

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

Profesor Patrocinante: Patricio Álvarez M.MSc.PhD

**“EVALUACIÓN DE LOS BENEFICIOS DEL VIRAJE A LA DERECHA EN ROJO EN  
INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS”**

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el  
Título de Ingeniero Civil

**CARLO EDUARDO BECERRA HENRÍQUEZ**

Concepción, Febrero del 2015

*A mi hijo, mis padres y abuela por el esfuerzo, amor incondicional y apoyo durante todo este tiempo, dando lo mejor de ellos para formarme como una gran persona y profesional.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a mis padres que desde siempre y principalmente en el momento en que me transforme en padre, me dieron todo su apoyo, confianza y su mayor esfuerzo para que me pudiera realizarme como joven, estudiante y formarme como profesional. Agradecer a mi abuela Feride por su cariño incondicional, su entrega diaria, cuidándome desde mis primeros días de vida. A mi hermana Nicole por su amor de hermanos, compañía y complicidad. Mi hijo Benjamín que desde su nacimiento iluminó mis días y los llena de alegrías con su forma de ser, fuiste un incentivo más para lograr lo que hoy soy, eres parte de mi victoria. Esto también es para ti. En general a mi familia Henríquez por ser la gran familia que somos y por siempre estar unidos y apoyándonos mutuamente.

Agradezco a Fernanda Bahamonde por su gran amor, su compañía como amiga y pareja durante todo este proceso que vivimos juntos, siempre me diste tú apoyo y confianza en que puedo lograr lo que me propongo. Por los grandes momentos que hemos vivido y que espero que se extiendan por mucho tiempo más.

Agradecer mis amigos de toda una vida Claudio Belmar, José Luis Arroyo y Carlos Novoa, que a pesar del tiempo y distancia siempre hemos permanecido juntos y compartiendo buenos momentos, en especial a Claudio quien me acompañó y ayudó en la realización de partes importantes de este trabajo. A mis compañeros y amigos con los que compartí esta gran etapa de universidad, haciendo que este proceso fuera increíble, de aprendizaje y crecimiento.

Dar las gracias al Profesor Patricio Álvarez, por darme la posibilidad y confianza de trabajar con él en este proyecto, por la buena disposición y conocimientos entregados.

Y por último a los profesores y funcionarios del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental por el gran ambiente familiar que se vive en la Escuela, la disposición para entregar las mejores herramientas en mi formación como profesional.

**ÍNDICE GENERAL.**

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
NOMENCLATURA.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	3
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.1. Justificación del proyecto.....	4
1.2. Alcances del proyecto.....	4
1.3. Objetivos del proyecto.....	4
1.3.1. <i>Objetivo General</i> .....	4
1.3.2. <i>Objetivo Específico</i> . ....	5
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
2.1. Viraje a la derecha en rojo.....	6
2.2. Países con VDeR.....	6
2.2.1. <i>Estados Unidos</i> .....	6
2.2.2. Otros países.....	8
2.2.3. <i>Chile</i> .....	8
2.3. Estudio en Suecia.....	9
2.4. Accidentes en intersecciones con VDeR.....	10
2.4.1. <i>Informe Fatality Analysis Reporting System</i> .....	10
2.4.2. <i>Informe de Accidentes en cuatro Estados</i> .....	12
2.5. Modelos de Simulación.....	13
2.5.1. <i>Clasificación de modelos de tráfico</i> s.....	14
2.5.2. <i>Elección del microsimulador</i> .....	15
2.5.3. <i>Microsimulador AIMSUN</i> .....	15
2.5.3.1. <i>Datos de Salida en AIMSUN</i> .....	15
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>17</b>
3.1. Antecedentes.....	17

3.2. Etapas de Trabajo.....	18
3.2.1. <i>Etapa de Preparación</i> .....	19
3.2.2. <i>Definición de intersecciones y Recolección de datos en terreno</i> ...	19
3.2.3. <i>Etapa de Construcción del modelo y Calibración</i> .....	19
3.2.4. <i>Etapa de Simulación y Resultados</i> .....	19
4. CARACTERIZACIÓN DE LA RED Y RECOLECCIÓN DE DATOS.....	21
4.1. <i>Definición de las Intersecciones de Estudio</i> .....	21
4.1.1. Arturo Prat – Chacabuco.....	22
4.1.2. Chacabuco – Lincoyan.....	22
4.1.3. Chacabuco – Paicaví.....	22
4.1.4. Barros Arana – Tucapel.....	22
4.1.5. Av. Los Carreta – Av. Prat.....	22
4.1.6. Av. Los Carreras – Fresia.....	23
4.1.7. Chacabuco – Castellón.....	23
4.1.8. Gral. Novoa – Los Lirio.....	23
4.1.9. Av. Prat – O’Higgins.....	23
4.1.10. Av. Prat – San Martín.....	23
4.2. Recolección de datos.....	24
4.3. Construcción del modelo.....	25
4.4. Calibración del modelo.....	26
4.4.1. <i>Parámetro de calibración</i> .....	26
5. RESULTADOS.....	28
5.1. Hora Punta Tarde Sin Pista de Viraje a la Derecha.....	28
5.2. Hora Punta Tarde Con Pista de Viraje a la Derecha.....	29
5.3. Hora Fuera de Punta.....	31
6. CONCLUSIONES.....	33
7. BIBLIOGRAFÍA.....	35
ANEXO A.....	37
ANEXO B.....	43
ANEXO C.....	49

ANEXO D.....	55
ANEXO F.....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Señalética que autoriza el VDeR EN Chile.....	9
Figura 2.- Número de accidentes fatales por viraje a la derecha en rojo donde se permite el VDeR.....	11
Figura 3.- Porcentaje de Accidentes Derecha en Intersecciones que se permite el VDeR.....	11
Figura 4.- Metodología de Trabajo.....	17
Figura 5.- