	Sentido	Vehículo Seguido	Hora Término	Tipo de Pista	Tiempo	Distancia (m)	Velocidad Promedio (km/h)
R5	AB	Bus	1849	Doble Calzada	18:29:40		
				Doble Calzada	18:49:15	25781,5	78,0
R5	AB	Camión Pesado	1758	Doble Calzada	17:39:54		
				Doble Calzada	17:58:31	25539,8	80,7
R5	AB	Camión Simple	1702	Doble Calzada	17:00:29		
				Doble Calzada	17:02:03	2094,7	79,4
R5	AB	Reconocimiento	1421	Doble Calzada	14:05:47		
				Inicio Fricción Lateral	14:06:59	1713,4	90,1
				Fin Fricción Lateral	14:07:08	272,3	108,9
				Inicio Fricción Lateral	14:13:59	9155,8	102,3
				Fin Fricción Lateral	14:14:22	492,1	78,5
				Inicio Fricción Lateral	14:15:45	1868,8	91,1
				Fin Fricción Lateral	14:15:49	73,5	88,2
				Inicio Fricción Lateral	14:16:11	589,8	96,5
				Fin Fricción Lateral	14:16:18	162,9	89,8
				Inicio Fricción Lateral	14:16:51	859,2	101,4
				Fin Fricción Lateral	14:16:59	226,9	102,1
				Fin Fricción Lateral	14:18:29	2238,4	95,9
				Inicio Fricción Lateral	14:19:03	927,0	104,1
				Fin Fricción Lateral	14:20:00	1480,2	104,0
				Inicio Fricción Lateral	14:20:36	975,7	99,1
				Fin Fricción Lateral	14:20:44	171,6	88,2
R5	AB	Reconocimiento	1502	Doble Calzada	14:20:46	44,3	79,8
				Doble Calzada	14:43:06		
				Inicio Fricción Lateral	14:43:34	512,9	73,4
				Fin Fricción Lateral	14:43:35	28,7	103,4
				Inicio Fricción Lateral	14:44:16	1215,3	108,2
				Fin Fricción Lateral	14:44:26	261,6	104,6
				Fin Fricción Lateral	14:46:36	3374,2	106,3

Ruta	Sentido	Vehículo Seguido	Hora Término	Tipo de Pista	Tiempo	Distancia (m)	Velocidad Promedio (km/h)
				Inicio Fricción Lateral	14:49:42	4524,6	109,0
				Fin Fricción Lateral	14:49:47	115,8	90,8
				Inicio Fricción Lateral	14:52:50	4477,7	96,5
				Fin Fricción Lateral	14:52:56	173,7	104,2
				Inicio Fricción Lateral	14:53:11	421,0	104,4
				Fin Fricción Lateral	14:53:22	298,7	107,6
				Inicio Fricción Lateral	14:53:47	741,7	108,9
				Fin Fricción Lateral	14:54:00	318,2	109,2
				Inicio Fricción Lateral	14:55:11	2181,5	113,8
				Fin Fricción Lateral	14:55:24	323,5	110,8
				Inicio Fricción Lateral	14:55:46	665,3	119,9
				Fin Fricción Lateral	14:56:38	1609,4	117,1
				Doble Calzada	14:57:31	1129,4	87,6
R5	AB	Vehículo Liviano	1643	Doble Calzada	16:28:03		
				Doble Calzada	16:42:59	21608,8	97,2
R5	AB	Vehículo Liviano	1927	Doble Calzada	19:13:13		
				Doble Calzada	19:26:38	19166,0	100,1
R5	AB	Vehículo Liviano	1935	Doble Calzada	19:35:01		
				Doble Calzada	19:35:12	116,9	38,2
R5	AB	Vehículo Liviano	2017	Doble Calzada	20:01:26		
				Doble Calzada	20:17:09	23472,5	96,2
R5	AB	Vehículo Liviano	1746	Doble Calzada	17:21:16		
				Doble Calzada	17:46:37	4429,2	88,0
R5	AB	Vehículo Liviano	1721	Doble Calzada	17:02:49		
				Doble Calzada	17:20:47	20345,2	75,9
R5	BA	Bus	1912	Doble Calzada	18:54:10		
				Doble Calzada	19:11:51	23462,4	84,9
R5	BA	Camión Pesado	1824	Doble Calzada	18:02:29		
				Doble Calzada	18:24:28	23254,1	66,6
R5	BA	Camión Simple	1735	Doble Calzada	17:21:46		
				Doble Calzada	17:34:25	17749,5	90,3
R5	BA	Camión Simple	1738	Doble Calzada	17:34:45		
				Doble Calzada	17:38:08	5103,8	96,6
R5	BA	Reconocimiento	1441	Inicio Fricción Lateral	14:26:08		
				Fin Fricción Lateral	14:26:12	20,9	25,1
				Inicio Fricción Lateral	14:26:19	94,6	48,7
				Fin Fricción Lateral	14:26:32	251,6	72,1
				Inicio Fricción Lateral	14:27:21	1381,1	107,2
				Fin Fricción Lateral	14:27:28	185,6	110,7
				Inicio Fricción Lateral	14:27:51	719,1	112,6
				Inicio Fricción Lateral	14:28:21	873,0	114,2

Ruta	Sentido	Vehículo Seguido	Hora Término	Tipo de Pista	Tiempo	Distancia (m)	Velocidad Promedio (km/h)
				Fin Fricción Lateral	14:28:30	282,3	112,9
				Inicio Fricción Lateral	14:28:47	528,3	111,9
				Inicio Fricción Lateral	14:30:04	2097,6	104,0
				Fin Fricción Lateral	14:30:16	367,9	110,4
				Inicio Fricción Lateral	14:30:52	909,4	99,2
				Fin Fricción Lateral	14:31:17	547,6	90,5
				Inicio Fricción Lateral	14:34:21	4194,6	86,9
				Fin Fricción Lateral	14:34:27	136,9	82,2
				Inicio Fricción Lateral	14:34:33	159,5	95,7
				Fin Fricción Lateral	14:34:37	112,6	101,4
				Inicio Fricción Lateral	14:37:59	5096,5	98,9
				Fin Fricción Lateral	14:38:04	127,7	92,0
				Inicio Fricción Lateral	14:39:33	2275,9	98,6
				Fin Fricción Lateral	14:40:09	868,3	88,0
				Doble Calzada	14:41:35	2074,6	105,6
R5	BA	Reconocimiento	1517	Doble Calzada	14:58:21		
				Inicio Fricción Lateral	14:58:24	41,0	49,2
				Fin Fricción Lateral	14:58:31	130,0	66,9
				Inicio Fricción Lateral	14:59:35	1516,0	98,3
				Fin Fricción Lateral	15:00:23	1247,5	112,1
				Inicio Fricción Lateral	15:00:35	166,2	107,7
				Inicio Fricción Lateral	15:00:56	453,4	112,5
				Fin Fricción Lateral	15:00:58	61,9	111,3
				Inicio Fricción Lateral	15:02:08	1895,4	109,5
				Inicio Fricción Lateral	15:02:54	1279,1	108,2
				Inicio Fricción Lateral	15:06:15	3791,8	84,4
				Fin Fricción Lateral	15:06:20	115,8	83,4
				Inicio Fricción Lateral	15:09:52	5383,5	99,2
				Fin Fricción Lateral	15:11:43	2763,9	111,7
				Doble Calzada	15:12:59	362,6	96,0
R5	BA	Vehículo Liviano	1658	Doble Calzada	16:44:24		
				Doble Calzada	16:51:16	5126,0	87,4
R5	BA	Vehículo Liviano	2037	Doble Calzada	20:19:23		
				Doble Calzada	20:36:46	23436,2	87,3

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 51. Resultados Recorrido Tramo 2

Ruta	Sentido	Vehículo Seguido	Hora inicio	Tipo de Pista	Tiempo	Distancia (m)	Velocidad Promedio (km/h)
CM	AB	Bus	1844	Calzada Simple	18:40:55		
				Calzada Simple	18:43:45	2412,7	54,6
CM	AB	Bus	1935	Calzada Simple	19:31:57		
				Calzada Simple	19:35:22	4650,4	87,4
CM	AB	Camión Pesado	1534	Calzada Simple	15:16:44		
				Inicio Zona Adelantar	15:21:54	5900,9	74,4
				Fin Zona Adelantar	15:21:58	76,6	68,9
				Inicio Zona Adelantar	15:22:31	554,8	65,7
				Fin Zona Adelantar	15:22:39	141,5	63,8
				Inicio Zona Adelantar	15:28:25	2487,5	26,7
				Fin Zona Adelantar	15:28:32	101,2	52,0
Calzada Simple	15:34:34	5937,9	64,4				
CM	AB	Camión Simple	1327	Calzada Simple	13:09:08		
				Inicio Zona Adelantar	13:20:35	9933,4	56,1
				Fin Zona Adelantar	13:20:49	194,4	51,9
Calzada Simple	13:26:58	5323,9	54,7				
CM	AB	Camión Simple	1904	Calzada Simple	18:52:03		
				Calzada Simple	19:04:22	9167,4	46,8
CM	AB	Reconocimiento	1250	Calzada Simple	12:33:32		
				Inicio Fricción Lateral	12:34:56	30,7	105,5
				Fin Fricción Lateral	12:35:19	429,7	104,4
				Inicio Fricción Lateral	12:35:40	588,9	103,4
				Fin Fricción Lateral	12:35:49	221,4	99,6
				Inicio Fricción Lateral	12:37:50	3214,8	101,1
				Fin Fricción Lateral	12:37:58	208,1	93,7
				Inicio Fricción Lateral	12:48:38	8561,6	51,0
				Fin Fricción Lateral	12:48:46	122,0	54,9
				Inicio Fricción Lateral	12:49:51	1333,9	83,5
Fin Fricción Lateral	12:50:10	459,6	87,1				
Calzada Simple	12:50:34	516,8	82,5				
CM	AB	Vehículo Liviano	1611	Calzada Simple	15:55:37		
				Inicio Zona Adelantar	15:59:54	5244,0	81,0
				Fin Zona Adelantar	16:00:09	282,9	81,3
				Inicio Zona Adelantar	16:00:44	508,1	59,5
				Fin Zona Adelantar	16:00:52	145,4	69,1
Calzada Simple	16:10:47	8549,3	54,5				
CM	AB	Vehículo	1709	Calzada Simple	16:52:47		
				Inicio Zona Adelantar	16:57:14	5474,7	80,4

Ruta	Sentido	Vehículo Seguido	Hora inicio	Tipo de Pista	Tiempo	Distancia (m)	Velocidad Promedio (km/h)
		Liviano		Fin Zona Adelantar	16:57:39	396,7	67,3
				Inicio Zona Adelantar	16:58:29	604,9	45,5
				Fin Zona Adelantar	16:58:40	149,1	52,9
				Calzada Simple	17:09:38	8430,4	47,6
CM	BA	Bus	1633	Calzada Simple	16:29:56		
				Calzada Simple	16:33:16	2251,1	50,9
				Calzada Simple	19:11:32		
CM	BA	Bus	1930	Inicio Zona Adelantar	19:13:40	1303,5	37,5
				Fin Zona Adelantar	19:13:59	167,5	35,4
				Inicio Zona Adelantar	19:16:16	1178,4	31,7
				Fin Zona Adelantar	19:16:36	212,6	39,2
				Calzada Simple	19:29:45	10182,3	49,0
				Calzada Simple	15:36:04		
CM	BA	Camión Pesado	1554	Inicio Zona Adelantar	15:43:12	5391,3	47,7
				Fin Zona Adelantar	15:43:28	176,5	41,1
				Calzada Simple	15:54:07	9809,4	60,5
CM	BA	Camión Simple	1910	Calzada Simple	19:08:58		
				Calzada Simple	19:10:28	1036,4	42,2
				Calzada Simple	12:52:36		
CM	BA	Reconocimiento	1308	Inicio Fricción Lateral	12:54:47	2631,3	79,2
				Fin Fricción Lateral	12:54:56	121,7	58,1
				Inicio Fricción Lateral	13:04:23	7975,8	52,8
				Fin Fricción Lateral	13:04:30	105,9	53,7
				Inicio Fricción Lateral	13:04:39	138,0	55,2
				Fin Fricción Lateral	13:04:49	164,0	68,7
				Inicio Fricción Lateral	13:08:05	4642,2	92,6
				Calzada Simple	13:29:52		
CM	BA	Vehículo Liviano	1344	Inicio Zona Adelantar	13:36:32	5099,2	48,2
				Fin Zona Adelantar	13:36:47	201,2	48,6
				Inicio Zona Adelantar	13:38:16	1140,3	47,8
				Fin Zona Adelantar	13:38:21	86,9	62,5
				Fin Zona Adelantar	13:38:25	68,6	61,7
				Inicio Zona Adelantar	13:41:50	2946,3	54,4
				Fin Zona Adelantar	13:42:11	442,4	81,6
				Calzada Simple	13:44:36	3300,4	90,1
				Calzada Simple	17:21:16		
CM	BA	Vehículo Liviano	1447	Inicio Zona Adelantar	17:27:30	4854,1	48,4
				Fin Zona Adelantar	17:28:01	170,3	20,2
				Inicio Zona Adelantar	17:28:05	24,7	22,2
				Fin Zona Adelantar	17:38:45	3168,8	18,2

Ruta	Sentido	Vehículo Seguido	Hora inicio	Tipo de Pista	Tiempo	Distancia (m)	Velocidad Promedio (km/h)
				Inicio Zona Adelantar	17:38:50	74,3	53,5
				Fin Zona Adelantar	17:40:04	1275,7	65,1
				Inicio Zona Adelantar	17:43:24	5022,4	96,6
				Fin Zona Adelantar	17:44:04	980,3	92,8
				Calzada Simple	17:46:37	3477,4	87,8

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 52. Resultados Recorrido Tramo 3

Ruta	Sentido	Vehículo Seguido	Hora inicio	Tipo de Pista	Tiempo	Distancia (m)	Velocidad Promedio (km/h)
LD	AB	Reconocimiento	1248	Calzada Simple	12:04:11		
				Inicio Fricción Lateral	12:09:13	6145,4	76,6
				Fin Fricción Lateral	12:09:35	333,0	56,2
				Inicio Fricción Lateral	12:09:40	79,1	56,9
				Fin Fricción Lateral	12:09:42	35,1	63,2
				Inicio Pista Lenta	12:09:44	31,6	56,9
				Fin Pista Lenta	12:10:52	863,0	47,7
				Inicio Pista Lenta	12:11:12	257,5	54,3
				Fin Pista Lenta	12:12:14	643,5	40,3
				Inicio Fricción Lateral	12:12:36	365,8	66,4
				Fin Fricción Lateral	12:12:39	59,5	71,4
				Inicio Fricción Lateral	12:16:54	5117,2	76,7
				Fin Fricción Lateral	12:16:57	66,3	79,5
				Inicio Fricción Lateral	12:17:38	493,1	54,9
				Fin Fricción Lateral	12:17:52	157,4	40,5
				Inicio Fricción Lateral	12:18:26	508,1	55,4
				Fin Fricción Lateral	12:18:27	17,3	62,2
				Inicio Fricción Lateral	12:18:36	156,7	62,7
				Fin Fricción Lateral	12:18:39	48,0	57,6
				Inicio Fricción Lateral	12:19:17	602,1	58,0
				Fin Fricción Lateral	12:19:22	72,5	52,2
				Inicio Pista Lenta	12:19:59	523,9	51,6
				Fin Pista Lenta	12:24:45	2957,5	38,4
				Inicio Fricción Lateral	12:25:12	416,7	55,5
				Fin Fricción Lateral	12:25:22	165,6	62,5
				Inicio Fricción Lateral	12:26:53	1806,2	77,4
				Fin Fricción Lateral	12:26:59	125,1	75,1
				Inicio Fricción Lateral	12:28:19	1363,4	64,1
				Fin Fricción Lateral	12:28:28	147,7	59,1
				Inicio Fricción Lateral	12:32:39	3942,7	61,3
				Fin Fricción Lateral	12:32:42	49,6	59,5
				Inicio Fricción Lateral	12:35:19	2559,0	64,2
				Fin Fricción Lateral	12:35:22	51,6	61,9
Inicio Fricción Lateral	12:37:03	1658,3	60,7				
Fin Fricción Lateral	12:37:09	63,4	38,1				
Inicio Fricción Lateral	12:39:29	2299,2	61,6				
Fin Fricción Lateral	12:39:32	34,5	41,4				
Inicio Fricción Lateral	12:39:51	275,7	67,0				

Ruta	Sentido	Vehículo Seguido	Hora inicio	Tipo de Pista	Tiempo	Distancia (m)	Velocidad Promedio (km/h)
				Fin Fricción Lateral	12:39:53	47,2	84,9
				Inicio Fricción Lateral	12:40:01	194,0	87,3
				Fin Fricción Lateral	12:40:02	23,4	84,4
				Inicio Fricción Lateral	12:40:24	403,4	70,6
				Fin Fricción Lateral	12:40:26	44,7	80,5
				Inicio Fricción Lateral	12:41:06	658,7	59,9
				Fin Fricción Lateral	12:41:19	162,5	44,7
				Inicio Fricción Lateral	12:41:26	119,5	61,4
				Fin Fricción Lateral	12:41:27	20,9	75,1
				Inicio Fricción Lateral	12:41:38	238,6	78,1
				Fin Fricción Lateral	12:41:39	19,5	70,1
				Fin Fricción Lateral	12:41:56	169,3	44,8
				Inicio Fricción Lateral	12:43:03	931,0	51,3
				Fin Fricción Lateral	12:43:07	38,8	34,9
				Inicio Fricción Lateral	12:43:16	118,3	47,3
				Fin Fricción Lateral	12:43:21	84,8	61,1
				Inicio Fricción Lateral	12:44:03	603,9	52,9
				Fin Fricción Lateral	12:44:08	98,6	71,0
				Inicio Fricción Lateral	12:44:55	677,9	61,1
				Fin Fricción Lateral	12:45:04	99,6	39,8
				Inicio Fricción Lateral	12:45:23	252,7	49,2
				Fin Fricción Lateral	12:45:30	134,0	68,6
				Inicio Fricción Lateral	12:46:18	882,8	70,0
				Fin Fricción Lateral	12:46:26	187,6	84,4
				Inicio Fricción Lateral	12:46:45	360,6	68,3
				Fin Fricción Lateral	12:47:00	277,5	68,6
				Inicio Fricción Lateral	12:47:06	88,0	63,3
				Fin Fricción Lateral	12:47:40	696,2	73,7
				Inicio Fricción Lateral	12:47:54	233,0	69,9
				Fin Fricción Lateral	12:48:02	158,3	71,2
				Inicio Fricción Lateral	12:48:12	210,0	75,6
				Fin Fricción Lateral	12:48:19	119,5	61,5
				Calzada Simple	12:48:28	77,1	30,9
LD	AB	Vehículo Liviano	1421	Calzada Simple	13:38:43		
				Inicio Zona Adelantar	13:39:16	577,7	65,7
				Fin Zona Adelantar	13:40:12	1193,8	81,1
				Inicio Zona Adelantar	13:40:40	621,2	79,9
				Fin Zona Adelantar	13:41:45	1236,5	74,2
				Inicio Zona Adelantar	13:41:56	109,8	68,7
				Fin Zona Adelantar	13:42:07	194,4	72,4

Ruta	Sentido	Vehículo Seguido	Hora inicio	Tipo de Pista	Tiempo	Distancia (m)	Velocidad Promedio (km/h)
				Inicio Zona Adelantar	13:43:41	1759,3	70,1
				Fin Zona Adelantar	13:43:56	261,9	69,9
				Inicio Zona Adelantar	13:46:50	2487,7	52,3
				Fin Zona Adelantar	13:47:43	1324,4	92,8
				Inicio Zona Adelantar	13:49:01	2045,2	102,7
				Fin Zona Adelantar	13:49:18	358,9	100,0
				Inicio Zona Adelantar	13:49:23	157,6	113,5
				Fin Zona Adelantar	13:49:40	506,6	114,0
				Inicio Zona Adelantar	13:50:04	674,6	112,7
				Fin Zona Adelantar	13:51:02	1593,8	108,8
				Inicio Zona Adelantar	13:51:05	93,5	112,2
				Fin Zona Adelantar	13:51:13	253,7	114,1
				Inicio Zona Adelantar	13:52:00	1051,8	86,0
				Fin Zona Adelantar	13:52:05	44,7	32,2
				Inicio Zona Adelantar	13:52:43	464,6	44,3
				Fin Zona Adelantar	13:53:17	513,5	55,1
				Inicio Zona Adelantar	13:55:44	1324,5	33,6
				Fin Zona Adelantar	13:56:05	336,3	67,0
				Inicio Zona Adelantar	13:56:38	787,6	85,9
				Fin Zona Adelantar	13:56:43	138,7	99,9
				Inicio Zona Adelantar	13:57:20	923,5	93,5
				Fin Zona Adelantar	13:57:26	170,9	102,6
				Inicio Zona Adelantar	13:57:34	222,9	99,9
				Fin Zona Adelantar	13:57:47	377,1	104,4
				Inicio Zona Adelantar	13:58:14	523,1	69,7
				Fin Zona Adelantar	13:58:18	88,8	79,9
				Inicio Pista Lenta	13:59:37	1307,3	63,5
				Fin Pista Lenta	14:00:12	613,6	65,8
				Inicio Pista Lenta	14:00:15	56,7	68,0
				Inicio Zona Adelantar	14:09:55	8836,1	57,5
				Fin Zona Adelantar	14:10:34	568,4	56,1
				Inicio Zona Adelantar	14:10:42	137,9	62,1
				Fin Zona Adelantar	14:11:10	357,7	51,0
				Inicio Zona Adelantar	14:11:20	187,2	67,4
				Fin Zona Adelantar	14:12:08	796,3	68,9
				Inicio Zona Adelantar	14:12:27	267,3	50,7
				Fin Zona Adelantar	14:12:36	161,3	64,5
				Inicio Zona Adelantar	14:13:06	458,8	56,1
				Fin Zona Adelantar	14:13:17	182,0	59,6
				Inicio Zona Adelantar	14:13:48	393,0	47,4

Ruta	Sentido	Vehículo Seguido	Hora inicio	Tipo de Pista	Tiempo	Distancia (m)	Velocidad Promedio (km/h)
				Fin Zona Adelantar	14:13:54	103,7	62,2
				Inicio Zona Adelantar	14:18:00	3432,3	52,4
				Fin Zona Adelantar	14:18:11	203,1	66,5
				Calzada Simple	14:20:00	2096,2	73,5
				Calzada Simple	14:20:26	468,2	64,6
LD	AB	Vehículo Liviano	1805	Calzada Simple	17:44:29		
				Calzada Simple	18:05:30	21189,8	64,1
LD	AB	Vehículo Liviano	1937	Calzada Simple	18:54:16		
				Calzada Simple	19:08:32	16852,8	75,0
LD	BA	Bus	2007	Calzada Simple	19:45:14		
				Calzada Simple	20:06:38	14200,5	40,8
LD	BA	Camión Simple	1945	Calzada Simple	19:41:10		
				Calzada Simple	19:44:56	2709,6	44,1
				Calzada Simple	12:50:53		
				Inicio Zona Adelantar	12:51:09	268,3	56,8
				Fin Zona Adelantar	12:51:13	74,1	66,7
				Inicio Zona Adelantar	12:51:23	172,0	65,6
				Fin Zona Adelantar	12:51:46	394,4	66,0
				Inicio Zona Adelantar	12:51:50	73,5	66,2
				Fin Zona Adelantar	12:52:18	520,9	72,2
				Inicio Zona Adelantar	12:52:29	213,5	69,9
				Fin Zona Adelantar	12:52:40	209,2	68,5
				Inicio Zona Adelantar	12:52:45	89,6	64,5
				Fin Zona Adelantar	12:52:51	107,6	64,6
				Inicio Zona Adelantar	12:53:10	276,4	61,9
				Fin Zona Adelantar	12:53:12	37,2	67,0
				Inicio Zona Adelantar	12:53:34	410,3	67,1
				Fin Zona Adelantar	12:53:40	108,2	64,9
				Inicio Zona Adelantar	12:53:52	188,5	59,0
				Fin Zona Adelantar	12:54:22	428,6	53,7
				Inicio Zona Adelantar	12:54:32	112,7	40,6
				Fin Zona Adelantar	12:54:37	67,9	48,9
				Inicio Zona Adelantar	12:55:14	620,7	61,4
				Fin Zona Adelantar	12:55:16	35,9	64,6
				Inicio Zona Adelantar	12:56:22	843,7	52,5
				Fin Zona Adelantar	12:56:26	37,1	33,4
				Inicio Zona Adelantar	12:56:58	421,6	49,2
				Fin Zona Adelantar	12:57:02	35,5	32,0
				Inicio Zona Adelantar	12:57:04	18,9	34,0
				Fin Zona Adelantar	12:57:05	9,3	33,5

Ruta	Sentido	Vehículo Seguido	Hora inicio	Tipo de Pista	Tiempo	Distancia (m)	Velocidad Promedio (km/h)
				Inicio Zona Adelantar	12:58:32	1138,7	48,7
				Fin Zona Adelantar	12:58:33	8,8	31,7
				Inicio Zona Adelantar	12:58:56	313,3	40,0
				Fin Zona Adelantar	12:58:57	13,4	48,1
				Inicio Zona Adelantar	12:59:21	335,0	51,7
				Fin Zona Adelantar	12:59:29	140,9	63,4
				Inicio Zona Adelantar	12:59:55	433,3	61,2
				Fin Zona Adelantar	12:59:56	32,8	118,2
				Inicio Zona Adelantar	12:59:59	50,0	74,5
				Fin Zona Adelantar	13:00:00	15,7	56,6
				Inicio Zona Adelantar	13:00:09	146,7	58,9
				Fin Zona Adelantar	13:00:10	17,3	62,1
				Inicio Zona Adelantar	13:00:51	547,2	51,1
				Fin Zona Adelantar	13:01:38	699,5	55,4
				Inicio Zona Adelantar	13:01:39	17,3	62,4
				Fin Zona Adelantar	13:03:56	2045,2	55,0
				Inicio Zona Adelantar	13:03:59	55,2	66,2
				Fin Zona Adelantar	13:04:47	699,1	54,7
				Inicio Zona Adelantar	13:06:11	1219,5	57,6
				Fin Zona Adelantar	13:06:13	29,6	53,3
				Inicio Zona Adelantar	13:06:15	26,2	47,2
				Fin Zona Adelantar	13:06:19	62,9	56,6
				Inicio Zona Adelantar	13:08:19	1955,9	60,0
				Fin Zona Adelantar	13:08:21	48,9	87,9
				Inicio Zona Adelantar	13:08:35	233,7	67,6
				Fin Zona Adelantar	13:08:36	17,0	61,0
				Inicio Zona Adelantar	13:09:36	973,8	59,9
				Fin Zona Adelantar	13:09:37	15,7	56,5
				Inicio Zona Adelantar	13:10:39	1033,3	62,8
				Fin Zona Adelantar	13:10:40	18,5	66,6
				Inicio Zona Adelantar	13:11:52	1064,8	60,4
				Fin Zona Adelantar	13:11:56	55,1	66,1
				Inicio Zona Adelantar	13:14:03	2076,1	61,0
				Fin Zona Adelantar	13:14:09	123,6	74,2
				Inicio Zona Adelantar	13:15:24	1290,0	67,7
				Fin Zona Adelantar	13:15:25	19,5	70,1
				Inicio Zona Adelantar	13:15:39	235,2	60,5
				Fin Zona Adelantar	13:15:40	17,2	62,0
				Inicio Zona Adelantar	13:16:10	456,7	64,8
				Fin Zona Adelantar	13:16:25	173,1	55,8

Ruta	Sentido	Vehículo Seguido	Hora inicio	Tipo de Pista	Tiempo	Distancia (m)	Velocidad Promedio (km/h)
				Inicio Pista Lenta	13:16:27	28,7	51,6
				Fin Pista Lenta	13:21:14	2728,4	35,0
				Inicio Zona Adelantar	13:22:16	1066,7	67,8
				Fin Zona Adelantar	13:22:19	65,2	78,2
				Inicio Zona Adelantar	13:22:43	502,2	86,0
				Fin Zona Adelantar	13:22:53	283,0	101,9
				Inicio Zona Adelantar	13:27:18	5648,3	81,9
				Fin Zona Adelantar	13:27:22	111,6	100,4
				Inicio Pista Lenta	13:27:39	342,5	86,9
				Fin Pista Lenta	13:28:37	562,0	35,5
				Fin Pista Lenta	13:31:09	2366,2	57,8
				Inicio Zona Adelantar	13:33:13	2825,4	90,9
				Fin Zona Adelantar	13:33:18	140,5	101,2
				Inicio Zona Adelantar	13:33:53	863,3	92,6
				Fin Zona Adelantar	13:34:00	171,6	88,2
				Inicio Zona Adelantar	13:34:34	768,6	89,2
				Fin Zona Adelantar	13:34:37	70,3	84,4
				Inicio Zona Adelantar	13:34:58	365,7	62,7
				Fin Zona Adelantar	13:35:15	240,6	60,9
				LD	BA	Vehículo Liviano	1506
Calzada Simple	14:23:43						
Inicio Zona Adelantar	14:23:48	53,8	44,6				
Fin Zona Adelantar	14:24:05	341,7	72,4				
Inicio Zona Adelantar	14:26:16	2176,8	62,3				
Fin Zona Adelantar	14:26:29	168,9	46,8				
Inicio Pista Lenta	14:28:44	2113,2	58,8				
Fin Pista Lenta	14:29:20	514,7	51,5				
Inicio Pista Lenta	14:29:30	99,5	38,0				
Fin Pista Lenta	14:35:30	5262,5	55,9				
Inicio Pista Lenta	14:37:27	1821,0	56,9				
Fin Pista Lenta	14:38:18	866,3	64,9				
Inicio Zona Adelantar	14:44:38	6611,0	67,9				
Inicio Zona Adelantar	14:45:10	616,9	72,6				
Fin Zona Adelantar	14:45:26	412,3	92,8				
Inicio Zona Adelantar	14:45:31	136,1	98,0				
Fin Zona Adelantar	14:45:37	195,7	100,0				
Inicio Zona Adelantar	14:46:19	1036,9	89,6				
Fin Zona Adelantar	14:46:28	188,3	89,9				
Inicio Zona Adelantar	14:46:56	669,5	86,0				
Fin Zona Adelantar	14:47:16	405,0	72,9				

Ruta	Sentido	Vehículo Seguido	Hora inicio	Tipo de Pista	Tiempo	Distancia (m)	Velocidad Promedio (km/h)
				Inicio Zona Adelantar	14:50:27	2054,0	41,0
				Fin Zona Adelantar	14:50:44	261,7	55,4
				Inicio Zona Adelantar	14:50:51	54,0	27,8
				Fin Zona Adelantar	14:51:27	796,0	81,3
				Inicio Zona Adelantar	14:51:41	336,5	86,5
				Inicio Zona Adelantar	14:51:55	256,9	80,1
				Fin Zona Adelantar	14:52:55	1343,6	86,9
				Inicio Zona Adelantar	14:53:08	316,9	87,8
				Fin Zona Adelantar	14:53:38	620,3	82,6
				Inicio Zona Adelantar	14:54:02	561,4	84,2
				Fin Zona Adelantar	14:54:10	187,5	84,4
				Inicio Zona Adelantar	14:54:17	75,7	67,6
				Fin Zona Adelantar	14:54:30	312,0	86,4
				Inicio Zona Adelantar	14:56:05	2187,1	85,7
				Fin Zona Adelantar	14:56:44	897,2	86,1
				Inicio Zona Adelantar	14:56:52	167,7	75,5
				Fin Zona Adelantar	14:57:05	280,9	77,8
				Inicio Zona Adelantar	15:00:21	2507,4	46,6
				Fin Zona Adelantar	15:00:39	280,1	62,8
				Inicio Zona Adelantar	15:02:27	1703,8	59,9
				Fin Zona Adelantar	15:02:39	207,5	70,6
				Inicio Zona Adelantar	15:02:50	220,8	72,3
				Fin Zona Adelantar	15:03:45	1259,6	84,4
				Inicio Zona Adelantar	15:04:09	659,4	98,9
				Fin Zona Adelantar	15:04:56	1213,0	95,9
				Inicio Zona Adelantar	15:05:18	476,9	83,7
				Fin Zona Adelantar	15:05:29	271,4	88,8
				Calzada Simple	15:06:00	190,7	23,4
LD	BA	Vehículo Liviano	1854	Calzada Simple	18:06:51		
				Calzada Simple	18:53:02	42776,4	58,9
LD	AB	Bus	1524	Calzada Simple	15:15:04		
				Calzada Simple	15:22:37	7970,6	68,1
LD	AB	Bus	1603	Calzada Simple	15:24:23		
				Calzada Simple	16:03:05	34246,0	55,5
LD	BA	Bus	1653	Calzada Simple	16:50:01		
				Calzada Simple	16:53:04	3147,8	65,3
LD	BA	Bus	2027	Calzada Simple	20:10:26		
				Calzada Simple	20:26:59	14910,8	57,0
LD	BA	Camión Simple	1648	Calzada Simple	16:05:10		
				Calzada Simple	16:47:16	34071,0	52,1



Gobierno de Chile
Ministerio de Obras Públicas / Ministerio de Desarrollo Social
Consultores en Infraestructura, Gestión y Territorio Limitada



Fuente: Elaboración Propia

19.2. Anexo 2: Resultados de Microsimulación Cuesta La Dormida

Tabla N° 53. Resultados Microsimulación Escenario Base

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
1	1,84	433,91	4,63	153	1	13	3	87	13	60	27	1,8	0,0	0,2	0,0
2	1,84	109,87	2,71	153	1	13	3	96	16	74	32	1,6	0,0	0,2	0,0
3	0,20	117,91	2,71	153	1	13	3	95	16	75	33	1,6	0,0	0,2	0,0
4	0,75	118,98	2,71	153	1	13	3	95	16	74	33	1,6	0,0	0,2	0,0
5	2,02	66,00	2,71	152	1	13	3	95	16	74	33	1,6	0,0	0,2	0,0
6	1,03	128,98	2,83	152	1	13	3	95	16	75	33	1,6	0,0	0,2	0,0
7	2,01	88,84	2,83	153	1	13	3	94	16	75	33	1,6	0,0	0,2	0,0
8	2,36	339,24	2,83	153	1	13	3	94	16	75	33	1,6	0,0	0,2	0,0
9	5,31	92,00	2,83	153	1	13	3	94	16	74	33	1,7	0,0	0,2	0,0
10	0,94	94,09	2,83	152	1	13	3	93	16	74	33	1,7	0,0	0,2	0,0
11	0,00	115,02	2,83	152	1	13	3	93	16	74	33	1,7	0,0	0,2	0,0
12	0,00	183,69	2,83	152	1	13	3	93	16	73	33	1,7	0,0	0,2	0,0
13	3,85	80,76	2,83	152	1	13	3	93	16	73	33	1,7	0,0	0,2	0,0
14	1,61	109,69	2,83	152	1	13	3	92	16	73	33	1,7	0,0	0,2	0,0

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
15	0,00	71,20	2,83	152	1	13	3	92	16	72	33	1,7	0,0	0,2	0,0
16	2,46	234,89	2,81	152	1	13	3	92	16	73	32	1,7	0,0	0,2	0,0
17	2,49	232,09	2,81	152	1	13	3	92	16	73	32	1,7	0,0	0,2	0,0
18	2,48	107,51	0,73	152	1	13	3	92	15	73	33	1,7	0,0	0,2	0,0
19	0,94	569,96	0,73	152	1	13	3	91	16	72	32	1,7	0,0	0,2	0,0
20	2,34	152,18	3,05	152	1	13	3	91	16	72	32	1,7	0,0	0,2	0,0
21	1,93	138,22	3,05	152	1	13	3	91	16	72	32	1,7	0,0	0,2	0,0
22	2,78	176,13	0,52	152	1	13	3	90	16	72	32	1,7	0,0	0,2	0,0
23	2,89	107,51	0,52	152	1	13	3	90	16	72	32	1,7	0,0	0,2	0,0
24	1,90	234,04	0,52	152	1	13	3	90	16	72	32	1,7	0,0	0,2	0,0
25	2,44	164,04	0,52	151	1	13	3	90	16	72	32	1,7	0,0	0,2	0,0
26	1,69	367,87	2,35	151	1	13	3	89	16	72	33	1,7	0,0	0,2	0,0
27	2,30	192,93	1,90	151	1	13	3	89	16	72	33	1,7	0,0	0,2	0,0
28	1,51	206,00	1,03	151	1	13	3	89	16	73	33	1,7	0,0	0,2	0,0
29	3,40	143,64	1,03	151	1	13	3	89	16	73	33	1,7	0,0	0,2	0,0
101	-1,84	433,91	4,63	60	2	18	2	59	16	55	17	1,0	0,0	0,3	0,0
102	-1,84	109,87	2,71	60	2	17	2	89	24	78	26	0,7	0,0	0,2	0,0
103	-0,20	117,91	2,71	60	2	18	2	90	24	78	26	0,7	0,0	0,2	0,0

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
104	-0,75	118,98	2,71	60	2	17	2	90	24	78	25	0,7	0,0	0,2	0,0
105	-2,02	66,00	2,71	60	2	18	2	90	24	78	24	0,7	0,0	0,2	0,0
106	-1,03	128,98	2,83	60	2	18	2	90	24	78	24	0,7	0,0	0,2	0,0
107	-2,01	88,84	2,83	60	2	17	2	90	24	78	25	0,7	0,0	0,2	0,0
108	-2,36	339,24	2,83	60	2	17	2	91	24	78	25	0,7	0,0	0,2	0,0
109	-5,31	92,00	2,83	60	2	17	2	91	24	78	26	0,7	0,0	0,2	0,0
110	-0,94	94,09	2,83	60	2	17	2	91	23	78	26	0,7	0,0	0,2	0,0
111	0,00	115,02	2,83	60	2	17	2	91	23	78	26	0,7	0,0	0,2	0,0
112	0,00	183,69	2,83	60	2	17	2	91	23	78	26	0,7	0,0	0,2	0,0
113	-3,85	80,76	2,83	60	2	17	2	92	23	78	26	0,7	0,0	0,2	0,0
114	-1,61	109,69	2,83	60	2	17	2	92	23	78	26	0,7	0,0	0,2	0,0
115	0,00	71,20	2,83	60	2	17	2	92	23	78	26	0,7	0,0	0,2	0,0
116	-2,46	234,89	2,81	60	2	17	2	92	24	79	25	0,7	0,0	0,2	0,0
117	-2,49	232,09	2,81	60	2	17	2	93	24	78	26	0,7	0,0	0,2	0,0
118	-2,48	107,51	0,73	60	2	17	2	93	24	78	26	0,7	0,0	0,2	0,0
119	-0,94	569,96	0,73	60	2	17	2	93	24	78	26	0,7	0,0	0,2	0,0
120	-2,34	152,18	3,05	60	2	17	2	94	24	77	26	0,6	0,0	0,2	0,0
121	-1,93	138,22	3,05	60	2	17	2	94	24	77	26	0,6	0,0	0,2	0,0

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
122	-2,78	176,13	0,52	60	2	17	2	94	24	77	26	0,6	0,0	0,2	0,0
123	-2,89	107,51	0,52	60	2	17	2	95	24	77	26	0,6	0,0	0,2	0,0
124	-1,90	234,04	0,52	60	2	17	2	95	24	78	25	0,6	0,0	0,2	0,0
125	-2,44	164,04	0,52	60	2	17	2	95	25	78	25	0,6	0,0	0,2	0,0
126	-1,69	367,87	2,35	60	2	17	2	96	25	78	25	0,6	0,0	0,2	0,0
127	-2,30	192,93	1,90	60	2	17	2	97	25	78	25	0,6	0,0	0,2	0,0
128	-1,51	206,00	1,03	60	2	17	2	97	25	78	25	0,6	0,0	0,2	0,0
129	-3,40	143,64	1,03	60	2	17	2	97	25	77	25	0,6	0,0	0,2	0,0
201	0,00	102,76	0,00	153	1	13	3	49	7	38	16	2,9	0,0	0,3	0,1
302	0,00	49,66	0,00	60	2	18	2	53	10	34	10	1,1	0,1	0,5	0,0

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°54. Resultados Microsimulación Escenario 1

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
1	1,84	433,91	4,63	211	1	15	4	87	10	59	35	2,4	0,0	0,2	0,1
2	1,84	109,87	2,71	211	1	15	4	95	13	73	42	2,2	0,0	0,2	0,0
3	0,20	117,91	2,71	211	1	15	4	94	13	74	42	2,3	0,0	0,2	0,0
4	0,75	118,98	2,71	211	1	15	4	94	13	74	42	2,3	0,0	0,2	0,0
5	2,02	66,00	2,71	210	1	15	4	94	13	74	42	2,3	0,0	0,2	0,0
6	1,03	128,98	2,83	210	1	15	4	93	13	73	42	2,3	0,0	0,2	0,0
7	2,01	88,84	2,83	210	1	15	4	93	13	73	42	2,3	0,0	0,2	0,0
8	2,36	339,24	2,83	210	1	15	3	93	13	74	41	2,3	0,0	0,2	0,0
9	5,31	92,00	2,83	210	1	15	3	92	13	74	41	2,3	0,0	0,2	0,0
10	0,94	94,09	2,83	210	1	15	3	92	13	73	41	2,3	0,0	0,2	0,0
11	0,00	115,02	2,83	210	1	15	3	92	14	74	41	2,3	0,0	0,2	0,0
12	0,00	183,69	2,83	210	1	15	3	92	13	74	41	2,3	0,0	0,2	0,0
13	3,85	80,76	2,83	210	1	15	3	91	13	73	41	2,3	0,0	0,2	0,0
14	1,61	109,69	2,83	210	1	15	3	91	13	73	41	2,3	0,0	0,2	0,0
15	0,00	71,20	2,83	210	1	15	3	91	13	74	41	2,3	0,0	0,2	0,0
16	2,46	234,89	2,81	209	1	15	3	91	14	74	41	2,3	0,0	0,2	0,0
17	2,49	232,09	2,81	209	1	15	3	90	14	75	41	2,4	0,0	0,2	0,0

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
18	2,48	107,51	0,73	209	1	15	3	90	14	74	41	2,4	0,0	0,2	0,0
19	0,94	569,96	0,73	209	1	15	3	90	15	75	40	2,4	0,0	0,2	0,0
20	2,34	152,18	3,05	208	1	15	3	89	15	74	40	2,4	0,0	0,2	0,0
21	1,93	138,22	3,05	208	1	15	3	89	15	74	41	2,4	0,0	0,2	0,0
22	2,78	176,13	0,52	208	1	15	3	89	14	74	41	2,4	0,0	0,2	0,0
23	2,89	107,51	0,52	208	1	15	3	89	14	74	40	2,4	0,0	0,2	0,0
24	1,90	234,04	0,52	208	1	15	3	88	14	73	40	2,4	0,0	0,2	0,0
25	2,44	164,04	0,52	208	1	15	3	88	14	73	40	2,4	0,0	0,2	0,0
26	1,69	367,87	2,35	207	1	15	3	88	14	74	40	2,4	0,0	0,2	0,0
27	2,30	192,93	1,90	207	1	15	3	88	13	74	40	2,4	0,0	0,2	0,0
28	1,51	206,00	1,03	207	1	15	3	88	12	73	40	2,4	0,0	0,2	0,0
29	3,40	143,64	1,03	207	1	15	3	88	12	73	41	2,4	0,0	0,2	0,0
101	-1,84	433,91	4,63	84	2	24	3	57	19	56	23	1,5	0,0	0,4	0,1
102	-1,84	109,87	2,71	85	2	24	3	89	28	81	34	1,0	0,0	0,3	0,0
103	-0,20	117,91	2,71	85	2	24	3	89	27	81	34	1,0	0,0	0,3	0,0
104	-0,75	118,98	2,71	85	2	24	3	89	27	81	33	1,0	0,0	0,3	0,0
105	-2,02	66,00	2,71	85	2	24	3	89	27	81	34	1,0	0,0	0,3	0,0
106	-1,03	128,98	2,83	85	2	24	3	89	27	81	34	1,0	0,0	0,3	0,0

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
107	-2,01	88,84	2,83	85	2	24	3	89	27	81	34	1,0	0,0	0,3	0,0
108	-2,36	339,24	2,83	85	2	24	3	89	27	81	33	1,0	0,0	0,3	0,0
109	-5,31	92,00	2,83	85	2	24	3	90	27	81	33	1,0	0,0	0,3	0,0
110	-0,94	94,09	2,83	85	2	24	3	90	27	81	33	1,0	0,0	0,3	0,0
111	0,00	115,02	2,83	85	2	24	3	90	27	81	33	1,0	0,0	0,3	0,0
112	0,00	183,69	2,83	85	2	24	3	90	28	81	33	0,9	0,0	0,3	0,0
113	-3,85	80,76	2,83	85	2	24	3	90	28	81	33	0,9	0,0	0,3	0,0
114	-1,61	109,69	2,83	85	2	24	3	91	28	81	33	0,9	0,0	0,3	0,0
115	0,00	71,20	2,83	85	2	24	3	91	28	81	33	0,9	0,0	0,3	0,0
116	-2,46	234,89	2,81	85	2	24	3	91	27	81	33	0,9	0,0	0,3	0,0
117	-2,49	232,09	2,81	85	2	24	3	91	28	81	32	0,9	0,0	0,3	0,0
118	-2,48	107,51	0,73	85	2	24	3	92	28	82	32	0,9	0,0	0,3	0,0
119	-0,94	569,96	0,73	85	2	24	3	92	28	82	32	0,9	0,0	0,3	0,0
120	-2,34	152,18	3,05	85	2	24	3	93	27	82	32	0,9	0,0	0,3	0,0
121	-1,93	138,22	3,05	85	2	24	3	93	27	82	32	0,9	0,0	0,3	0,0
122	-2,78	176,13	0,52	85	2	24	3	93	27	82	32	0,9	0,0	0,3	0,0
123	-2,89	107,51	0,52	85	2	24	3	94	28	82	32	0,9	0,0	0,3	0,0
124	-1,90	234,04	0,52	85	2	24	3	94	28	82	32	0,9	0,0	0,3	0,0

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
125	-2,44	164,04	0,52	85	2	24	3	95	28	82	33	0,9	0,0	0,3	0,0
126	-1,69	367,87	2,35	85	2	24	3	95	29	82	33	0,9	0,0	0,3	0,0
127	-2,30	192,93	1,90	86	2	24	3	96	29	82	34	0,9	0,0	0,3	0,0
128	-1,51	206,00	1,03	86	2	24	3	96	28	82	33	0,9	0,0	0,3	0,0
129	-3,40	143,64	1,03	86	2	24	3	97	28	82	34	0,9	0,0	0,3	0,0
201	0,00	102,76	0,00	211	1	15	4	48	5	38	20	4,1	0,0	0,3	0,1
302	0,00	49,66	0,00	84	2	24	3	53	12	34	15	1,6	0,1	0,7	0,1

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°55. Resultados Microsimulación Escenario 2

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
1	1,84	433,91	4,63	273	1	23	5	86	14	63	40	3,2	0,0	0,3	0,1
2	1,84	109,87	2,71	273	1	23	5	94	18	77	49	2,9	0,0	0,3	0,1
3	0,20	117,91	2,71	273	1	23	5	93	18	78	49	3,0	0,0	0,3	0,1
4	0,75	118,98	2,71	273	1	23	5	93	18	78	49	3,0	0,0	0,3	0,1
5	2,02	66,00	2,71	273	1	23	5	93	18	78	49	3,0	0,0	0,3	0,1
6	1,03	128,98	2,83	273	1	23	5	92	18	79	48	3,0	0,0	0,3	0,1
7	2,01	88,84	2,83	273	1	23	5	92	18	79	49	3,0	0,0	0,3	0,1
8	2,36	339,24	2,83	272	1	23	5	91	18	79	50	3,0	0,0	0,3	0,1
9	5,31	92,00	2,83	272	1	23	5	91	18	79	50	3,0	0,0	0,3	0,1
10	0,94	94,09	2,83	272	1	23	5	90	18	78	50	3,1	0,0	0,3	0,1
11	0,00	115,02	2,83	272	1	23	5	90	17	79	50	3,1	0,0	0,3	0,1
12	0,00	183,69	2,83	272	1	23	5	90	18	78	50	3,1	0,0	0,3	0,1
13	3,85	80,76	2,83	272	1	23	5	90	18	78	49	3,1	0,0	0,3	0,1
14	1,61	109,69	2,83	272	1	23	5	89	18	78	50	3,1	0,0	0,3	0,1
15	0,00	71,20	2,83	272	1	23	5	89	18	78	50	3,1	0,0	0,3	0,1
16	2,46	234,89	2,81	272	1	23	5	89	18	79	50	3,1	0,0	0,3	0,1
17	2,49	232,09	2,81	272	1	23	5	89	18	79	49	3,1	0,0	0,3	0,1

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
18	2,48	107,51	0,73	272	1	23	5	88	18	79	49	3,1	0,0	0,3	0,1
19	0,94	569,96	0,73	271	1	23	5	88	18	79	50	3,1	0,0	0,3	0,1
20	2,34	152,18	3,05	271	1	23	5	87	17	78	49	3,1	0,0	0,3	0,1
21	1,93	138,22	3,05	271	1	23	5	87	17	78	50	3,1	0,0	0,3	0,1
22	2,78	176,13	0,52	271	1	23	5	87	17	78	49	3,2	0,0	0,3	0,1
23	2,89	107,51	0,52	271	1	23	5	87	17	78	50	3,2	0,0	0,3	0,1
24	1,90	234,04	0,52	271	1	23	5	87	17	78	49	3,2	0,0	0,3	0,1
25	2,44	164,04	0,52	270	1	23	5	86	17	77	48	3,2	0,0	0,3	0,1
26	1,69	367,87	2,35	270	1	23	5	86	16	78	48	3,2	0,0	0,3	0,1
27	2,30	192,93	1,90	270	1	23	5	86	16	78	48	3,2	0,0	0,3	0,1
28	1,51	206,00	1,03	270	1	23	5	86	17	78	47	3,2	0,0	0,3	0,1
29	3,40	143,64	1,03	270	1	23	5	86	17	78	47	3,2	0,0	0,3	0,1
101	-1,84	433,91	4,63	107	3	33	3	53	18	56	27	2,1	0,1	0,6	0,1
102	-1,84	109,87	2,71	107	3	33	3	86	28	82	40	1,3	0,0	0,4	0,0
103	-0,20	117,91	2,71	107	3	33	3	87	27	82	39	1,2	0,0	0,4	0,0
104	-0,75	118,98	2,71	107	3	33	3	87	28	82	39	1,2	0,0	0,4	0,0
105	-2,02	66,00	2,71	107	3	33	3	87	28	82	38	1,2	0,0	0,4	0,0
106	-1,03	128,98	2,83	107	3	33	3	87	28	82	39	1,2	0,0	0,4	0,0

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
107	-2,01	88,84	2,83	107	3	33	3	87	28	82	38	1,2	0,0	0,4	0,0
108	-2,36	339,24	2,83	107	3	33	3	87	29	82	38	1,2	0,0	0,4	0,0
109	-5,31	92,00	2,83	107	3	33	3	88	28	82	38	1,2	0,0	0,4	0,0
110	-0,94	94,09	2,83	107	3	33	3	88	28	81	38	1,2	0,0	0,4	0,0
111	0,00	115,02	2,83	107	3	33	3	88	28	82	38	1,2	0,0	0,4	0,0
112	0,00	183,69	2,83	107	3	33	3	88	28	82	38	1,2	0,0	0,4	0,0
113	-3,85	80,76	2,83	107	3	33	3	89	28	82	37	1,2	0,0	0,4	0,0
114	-1,61	109,69	2,83	107	3	33	3	89	28	82	38	1,2	0,0	0,4	0,0
115	0,00	71,20	2,83	107	3	33	3	89	28	82	38	1,2	0,0	0,4	0,0
116	-2,46	234,89	2,81	107	3	33	3	89	28	82	38	1,2	0,0	0,4	0,0
117	-2,49	232,09	2,81	107	3	33	3	90	28	82	38	1,2	0,0	0,4	0,0
118	-2,48	107,51	0,73	107	3	33	3	90	28	82	38	1,2	0,0	0,4	0,0
119	-0,94	569,96	0,73	107	3	33	3	91	28	83	39	1,2	0,0	0,4	0,0
120	-2,34	152,18	3,05	107	3	33	3	92	30	83	39	1,2	0,0	0,4	0,0
121	-1,93	138,22	3,05	107	3	33	3	92	29	83	39	1,2	0,0	0,4	0,0
122	-2,78	176,13	0,52	107	3	33	3	92	30	83	39	1,2	0,0	0,4	0,0
123	-2,89	107,51	0,52	107	3	33	3	93	30	83	39	1,2	0,0	0,4	0,0
124	-1,90	234,04	0,52	107	3	33	3	93	30	83	40	1,2	0,0	0,4	0,0

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
125	-2,44	164,04	0,52	107	3	33	3	94	31	83	39	1,2	0,0	0,4	0,0
126	-1,69	367,87	2,35	107	3	33	3	95	30	83	38	1,1	0,0	0,4	0,0
127	-2,30	192,93	1,90	107	3	33	3	96	32	83	38	1,1	0,0	0,4	0,0
128	-1,51	206,00	1,03	107	3	33	3	96	31	83	38	1,1	0,0	0,4	0,0
129	-3,40	143,64	1,03	107	3	33	3	97	31	83	38	1,1	0,0	0,4	0,0
201	0,00	102,76	0,00	274	1	23	5	48	7	40	23	5,3	0,0	0,5	0,1
302	0,00	49,66	0,00	107	3	33	3	53	12	34	17	2,0	0,1	1,0	0,1

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°56. Resultados Microsimulación Escenario 3

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
1	1,84	433,91	4,63	376	1	30	8	85	16	65	47	4,4	0,0	0,4	0,1
2	1,84	109,87	2,71	376	1	30	8	93	21	80	58	4,1	0,0	0,4	0,1
3	0,20	117,91	2,71	376	1	30	8	92	21	80	58	4,1	0,0	0,4	0,1
4	0,75	118,98	2,71	375	1	30	8	92	21	80	59	4,2	0,0	0,4	0,1
5	2,02	66,00	2,71	375	1	30	8	91	21	81	59	4,2	0,0	0,4	0,1
6	1,03	128,98	2,83	375	1	30	8	91	21	81	59	4,2	0,0	0,4	0,1
7	2,01	88,84	2,83	375	1	30	8	91	21	81	59	4,2	0,0	0,4	0,1
8	2,36	339,24	2,83	375	1	30	8	90	21	80	59	4,2	0,0	0,4	0,1
9	5,31	92,00	2,83	374	1	30	8	89	21	80	59	4,3	0,0	0,4	0,1
10	0,94	94,09	2,83	374	1	30	8	89	21	81	59	4,3	0,0	0,4	0,1
11	0,00	115,02	2,83	374	1	30	8	89	21	81	59	4,3	0,0	0,4	0,1
12	0,00	183,69	2,83	374	1	30	8	88	20	81	59	4,3	0,0	0,4	0,1
13	3,85	80,76	2,83	374	1	30	8	88	20	80	59	4,3	0,0	0,4	0,1
14	1,61	109,69	2,83	374	1	30	8	88	20	80	60	4,3	0,0	0,4	0,1
15	0,00	71,20	2,83	374	1	30	8	88	20	80	60	4,3	0,0	0,4	0,1
16	2,46	234,89	2,81	373	1	30	8	88	20	80	60	4,3	0,0	0,4	0,1
17	2,49	232,09	2,81	373	1	30	8	87	20	80	60	4,3	0,0	0,4	0,1

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
18	2,48	107,51	0,73	373	1	30	8	87	20	80	60	4,4	0,0	0,4	0,1
19	0,94	569,96	0,73	372	1	30	8	86	19	80	60	4,4	0,0	0,4	0,1
20	2,34	152,18	3,05	372	1	30	8	86	19	79	60	4,4	0,0	0,4	0,1
21	1,93	138,22	3,05	372	1	30	8	86	19	79	60	4,4	0,0	0,4	0,1
22	2,78	176,13	0,52	372	1	30	8	85	19	79	59	4,4	0,0	0,4	0,1
23	2,89	107,51	0,52	372	1	30	8	85	18	79	58	4,4	0,0	0,4	0,1
24	1,90	234,04	0,52	372	1	30	8	85	18	80	58	4,4	0,0	0,4	0,1
25	2,44	164,04	0,52	372	1	30	8	85	18	79	59	4,4	0,0	0,4	0,1
26	1,69	367,87	2,35	371	1	30	8	85	18	79	57	4,4	0,0	0,4	0,1
27	2,30	192,93	1,90	371	1	31	8	84	19	79	56	4,5	0,0	0,4	0,1
28	1,51	206,00	1,03	371	1	31	8	84	19	79	56	4,5	0,0	0,4	0,1
29	3,40	143,64	1,03	371	1	31	8	85	19	79	56	4,4	0,0	0,4	0,1
101	-1,84	433,91	4,63	149	4	47	5	48	19	53	27	3,3	0,1	0,9	0,1
102	-1,84	109,87	2,71	149	4	47	5	84	33	81	45	1,8	0,0	0,6	0,1
103	-0,20	117,91	2,71	149	4	47	5	85	33	81	45	1,8	0,0	0,6	0,1
104	-0,75	118,98	2,71	149	4	47	5	85	32	81	45	1,8	0,0	0,6	0,1
105	-2,02	66,00	2,71	149	4	47	5	85	32	81	46	1,8	0,0	0,6	0,1
106	-1,03	128,98	2,83	149	4	47	5	85	32	81	46	1,8	0,0	0,6	0,1

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
107	-2,01	88,84	2,83	149	4	47	5	85	31	81	46	1,8	0,0	0,6	0,1
108	-2,36	339,24	2,83	149	4	47	5	85	31	81	47	1,8	0,0	0,6	0,1
109	-5,31	92,00	2,83	149	4	47	5	86	31	81	47	1,8	0,0	0,6	0,1
110	-0,94	94,09	2,83	149	4	47	5	86	31	81	47	1,8	0,0	0,6	0,1
111	0,00	115,02	2,83	149	4	47	5	86	32	81	47	1,8	0,0	0,6	0,1
112	0,00	183,69	2,83	149	4	47	5	86	32	82	47	1,7	0,0	0,6	0,1
113	-3,85	80,76	2,83	149	4	47	5	86	33	82	46	1,7	0,0	0,6	0,1
114	-1,61	109,69	2,83	149	4	47	5	87	33	82	46	1,7	0,0	0,6	0,1
115	0,00	71,20	2,83	149	4	47	5	87	33	82	45	1,7	0,0	0,6	0,1
116	-2,46	234,89	2,81	149	4	47	5	87	33	82	45	1,7	0,0	0,6	0,1
117	-2,49	232,09	2,81	149	4	47	5	87	33	82	46	1,7	0,0	0,6	0,1
118	-2,48	107,51	0,73	149	4	47	5	88	33	82	46	1,7	0,0	0,6	0,1
119	-0,94	569,96	0,73	149	4	47	5	89	34	82	46	1,7	0,0	0,6	0,1
120	-2,34	152,18	3,05	149	4	47	5	90	34	82	45	1,7	0,0	0,6	0,1
121	-1,93	138,22	3,05	149	4	47	5	90	35	82	45	1,7	0,0	0,6	0,1
122	-2,78	176,13	0,52	149	4	47	5	91	35	82	45	1,7	0,0	0,6	0,1
123	-2,89	107,51	0,52	149	4	47	5	91	35	82	45	1,7	0,0	0,6	0,1
124	-1,90	234,04	0,52	149	4	47	5	92	33	83	44	1,6	0,0	0,6	0,1

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
125	-2,44	164,04	0,52	149	4	47	5	92	33	83	45	1,6	0,0	0,6	0,1
126	-1,69	367,87	2,35	149	4	47	5	93	34	83	44	1,6	0,0	0,6	0,1
127	-2,30	192,93	1,90	149	4	47	5	95	33	83	44	1,6	0,0	0,6	0,1
128	-1,51	206,00	1,03	149	4	47	4	96	33	83	43	1,6	0,0	0,6	0,1
129	-3,40	143,64	1,03	149	4	47	4	96	32	83	43	1,6	0,0	0,6	0,1
201	0,00	102,76	0,00	376	1	30	8	47	9	41	28	7,5	0,0	0,7	0,2
302	0,00	49,66	0,00	149	4	47	5	53	14	35	19	2,8	0,1	1,3	0,1

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°57. Resultados Microsimulación Escenario 4

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
1	1,84	433,91	4,63	607	3	49	11	83	24	67	56	7,4	0,0	0,7	0,2
2	1,84	109,87	2,71	607	3	49	11	90	29	83	69	6,9	0,0	0,6	0,1
3	0,20	117,91	2,71	607	3	49	11	90	30	83	69	6,9	0,0	0,6	0,1
4	0,75	118,98	2,71	606	3	49	11	89	30	83	69	6,9	0,0	0,6	0,1
5	2,02	66,00	2,71	606	3	49	11	89	30	83	69	7,0	0,0	0,6	0,1
6	1,03	128,98	2,83	606	3	49	11	88	29	83	69	7,0	0,0	0,6	0,1
7	2,01	88,84	2,83	606	3	49	11	88	29	83	68	7,0	0,0	0,6	0,1
8	2,36	339,24	2,83	605	3	49	11	87	30	83	68	7,1	0,0	0,6	0,1
9	5,31	92,00	2,83	605	3	49	11	87	29	82	68	7,1	0,0	0,6	0,1
10	0,94	94,09	2,83	605	3	49	11	86	29	82	68	7,1	0,0	0,6	0,1
11	0,00	115,02	2,83	605	3	49	11	86	30	82	67	7,1	0,0	0,6	0,1
12	0,00	183,69	2,83	604	3	49	11	86	30	82	68	7,2	0,0	0,6	0,1
13	3,85	80,76	2,83	604	3	49	11	85	29	82	67	7,2	0,0	0,6	0,1
14	1,61	109,69	2,83	604	3	49	11	85	30	82	68	7,2	0,0	0,6	0,1
15	0,00	71,20	2,83	604	3	49	11	85	30	82	68	7,2	0,0	0,6	0,1
16	2,46	234,89	2,81	603	3	49	11	85	30	82	67	7,2	0,0	0,6	0,1
17	2,49	232,09	2,81	603	3	49	11	84	30	82	66	7,2	0,0	0,6	0,1

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
18	2,48	107,51	0,73	602	3	49	11	84	30	81	66	7,3	0,0	0,6	0,1
19	0,94	569,96	0,73	602	3	49	12	84	29	81	66	7,3	0,0	0,6	0,1
20	2,34	152,18	3,05	601	3	49	11	83	29	81	66	7,3	0,0	0,6	0,1
21	1,93	138,22	3,05	601	3	49	12	83	28	80	66	7,3	0,0	0,6	0,1
22	2,78	176,13	0,52	601	3	49	12	83	29	80	67	7,3	0,0	0,6	0,1
23	2,89	107,51	0,52	601	3	49	12	83	28	80	67	7,4	0,0	0,6	0,1
24	1,90	234,04	0,52	600	3	49	12	83	28	80	67	7,4	0,0	0,6	0,1
25	2,44	164,04	0,52	600	3	49	12	82	28	80	66	7,4	0,0	0,6	0,1
26	1,69	367,87	2,35	599	3	49	12	82	27	80	67	7,4	0,0	0,6	0,1
27	2,30	192,93	1,90	599	3	49	12	82	28	80	68	7,4	0,0	0,6	0,1
28	1,51	206,00	1,03	599	3	49	12	82	27	80	68	7,4	0,0	0,6	0,1
29	3,40	143,64	1,03	598	3	49	12	83	27	80	68	7,2	0,0	0,6	0,1
101	-1,84	433,91	4,63	244	6	70	7	37	18	43	25	7,6	0,2	1,9	0,2
102	-1,84	109,87	2,71	244	6	70	7	82	36	80	49	3,0	0,1	0,9	0,1
103	-0,20	117,91	2,71	244	6	70	7	83	37	80	49	3,0	0,1	0,9	0,1
104	-0,75	118,98	2,71	244	6	70	7	83	37	81	49	3,0	0,1	0,9	0,1
105	-2,02	66,00	2,71	244	6	70	7	83	37	81	49	3,0	0,1	0,9	0,1
106	-1,03	128,98	2,83	244	6	70	7	83	37	81	49	3,0	0,1	0,9	0,1

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
107	-2,01	88,84	2,83	244	6	70	7	83	37	81	50	3,0	0,1	0,9	0,1
108	-2,36	339,24	2,83	244	6	70	7	83	37	81	49	3,0	0,1	0,9	0,1
109	-5,31	92,00	2,83	244	6	69	7	84	38	81	49	2,9	0,1	0,9	0,1
110	-0,94	94,09	2,83	244	6	69	7	84	39	81	49	2,9	0,1	0,9	0,1
111	0,00	115,02	2,83	244	6	69	7	84	39	81	50	2,9	0,1	0,9	0,1
112	0,00	183,69	2,83	244	6	69	7	84	39	81	49	2,9	0,1	0,9	0,1
113	-3,85	80,76	2,83	244	6	69	7	84	39	81	49	2,9	0,1	0,9	0,1
114	-1,61	109,69	2,83	244	6	69	7	84	39	81	49	2,9	0,1	0,9	0,1
115	0,00	71,20	2,83	244	6	69	7	85	39	81	49	2,9	0,1	0,9	0,1
116	-2,46	234,89	2,81	245	6	69	7	85	39	82	49	2,9	0,1	0,9	0,1
117	-2,49	232,09	2,81	245	6	69	7	85	38	82	49	2,9	0,1	0,9	0,1
118	-2,48	107,51	0,73	245	6	69	7	86	39	82	49	2,9	0,1	0,9	0,1
119	-0,94	569,96	0,73	245	6	69	7	86	38	82	49	2,9	0,1	0,8	0,1
120	-2,34	152,18	3,05	245	6	69	7	87	39	82	50	2,8	0,1	0,8	0,1
121	-1,93	138,22	3,05	245	6	69	7	88	39	82	50	2,8	0,1	0,8	0,1
122	-2,78	176,13	0,52	245	6	69	7	88	39	82	50	2,8	0,1	0,8	0,1
123	-2,89	107,51	0,52	245	6	69	7	89	39	82	51	2,8	0,1	0,8	0,1
124	-1,90	234,04	0,52	245	6	69	7	89	40	83	50	2,8	0,1	0,8	0,1

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
125	-2,44	164,04	0,52	245	6	69	7	90	40	83	50	2,7	0,1	0,8	0,1
126	-1,69	367,87	2,35	245	6	69	7	92	40	83	51	2,7	0,1	0,8	0,1
127	-2,30	192,93	1,90	245	6	69	7	93	40	83	50	2,7	0,1	0,8	0,1
128	-1,51	206,00	1,03	245	6	69	7	95	41	83	49	2,6	0,1	0,8	0,1
129	-3,40	143,64	1,03	245	6	69	7	96	40	83	48	2,6	0,1	0,8	0,1
201	0,00	102,76	0,00	608	3	49	11	45	12	40	32	12,9	0,1	1,1	0,3
302	0,00	49,66	0,00	244	6	70	7	53	17	35	22	4,6	0,2	2,0	0,2

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 58. Resultados Microsimulación Escenario 5

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
1	1,84	433,91	4,63	1036	4	85	19	79	29	67	61	13,3	0,1	1,3	0,3
2	1,84	109,87	2,71	1036	4	85	19	86	35	82	74	12,3	0,0	1,0	0,2
3	0,20	117,91	2,71	1035	4	85	19	86	35	82	75	12,3	0,0	1,0	0,2
4	0,75	118,98	2,71	1035	4	85	19	85	36	82	75	12,4	0,0	1,0	0,2
5	2,02	66,00	2,71	1035	4	85	19	85	35	82	75	12,4	0,0	1,0	0,2
6	1,03	128,98	2,83	1034	4	85	19	84	35	82	75	12,5	0,0	1,0	0,2
7	2,01	88,84	2,83	1034	4	85	19	84	35	82	75	12,5	0,0	1,0	0,2
8	2,36	339,24	2,83	1033	4	85	19	83	35	82	74	12,6	0,0	1,0	0,2
9	5,31	92,00	2,83	1032	4	85	19	83	34	81	74	12,7	0,0	1,1	0,2
10	0,94	94,09	2,83	1032	4	85	19	82	34	81	74	12,7	0,0	1,1	0,2
11	0,00	115,02	2,83	1031	4	85	19	82	35	81	73	12,7	0,0	1,1	0,2
12	0,00	183,69	2,83	1031	4	85	19	82	34	81	73	12,8	0,0	1,1	0,2
13	3,85	80,76	2,83	1030	4	85	19	82	34	81	73	12,8	0,0	1,1	0,2
14	1,61	109,69	2,83	1030	4	85	19	82	34	80	72	12,8	0,0	1,1	0,2
15	0,00	71,20	2,83	1030	4	85	19	81	34	80	72	12,9	0,0	1,1	0,2
16	2,46	234,89	2,81	1029	4	85	19	81	34	80	73	12,9	0,0	1,1	0,2
17	2,49	232,09	2,81	1028	4	85	19	81	33	80	73	12,9	0,0	1,1	0,2

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
18	2,48	107,51	0,73	1028	4	85	19	81	33	80	72	13,0	0,0	1,1	0,2
19	0,94	569,96	0,73	1026	4	85	19	80	33	79	71	13,0	0,0	1,1	0,2
20	2,34	152,18	3,05	1025	4	85	19	80	33	79	71	13,1	0,0	1,1	0,2
21	1,93	138,22	3,05	1025	4	85	19	79	32	79	72	13,1	0,0	1,1	0,2
22	2,78	176,13	0,52	1024	4	85	19	79	32	79	72	13,1	0,0	1,1	0,2
23	2,89	107,51	0,52	1023	4	85	19	79	32	79	71	13,1	0,0	1,1	0,2
24	1,90	234,04	0,52	1023	4	85	19	79	32	79	70	13,1	0,0	1,1	0,2
25	2,44	164,04	0,52	1022	4	85	19	79	31	78	70	13,1	0,0	1,1	0,2
26	1,69	367,87	2,35	1021	4	85	19	79	32	78	69	13,2	0,0	1,1	0,2
27	2,30	192,93	1,90	1021	4	85	19	78	30	78	68	13,2	0,0	1,1	0,2
28	1,51	206,00	1,03	1021	4	86	19	79	30	78	68	13,1	0,0	1,1	0,2
29	3,40	143,64	1,03	1020	4	86	19	81	31	79	69	12,6	0,0	1,1	0,2
101	-1,84	433,91	4,63	295	3	106	12	3	1	3	3	90,0	1,0	31,2	3,4
102	-1,84	109,87	2,71	303	3	105	12	7	3	7	6	90,0	1,0	29,6	3,2
103	-0,20	117,91	2,71	306	3	106	12	8	4	9	8	88,7	0,9	28,7	3,1
104	-0,75	118,98	2,71	309	3	106	12	10	6	10	9	87,7	0,9	27,6	2,9
105	-2,02	66,00	2,71	312	4	106	12	11	7	12	11	86,8	0,9	26,8	2,8
106	-1,03	128,98	2,83	314	4	107	12	13	7	13	12	85,5	0,9	26,0	2,7

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
107	-2,01	88,84	2,83	317	4	107	12	14	7	15	14	84,2	0,9	25,2	2,6
108	-2,36	339,24	2,83	320	4	107	12	16	7	16	15	78,9	1,0	23,1	2,1
109	-5,31	92,00	2,83	329	4	108	12	26	8	26	24	71,2	1,0	20,1	1,5
110	-0,94	94,09	2,83	331	4	109	12	28	10	28	26	69,2	0,9	19,2	1,4
111	0,00	115,02	2,83	334	4	109	12	30	11	30	28	67,0	0,9	18,3	1,4
112	0,00	183,69	2,83	336	4	109	12	33	13	33	29	64,5	0,9	17,2	1,3
113	-3,85	80,76	2,83	341	4	110	12	35	15	35	31	62,5	0,8	16,2	1,3
114	-1,61	109,69	2,83	343	4	110	12	36	15	36	31	61,8	0,9	15,7	1,3
115	0,00	71,20	2,83	346	5	110	12	37	15	37	33	61,0	1,0	15,3	1,3
116	-2,46	234,89	2,81	347	5	111	12	38	15	38	33	59,1	1,1	14,5	1,3
117	-2,49	232,09	2,81	352	5	112	12	40	16	40	35	56,4	1,3	13,4	1,2
118	-2,48	107,51	0,73	358	6	112	12	42	16	42	36	54,8	1,4	12,6	1,2
119	-0,94	569,96	0,73	360	6	112	12	44	17	44	38	51,2	1,6	11,2	1,0
120	-2,34	152,18	3,05	372	8	115	12	49	20	48	43	47,7	1,9	9,7	0,8
121	-1,93	138,22	3,05	375	8	115	12	51	21	50	45	46,0	1,9	8,9	0,8
122	-2,78	176,13	0,52	378	8	116	12	53	22	52	47	42,9	2,0	8,1	0,7
123	-2,89	107,51	0,52	382	9	116	12	56	24	54	49	40,4	2,1	7,3	0,7
124	-1,90	234,04	0,52	384	9	117	12	59	25	56	50	37,1	2,1	6,5	0,6

Sección	Pendiente (%)	Distancia (mts)	Curvatura	Flujo Promedio 4 replicaciones (veh/hr)				Velocidad Promedio 4 replicaciones (Km/hr)				Densidad Promedio 4 replicaciones (veh/Km)			
				Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado	Veh. Liv.	Bus	Cam. Simple	Cam. Pesado
125	-2,44	164,04	0,52	390	10	117	12	62	27	60	53	34,0	2,1	5,9	0,6
126	-1,69	367,87	2,35	395	10	118	12	66	29	62	54	29,9	2,0	5,3	0,5
127	-2,30	192,93	1,90	405	10	119	12	71	33	66	57	26,0	1,9	4,8	0,4
128	-1,51	206,00	1,03	410	10	120	12	75	35	68	58	22,7	1,5	4,2	0,3
129	-3,40	143,64	1,03	415	10	120	12	81	38	71	61	20,2	1,1	3,9	0,3
201	0,00	102,76	0,00	1038	4	85	19	40	14	37	31	25,7	0,1	2,1	0,5
302	0,00	49,66	0,00	295	3	106	12	53	15	35	30	5,5	0,1	3,0	0,3

Fuente: Elaboración propia

19.3. Anexo 3: Contenido del Anexo Digital.

Tabla N° 59. Contenido del Anexo Digital.

Archivo	Ubicación	Contenido
Anexo Resumen Microsimulación Aimsun Cuesta La Dormida	Anexo Flujos y Velocidad Vías Interurbanas/ Microsimulación La Dormida	Simulación de Escenarios para Microsimulación de Cuesta La Dormida. Fuente: Elaboración Propia.
Hitos Recorrido Cuesta La Dormida	Anexo Flujos y Velocidad Vías Interurbanas/ Medición La Dormida	Waypoints recorrido Cuesta La Dormida. Fuente: Elaboración Propia.
Plaza de Peaje Lampa 31-10-12	Anexo Flujos y Velocidad Vías Interurbanas/ Datos de Tráfico Fuentes Secundarias	Flujo para Plaza de Peaje Lampa 31 de Octubre del 2012. Fuente: Coordinación de Concesiones.
Tráfico Túnel El Melón 31-10-12	Anexo Flujos y Velocidad Vías Interurbanas/ Datos de Tráfico Fuentes Secundarias	Flujo para Plaza Troncal El Melón 31 de Octubre del 2012. Fuente: Coordinación de Concesiones.
Flujos Censo de Vialidad Punto 321 flujos día 28-10-2011	Anexo Flujos y Velocidad Vías Interurbanas/ Datos de Tráfico Fuentes Secundarias	Reporte de Pasadas Equipo 321 28-10-2011. Fuente: Dirección de Vialidad.
Resumen Velocidades La Dormida	Anexo Flujos y Velocidad Vías Interurbanas/ Registro de Velocidades	Serie de datos captada con equipo móvil 31-10-2012. Fuente: Elaboración Propia.
Resumen Velocidades – Ruta 5 N	Anexo Flujos y Velocidad Vías Interurbanas/ Registro de Velocidades	Serie de datos captada con equipo móvil 31-10-2012. Fuente: Elaboración Propia.
Resumen Velocidades_El Melón	Anexo Flujos y Velocidad Vías Interurbanas/ Registro de Velocidades	Serie de datos captada con equipo móvil 31-10-2012. Fuente: Elaboración Propia.
Terreno El Melón	Anexo Flujos y Velocidad Vías Interurbanas/ Registro de Velocidades	Serie de Archivos con registros obtenidos con GPS para recorridos con equipo móvil. Fuente: Elaboración Propia.
Terreno La Dormida	Anexo Flujos y Velocidad Vías Interurbanas/ Registro de	Serie de Archivos con registros obtenidos con GPS para

	Velocidades	recorridos con equipo móvil. Fuente: Elaboración Propia.
Terreno Ruta 5 N	Anexo Flujos y Velocidad Vías Interurbanas/ Registro de Velocidades	Serie de Archivos con registros obtenidos con GPS para recorridos con equipo móvil. Fuente: Elaboración Propia.
Flujos Mediciones Til Til_Las Chilcas y El Melón	Anexo Flujos y Velocidad Vías Interurbanas/ Mediciones	Registro de datos de flujo de tránsito en punto de control día 31 de Octubre del 2012. Fuente: Elaboración Propia.
Detalle Flujo Veh por Tramo Oriente/Poniente_Mes_Año	Anexos Flujos y Velocidad Autopistas Urbanas Parte 1/Vesp Norte y Anexos Flujos y Velocidad Autopistas Urbanas Parte 2/VN	Registro para Concesión Vespucio Norte de Flujos y Velocidad en meses Febrero, Abril, Julio y Septiembre del 2011 y 2012. Fuente: Coordinación de Concesiones.
Datos de Tráfico_Tramo_Integración x 15 minutos_Sentido O-P/P-O Mes de Año	Anexos Flujos y Velocidad Autopistas Urbanas Parte 1/Costanera y Anexos Flujos y Velocidad Autopistas Urbanas Parte 2/CN	Registro para Concesión Vespucio Norte de Flujos y Velocidad en meses Febrero, Abril, Julio y Septiembre del 2011 y 2012. Fuente: Coordinación de Concesiones.
Velocidad_del_tramo_tarifario_Mes_Año	Anexos Flujos y Velocidad Autopistas Urbanas Parte 1/Central y Anexos Flujos y Velocidad Autopistas Urbanas Parte 2/AC	Registro de Velocidad para Febrero, Abril, Julio y Septiembre del 2011 y 2012 de Concesión Autopista Central. Fuente: Coordinación de Concesiones.
Flujo_Vehicular_Mes_Año	Anexos Flujos y Velocidad Autopistas Urbanas Parte 1/Central y Anexos Flujos y Velocidad Autopistas Urbanas Parte 2/AC	Registro de Tráfico para Febrero, Abril, Julio y Septiembre del 2011 y 2012 de Concesión Autopista Central. Fuente: Coordinación de Concesiones.
Inf_Traf Mes Año revA fecha	Anexos Flujos y Velocidad Autopistas Urbanas Parte 1/Vesp Sur y y Anexos Flujos y Velocidad Autopistas Urbanas Parte 2/VS	Registro para Concesión Vespucio Sur de Flujos y Velocidad en meses Febrero, Abril, Julio del 2011 y 2012. Fuente: Coordinación de Concesiones.
3ª Pista Prueba CRITAM Modelo 2013	CRITAM	Planilla Revisada del CRITAM. Fuente: Dirección de Vialidad,

		Ministerio de Obras Públicas
CRITAM Metodología	CRITAM	Modelo de Evaluaciones Simplificadas de Ampliación en Vías Interurbanas CRITAM 2.0 Fuente: Dirección de Vialidad Ministerio de Obras Públicas.

Fuente: Elaboración propia.

19.4. Anexo 4: Acta Reunión 23 de Octubre del 2012.

19.4.1. Participantes

N°	Nombre	Cargo – Institución
1	Cristóbal Ogaz	Inspector Fiscal del Contrato
2	Alejandro Rivas	Analista de Inversiones Ministerio de Desarrollo Social
3	Etel Irene Guzmán	Asesor Estudios DGOP
4	Erik Haindl	Jefe División de Estudios, DGOP
5	Juan Alberto González	Jefe de Estudios, DGOP
6	Marcos Rivera O.	Profesional Departamento de Estudios, MDS
7	Javier Auszenker	Analista Metodologías, MDS
8	Fernando Britos	Jefe de Metodologías, MDS
9	Silvia Montevilla	Jefe Departamento de Estudios, MDS
7	Daniel Arancibia	Jefe de Proyecto
8	Javier Velásquez	Equipo Consultor
9	Federico Casanello	Equipo Consultor
10	Carlos Sanhueza	Equipo Consultor

19.4.2. Temas Tratados

- Presentación del Mandante y el Equipo Consultor.
- Definición de los objetivos de la Consultoría.
- Presentación y Validación de la Metodología.
- Presentación de la Carta Gantt.
- Alcances Finales.


19.4.3. Observaciones

- Presentación del Mandante y Equipo Consultor. Se indica que el Inspector Fiscal del contrato será Cristóbal Ogaz y que será un trabajo conjunto del Ministerio de Desarrollo Social y la Dirección General de Obras Públicas.
- Se define que la finalidad del estudio es disponer de parámetros revisados para las curvas flujo velocidad.
- Respecto a las fuentes secundarias, el mandante informa que para ello se ha tomado contacto con Vialidad y Concesiones para la entrega de información. Las otras fuentes a entregar por el mandante serán datos de SECTRA, Censo de Vialidad Interurbana, Series de Concesionarias Urbanas e Interurbanas, Programa Nacional de Censos, Medición de Redes de Tránsito, Mediciones Ex Post y datos presentados en proyectos de transporte al Ministerio de Desarrollo Social.
- Se establece que el plazo de inicio del contrato debe aún ser formalizado, pero se solicita que se inicie las actividades a partir de la presente reunión.
- Respecto a la actividad de medición en terreno a realizarse entre el 31 de Octubre y 1 de Noviembre, la contraparte estima que es apropiado para la estimación de puntos extremos de la curva.
- Respecto a las encuestas, esto tiene carácter sólo voluntario en la medida que pueda aportar a la estimación de las curvas, pero no es requerimiento del mandante al equipo consultor.

- El Mandante realiza una aclaración respecto a las curvas flujo - costo, lo cual no se encontraba especificado con precisión en las bases. En particular se señaló que el Consultor debía analizar los estudios actuales y entregar recomendaciones respecto a la utilización de curvas costo por consumo de combustible - velocidad. En ese aspecto, se sugiere tomar como referencia lo presentado en el HDM-Simplificado para evaluación del equipo consultor. Se espera que el trabajo también incorpore relaciones de costos generalizados de viaje y velocidad para el grupo de vehículos representativo del parque automotor actual, permitiendo establecer las correspondientes curvas de CGV – velocidad.
- Respecto a las tipologías, se pide distinguir entre caso urbano e interurbano. En el caso de las vías urbanas, la preferencia está en aquellas bajo tuición del Ministerio de Obras Públicas y vías de acceso a ciudades y puertos. En tanto el caso urbano debe verificarse que no estén afectas a opciones de reasignación de flujo.
- Respecto a la visita a una experiencia en Latinoamérica, el equipo consultor propone que sea a Brasil. El mandante, por su parte, propone que el representante de la contraparte sea un(a) profesional del Ministerio de Desarrollo Social. Se plantea como alternativa a Brasil, evaluar también Colombia, dado las aplicaciones del Manual de Carreteras en dicho país. La participación de los profesionales de MDS queda sujeta al programa de trabajo del viaje (a ser entregado por el consultor) y a la disponibilidad de recursos financieros públicos para financiar los pasajes y viáticos correspondientes.
- Respecto al tema de accidentabilidad, la idea del mandante era ver la relación con y sin proyecto, dado el efecto de Flujo Velocidad. Se acuerda que lo requerido es que, a partir de la construcción de las curvas flujo – velocidad, se hagan recomendaciones por parte de la consultoría a la aplicación vigente del concepto accidentabilidad reportada en la metodología de evaluación de accidentes, actualmente vigente en el Sistema Nacional de Inversiones.
- Respecto a la microsimulación, se presenta un ejemplo por parte del equipo consultor, el cual es apreciado como aporte al estudio por parte del mandante. Respecto a la aplicación del CRITAM, se acuerda que esta aplicación será entregada por la Inspección Fiscal al equipo consultor.
- Finalmente se termina la reunión, habiéndose acordado la aprobación a la propuesta metodológica inicial y la Carta Gantt, de manera de iniciar el trabajo de la Consultoría.

19.4.4. Lista de Asistencia

GÉNERO (M/F)	NOMBRE	CARGO	INSTITUCIÓN	E-MAIL	FONO	FIRMA
M	CRISTÓBAL OGAZ	INGENIERO ESTUDIOS DGOP	MOP	cristobal.ogaz@mop.gov.cl	4493948	
M	Alejandro Rivas	ANALISTA DE INVERSIONES M. DES. SOCIAL	MDS	arivas@desarrollosocial.cl	6751695	
F	Etel Irene Guzmán	Asesor Estudios DGOP/MOP	MOP	etel.guzman@mop.gov.cl	4495115	
M	Erik Haindl	Jefe. división Estudios DGOP	DGOP	erik.haindl@mop.gov.cl	-	-
M	Juan Alberto González	Jefe Estudios DGOP	MOP	juan.gonzalez@mop.gov.cl	4493932	
M	Marcos Rivero	Profesional Depto. Estudios	MDS	marcos.rivero@mideplan.cl	6751788	
M	JAVIER AUSZENHER	ANALISTA METODOLOGÍAS	MDS	JAVUZENHER@MIDPLAN.CL	6751657	

M	FORTAS	Jefe Metod.	MDS	fortas@desarrollosocial.cl	675-1686	
F	Silvia Montevilla	Jefe Dp. Estudios	MDS	smontevilla@desarrollosocial.cl	675-1675	
M	Federico Casanello			fcasanel@ingeniar.cl		
M	Javier V.	Jr.		javier.velasquez@Aen.cl		
M	Daniel A.			daniel.arauco@Aen.cl		
M	Carlos Sahuera			Carlos.sahuera@project.cl		

19.5. Anexo 5: Actas Reuniones realizadas en Brasilia

19.5.1. Reunión con Director de Concesiones del Ministerio de Transportes de Brasil

19.5.1.1. Participantes

N°	Nombre	Cargo – Institución
1	Dino Antunes Dias Batista	Director Departamento de Concesiones, Secretaría de Fomento para Acciones de Transporte, Ministerio de Transportes
2	Daniel Arancibia	Jefe de Proyecto Construcción Curvas Flujo – Velocidad
3	Federico Casanello	Especialista en Investigación Proyecto Construcción Curvas Flujo - Velocidad
4	Carlos Sanhueza	Coordinador Proyecto Construcción Curvas Flujo - Velocidad

19.5.1.2. Temas Tratados

- Proyecciones de Concesiones en Brasil para los próximos años.
- Criterios de decisión para la selección de obras de ampliación.
- Metodologías de medición de tráfico y velocidad en obras de transporte de Brasil.
- Modelos utilizados para tráfico y velocidad en Brasil.
- Presencia de encuestas de satisfacción por nivel de servicio.
- Metodología de actualización de la información flujo – velocidad.

19.5.1.3. Observaciones

- Dino Antunes informa que Brasil tiene un programa intenso de Concesiones para el corto plazo, para el cual ya se han desarrollado los estudios. Así mismo, se encuentra en proceso de preparar un plan para las concesiones a futuro.
- El modelo funciona sobre la base de cobro de tarifa por uso, el cual se encuentra en proceso de modificación de manera de disponer de un nuevo valor tope. El plan considera 7.500 kilómetros de vías a concesionar.
- Se establece como tarifa tope actual el de 6 centavos de real por kilómetro.
- Respecto al tema de ampliación de capacidad, el modelo de Brasil es muy particular ya que se fija en el contrato un nivel de tránsito, que actúa como gatillo, tras el cual corresponde realizar la ampliación.
- Este sistema establece y predefine en los contratos un volumen objetivo de tráfico que define la ampliación a segunda vía. Estos procesos se construyen a partir de un Plan Nacional de Logística y Transporte (PNLT) que define dos tipos de vías a ampliar: aquellas con fines logísticas y aquellas para transporte interurbano.
- El punto de gatillo establece el momento de duplicación de la capacidad de la vía. Para ello se simula previamente, a través del uso de curvas flujo - velocidad, el nivel de tráfico que justifica la ampliación. Para obtener estos datos se realizaron mediciones en 130 puntos de control estratégico para identificar dichos niveles.
- Dentro de las concesiones, además, se exige disponer de sistemas de control inteligente de tráfico, los cuales reportan los datos de tránsito y velocidad, directamente a la unidad de Concesiones, de manera de monitorear en forma permanente estos datos y, de esa manera, las ampliaciones se realizan bajo criterios objetivos.
- Para la definición de estos puntos de gatillo se utilizan las curvas flujo – velocidad. Además se definen estos puntos de gatillo por tramos de vías y ampliaciones a terceras pistas.
- Las concesiones se planifican a un plazo de 25 años, considerando el tráfico de gatillo como un VPME Equivalente, lo que sería el TMDA de Chile. El valor es anual y media móvil.
- Se realizar encuestas de satisfacción para determinar la opinión de la comunidad sobre las vías, las cuales han tenido resultados positivos.

- Sobre la accidentabilidad se comenta que, si bien no existe una relación directa en sus estudios, se han realizado regresiones entre tráfico y accidentes que señalan una potencial relación, por lo cual, en los contratos de concesión se ha establecido incentivos para la reducción del número de accidentes de tráfico en las vías concesionadas.
- El cambio por nivel de tráfico permite cobrar un monto distinto de la concesión, pero se requiere mantener la tarifa máxima, por lo que la diferencia es cubierta por el sector público.
- Las concesiones en Brasil se evalúan a valor de mercado, para revisar si es atractivo para el sector financiero y privado participar en ellas. No se usa la tasa de descuento social para evaluar los proyectos de concesión.



Gobierno de Chile
Ministerio de Obras Públicas / Ministerio de Desarrollo Social
Consultores en Infraestructura, Gestión y Territorio Limitada



19.5.1.4.

Lista de Asistencia

GÉNERO (M/F)	NOMBRE	CARGO	INSTITUCIÓN	E-MAIL	FONO	FIRMA
M	Dino Batista	DIRETOR	Min. TRANSPORTES	dino.batista@transportes.gov.cl	+55 61 2029 7739	
M	Daniel Aranda	CONSULTOR	QProject	daniel.aranda@aqn.cl	56222770657	
M	Carlos Sanchez	CONSULTOR	QProject	carlos.sanchez@qproject.cl	94486363	



Gobierno de Chile
Ministerio de Obras Públicas / Ministerio de Desarrollo Social
Consultores en Infraestructura, Gestión y Territorio Limitada



19.5.2. Reunión con Superintendente de Exploración de Infraestructura Rodoviaria de Brasil

19.5.2.1. Participantes

N°	Nombre	Cargo – Institución
1	Viviane Esse	Superintendente de Exploración de Infraestructura Rodoviaria, SUINF, Agencia Nacional de Transportes Terrestres
2	Érico Reis Guzen	Gerente de Regulación y Otorgación de Rodovías
3	Marcelo Saintive	Director Estructuradora Brasileña de Proyectos (EBP)
4	Daniel Arancibia	Jefe de Proyecto Construcción Curvas Flujo – Velocidad
5	Federico Casanello	Especialista en Investigación Proyecto Construcción Curvas Flujo - Velocidad
6	Carlos Sanhueza	Coordinador Proyecto Construcción Curvas Flujo - Velocidad

19.5.2.2. Temas Tratados





- Proyecciones de Vialidad en Brasil para los próximos años.
- Criterios de decisión para la selección de obras de ampliación.
- Metodologías de medición de tráfico y velocidad en obras de transporte de Brasil.
- Modelos utilizados para tráfico y velocidad en Brasil.
- Presencia de encuestas de satisfacción por nivel de servicio.
- Metodología de actualización de la información flujo – velocidad.

19.5.2.3. Observaciones

- Viviane Esse comienza la reunión explicando la historia de la Agencia Nacional de Transporte Terrestre (ANTT), la cual comienza sus operaciones en 1995, para en el año 1997 incorporar obras concesionadas. Actualmente desarrolla las licitaciones de las principales obras de transporte públicas del país.
- Para el 17 de Enero del 2013 corresponde el siguiente ciclo de licitaciones, las cuales requieren primero de un análisis de viabilidad, que se encuentra en desarrollo por la Estructuradora Brasileña de Proyectos (EBP).
- El Plan vigente de Concesiones es realizar la duplicación del 100% de las vías públicas interurbanas. El primer grupo de ellas corresponde a las llamadas estratégicas; las cuales forman circuitos interestatales o internacionales; posteriormente se desarrolla un segundo grupo correspondiente a aquellas con fines turísticos.
- Para ejecutar este plan de inversiones, se ha definido realizar segmentaciones o segregaciones de las vías en tramos, de manera de adelantar las obras en aquellos puntos con mayor tráfico.
- Producto de la ejecución de este plan, ha habido una progresiva reducción de la tasa de retorno social exigida para las obras públicas.
- Se realizan periódicamente encuestas para analizar el nivel de servicio prestado, el cual ha entregado resultados positivos. Además se realizan auditorías sobre las mediciones de tráfico y controles en las plazas de peaje.
- En el modelo brasileño se permite el cobro a partir del 10% de avance de la construcción total. El plan brasileño considera ejecutar todas las obras en un plazo de 5 años, lo cual, dado su complejidad, ha llevado a la generación de agencias para la ejecución de los estudios y la construcción de las obras.
- Se usan modelaciones para determinar los niveles de tráfico esperados. Además se determina en las concesiones un grupo de obras obligatorias, y otras no obligatorias, y se realiza fiscalización permanente.
- Respecto a los accidentes, estos se evalúan desde la perspectiva de los puntos críticos, no por modelación. Estos puntos críticos corresponden a aquellos identificados de acuerdo al trazado de las vías, velocidad de circulación, y escenarios específicos como el Carnaval.

- Por lo anterior se va a realizar una consultoría para evaluar la relación de la accidentabilidad con el tráfico y velocidad, entre los meses de Febrero y Marzo, para ello se propone usar el modelo flujo – gravedad.
- Para la determinación de los flujos proyectos y la capacidad, se usa el modelo flujo – velocidad. Si se alcanza el nivel esperado, un año después debe iniciarse la construcción de la obra de ampliación definida.
- Para evaluar estos proyectos, se utiliza fundamentalmente el criterio económico, pero se revisan elementos de factibilidad de ejecución, aunque estos han sido la principal causa de problemas en la ejecución de las obras.
- El modelo utilizado es el Highway Capacity Manual (HCM), ya que se privilegia el uso de un manual único, de simple comprensión, que entregue parámetros objetivos.
- Respecto a los estudios de demanda, también se ha buscado simplificarlos. Se utilizan datos de tráfico y encuestas de preferencias declaradas; además de proyecciones del PIB nacional y por estado.
- Se usa el modelo de gerenciamiento de proyectos de infraestructura, con el fin de lograr reducir plazos, dado los tiempos programados para el desarrollo de las obras. Existe una corporación dedicada al desarrollo de estudios y otra encargada de la construcción de las obras.

19.5.2.4. Lista de Asistencia

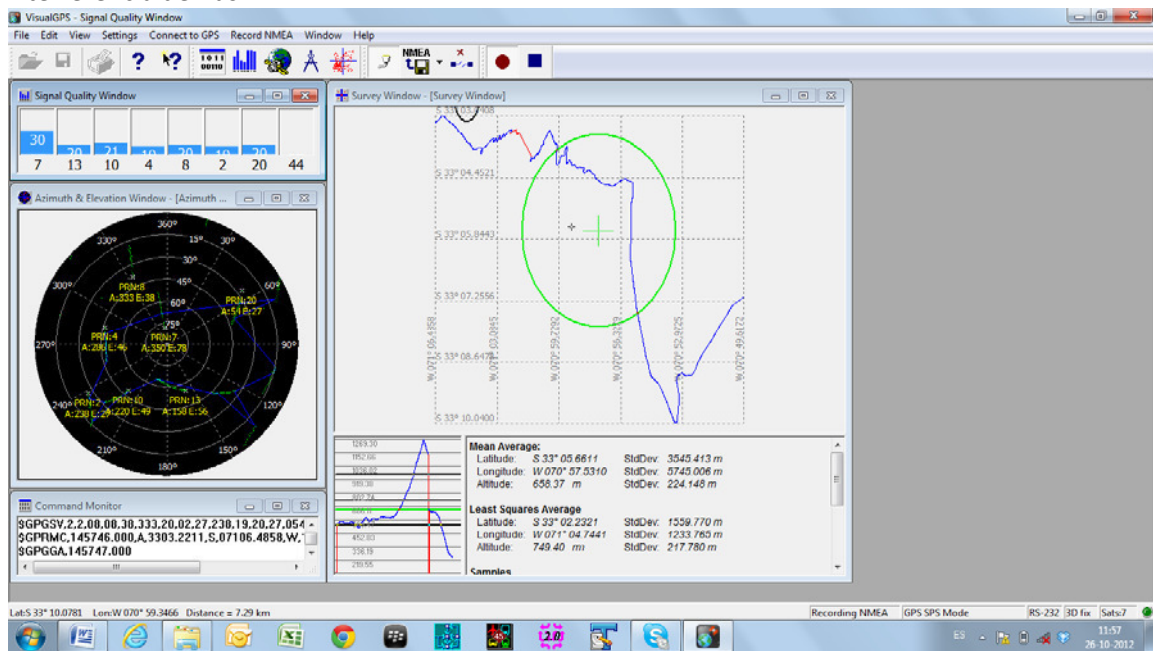
GÉNERO (M/F)	NOMBRE	CARGO	INSTITUCIÓN	E-MAIL	FONO	FIRMA
M	UIUIANE ESSE	SUINF / ANTT	ANNT	UIUIANG.ESS@ ANNT.GOV.BR	55-61 3410- 1770	
H	ÉRICO ROIS GUZEN	GERENTE DE REGULACIÓN E AUTORGA DE RODOVIAS	ANNT	ERICO.GUZEN@ ANNT.GOV.BR	+55-61- 3410-1728	
H	MARCELO SANTIVO	DIR DIRECTOR	EBP	scuintive@ebp.com	(5521) 22776258	
M	Carlos Salmesa.	Consultor	Q Project	carlos.salmesa @project.cl	94486363	



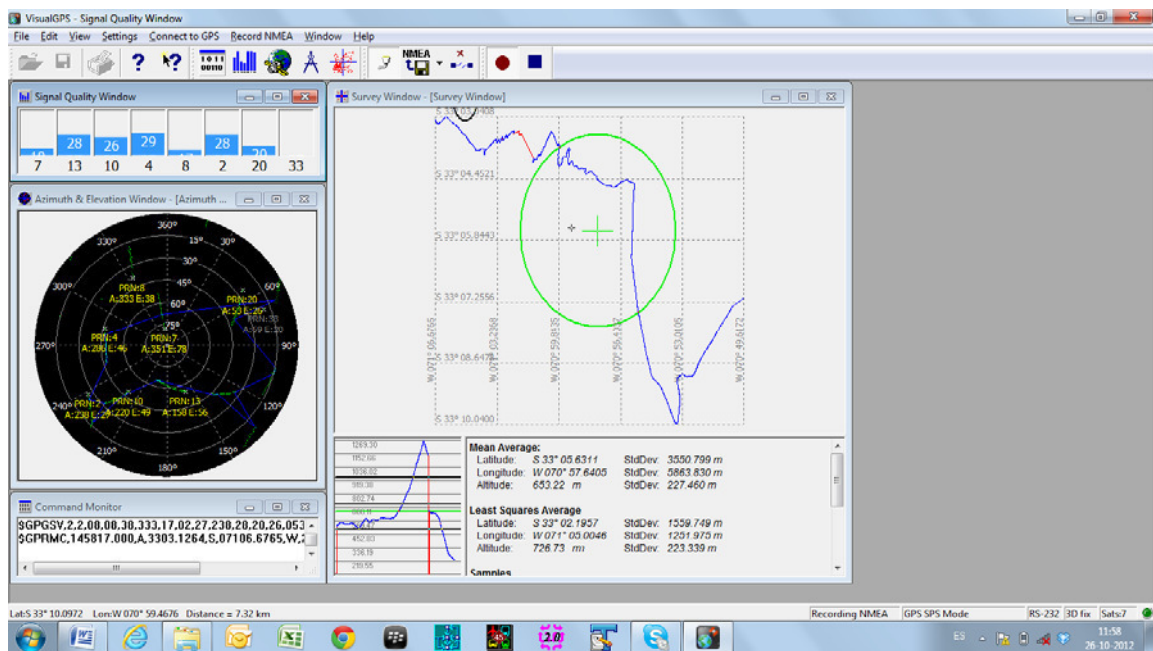
Gobierno de Chile
Ministerio de Obras Públicas / Ministerio de Desarrollo Social
Consultores en Infraestructura, Gestión y Territorio Limitada



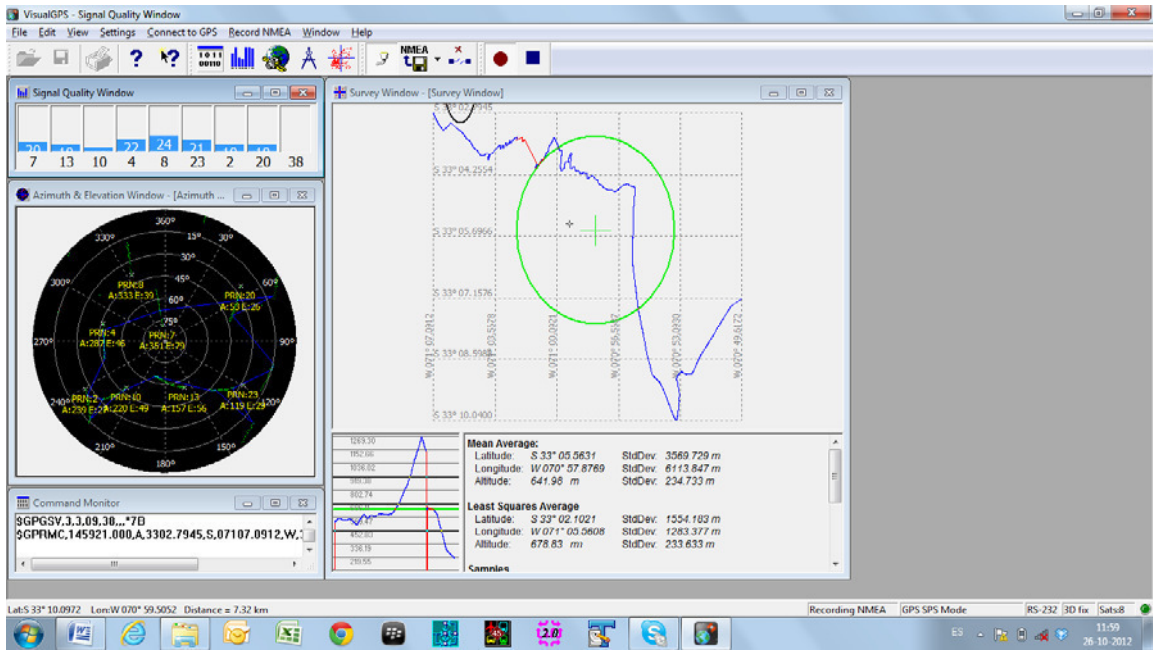
Interferencia de Bus



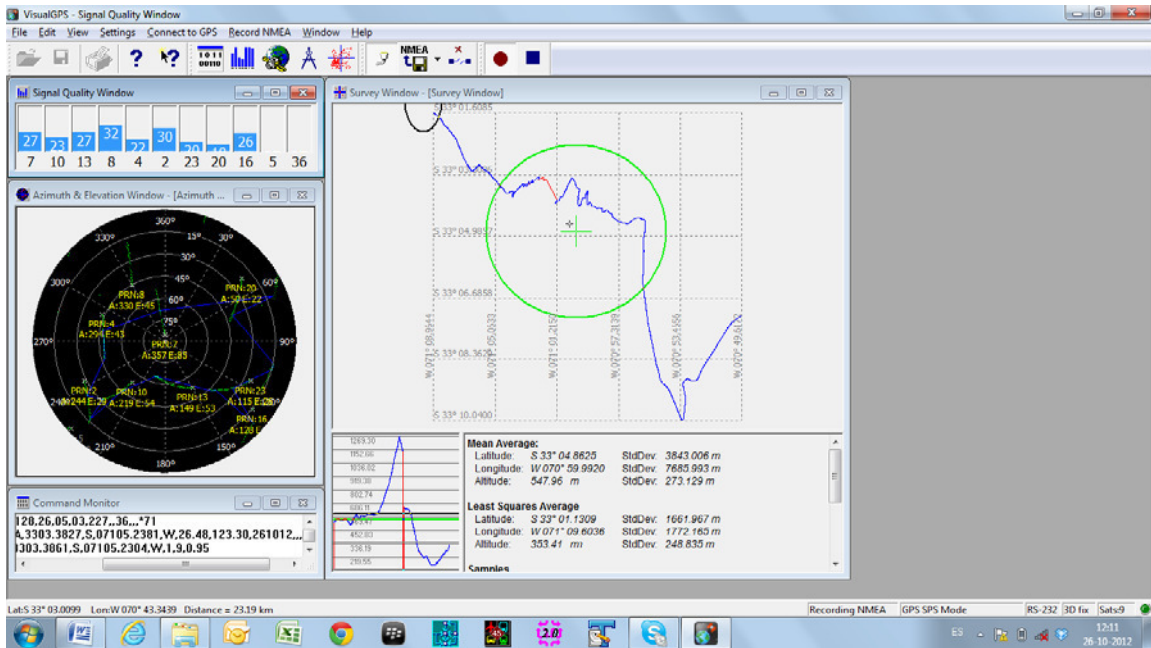
Fricción Lateral Zona Urbana



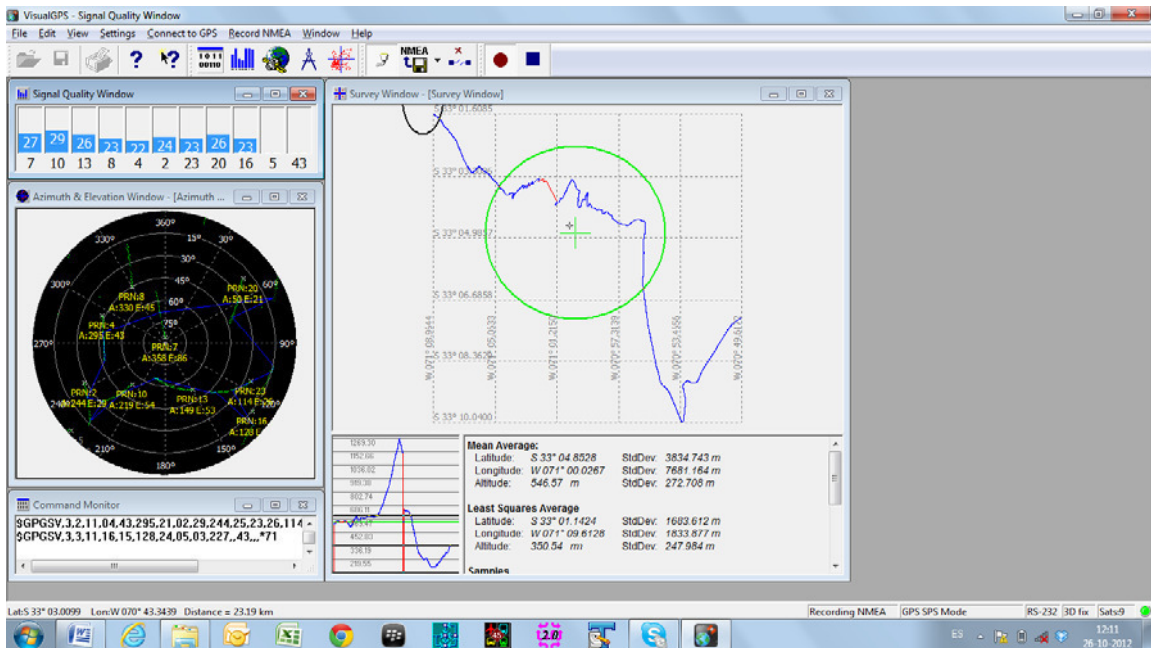
Fin zona Urbana



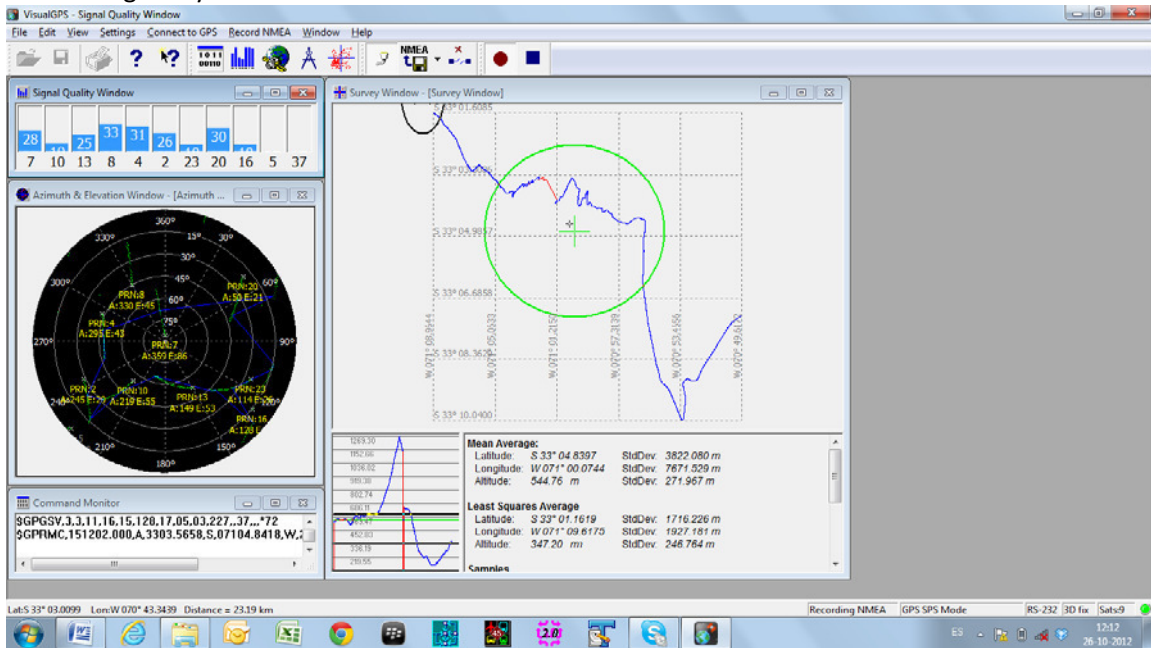
Paso Peatonal



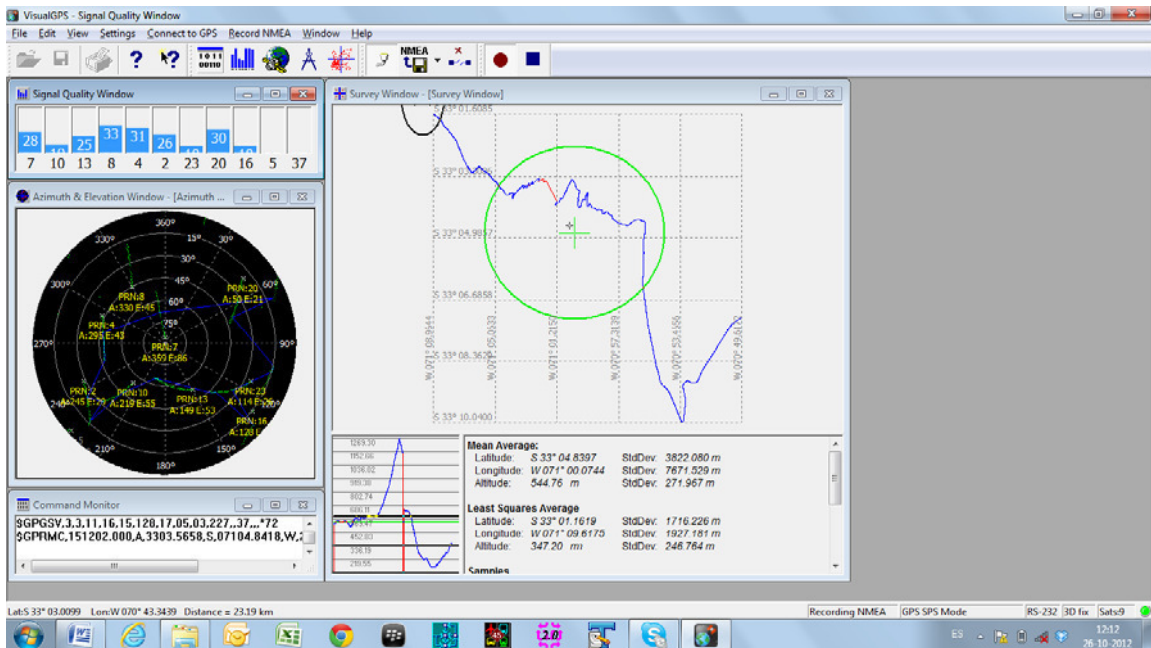
Paso Peatonal



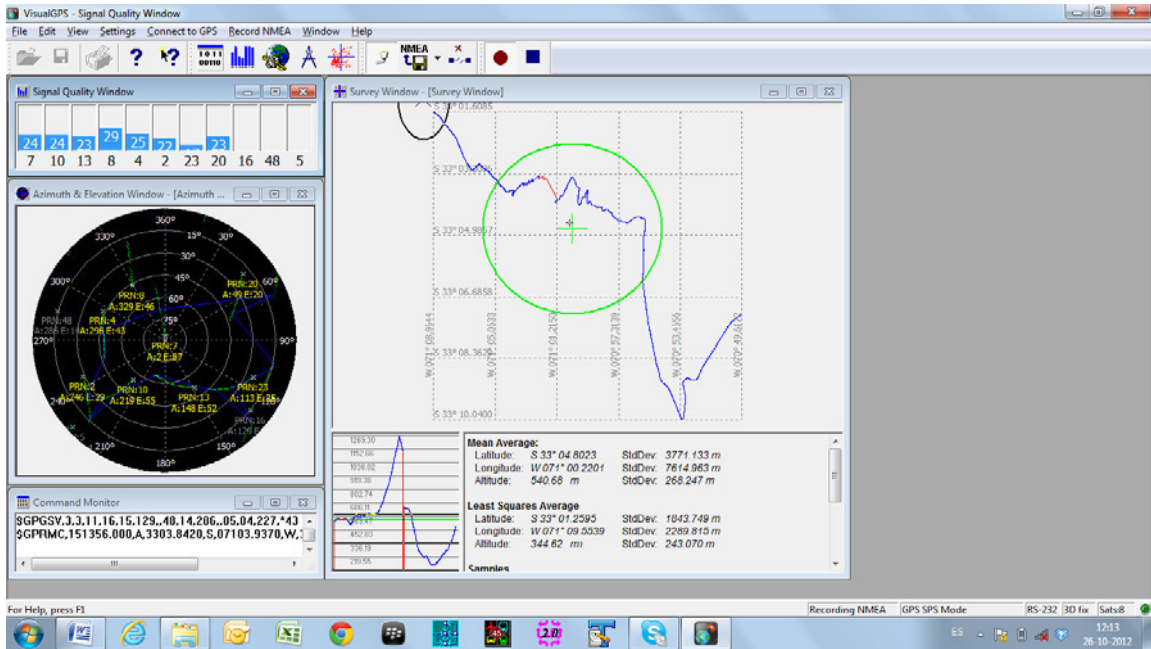
Puente Angosto y Fricción Lateral



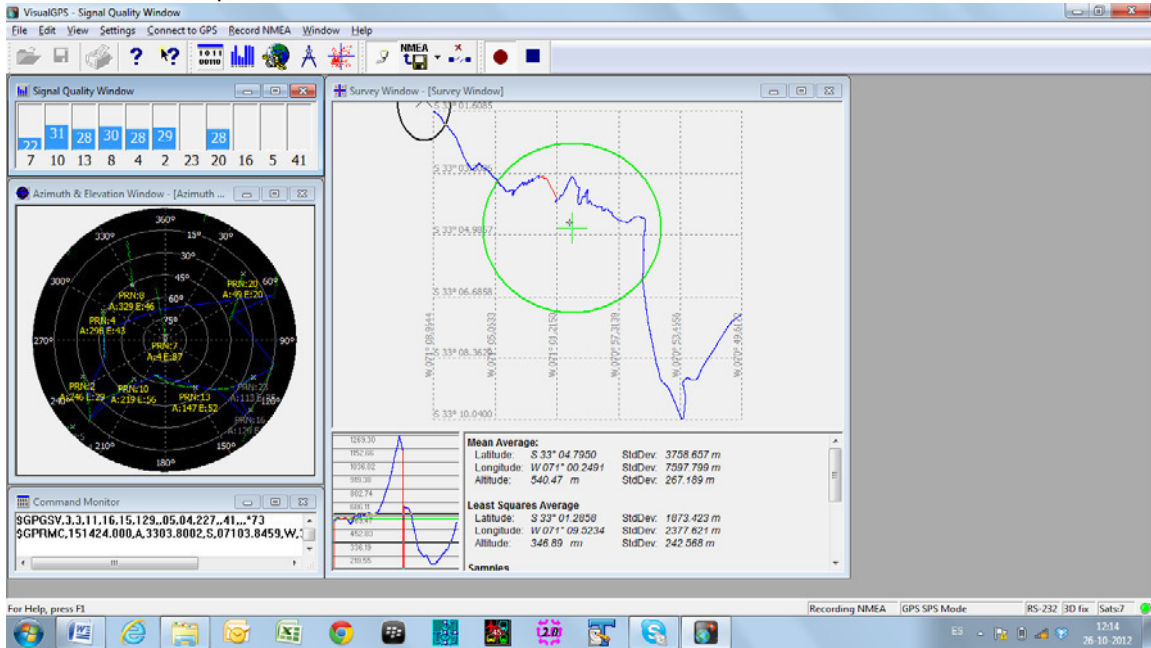
Comienzo de Curvas



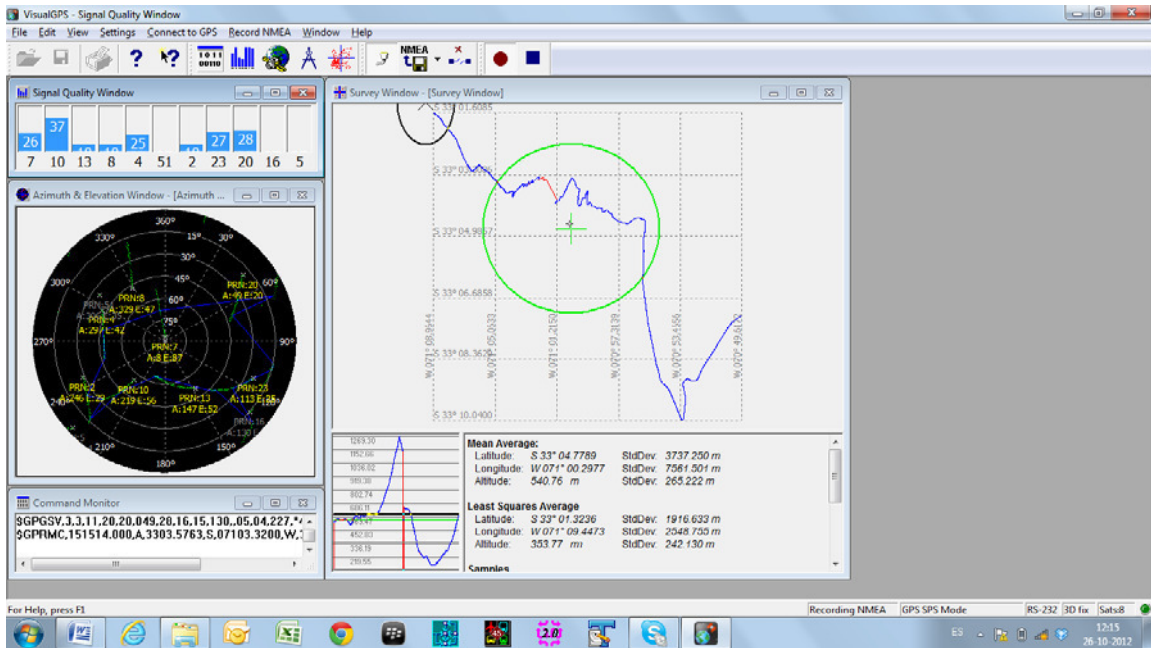
Escuela



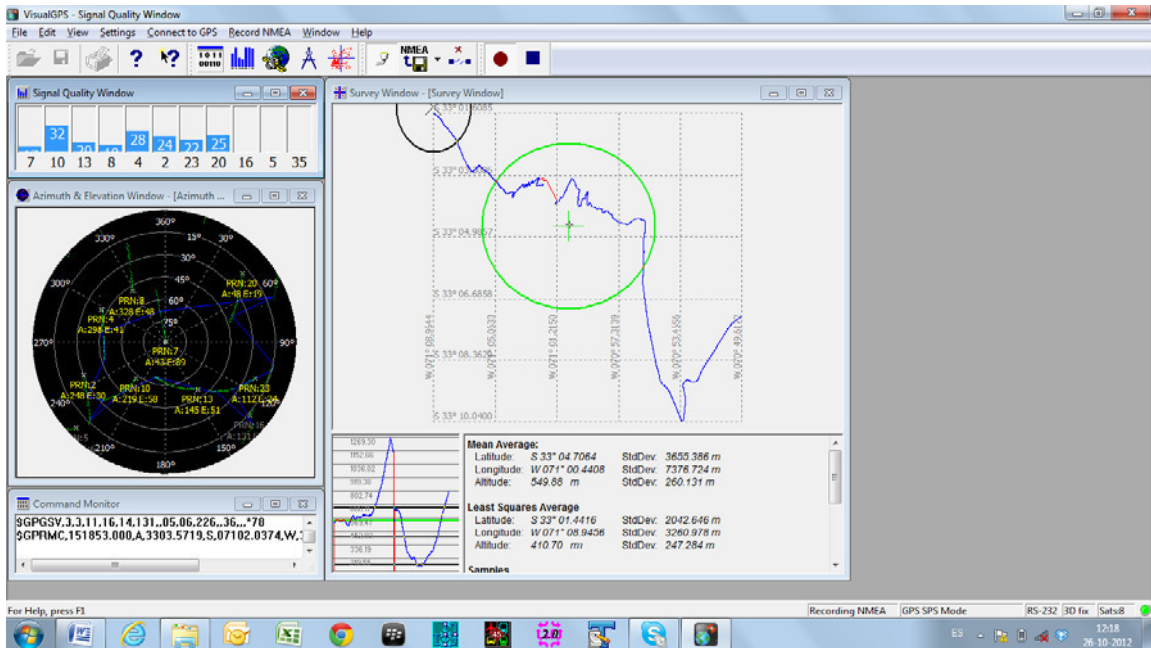
70 Km/hr máxima permitida



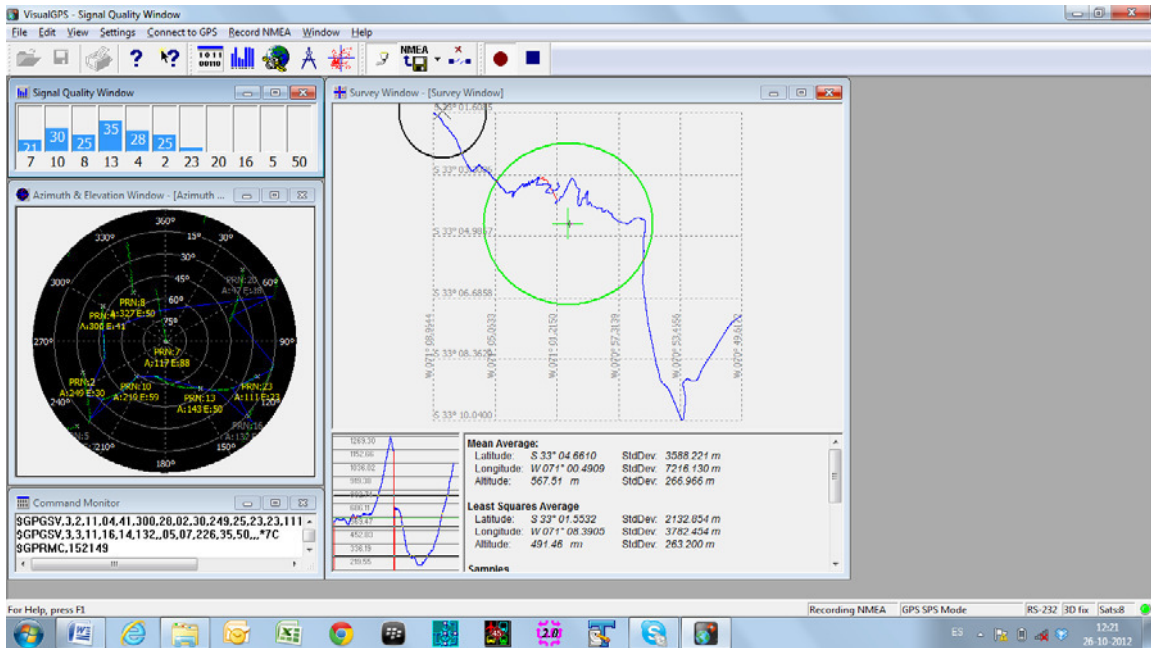
Comienzo Pista Lenta



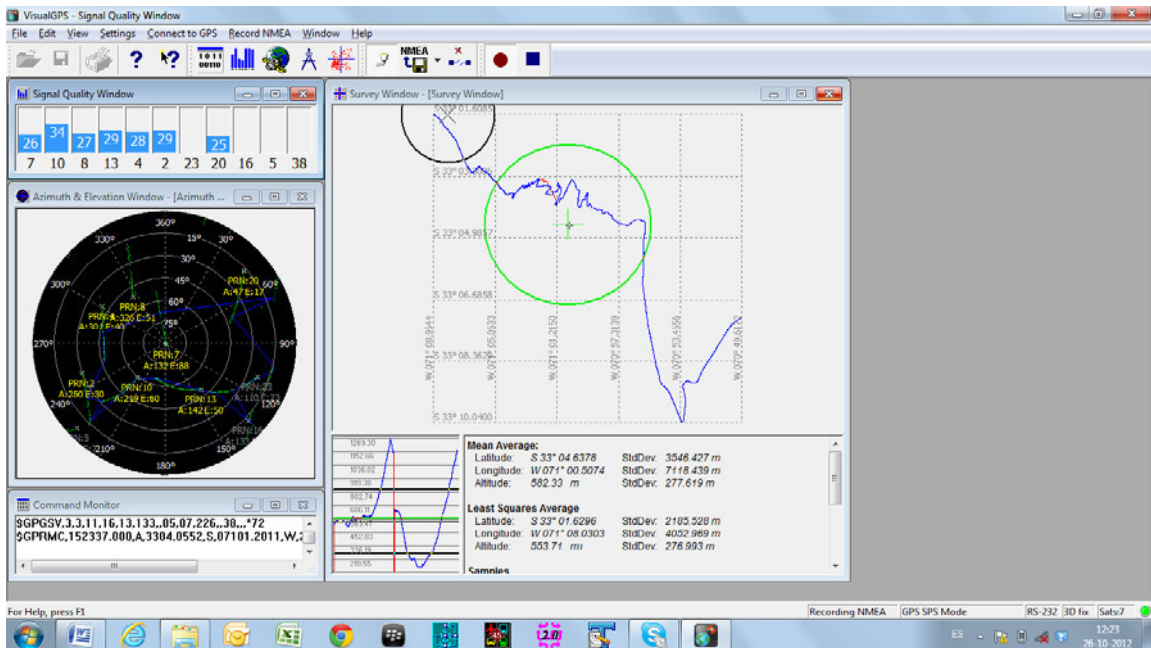
Escuela



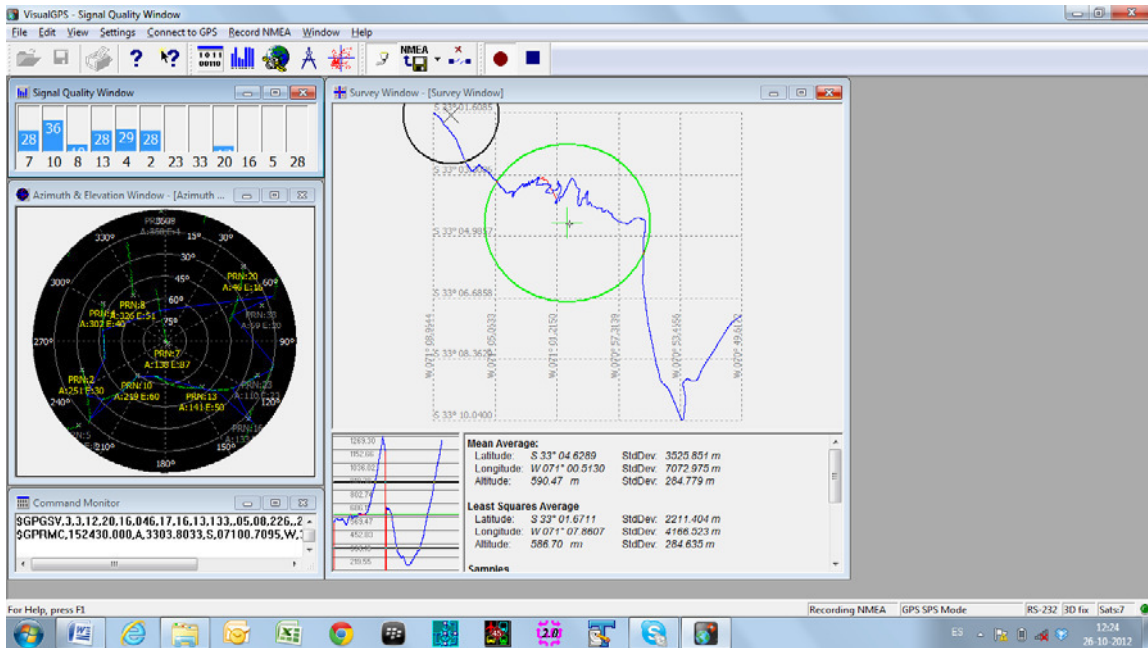
Fin Pista Lenta



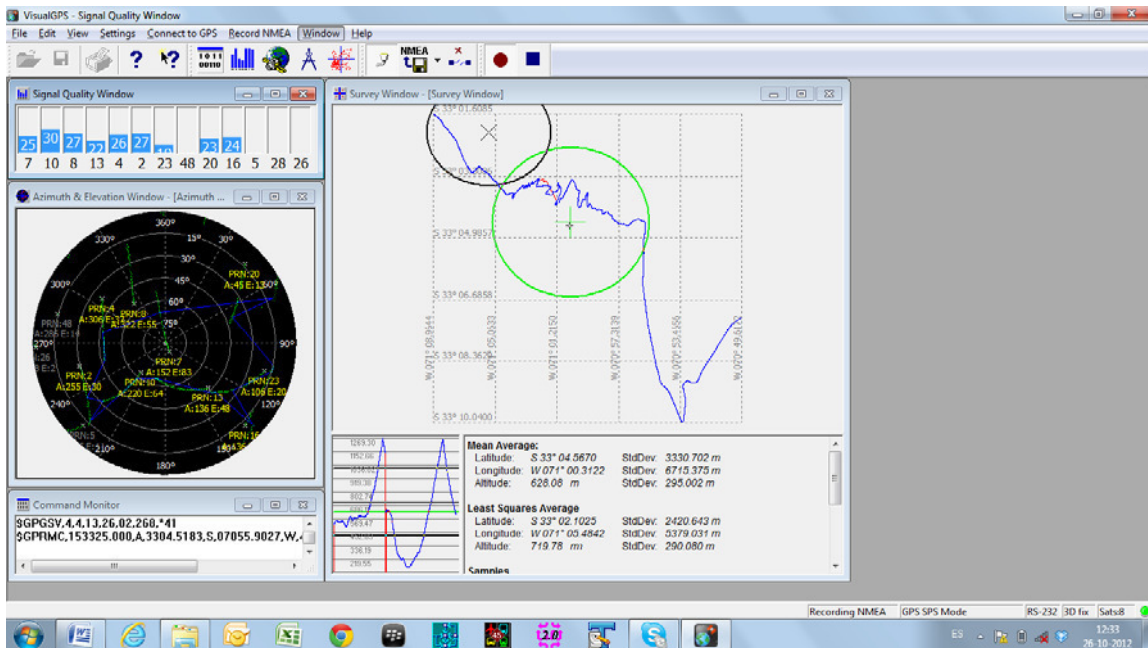
Inicio Pista Lenta



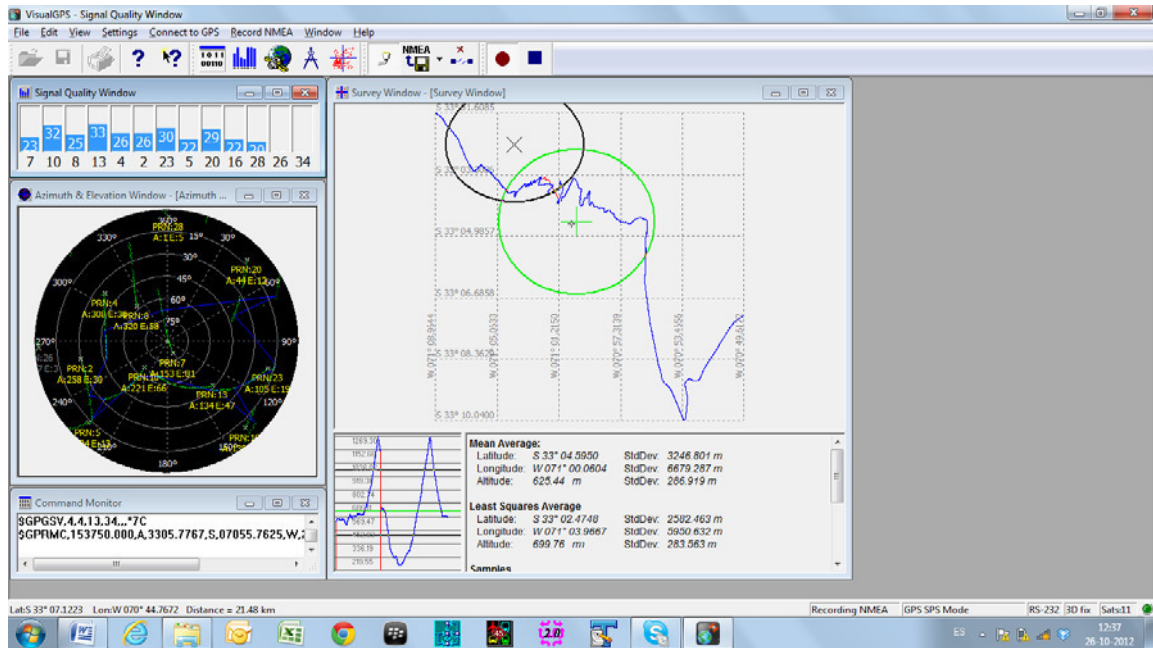
Fin Pista Lenta



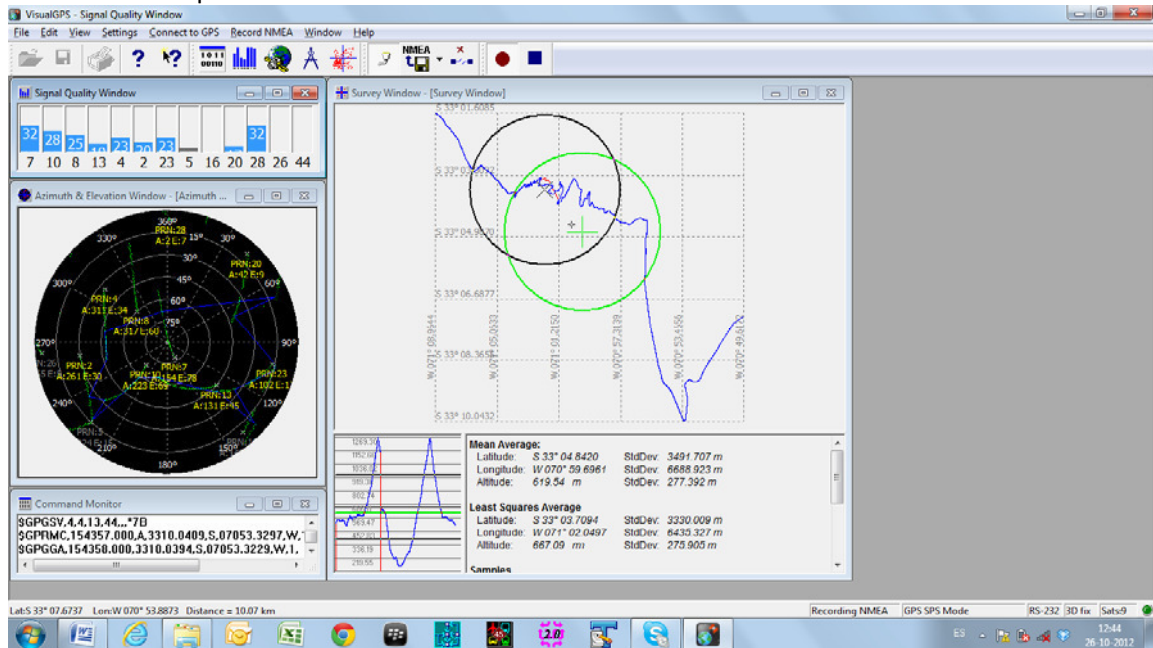
Zona Urbana Tiltit



Fin zona Urbana Tiltit



Zona Urbana Polpaico



Fin Zona Urbana Polpaico

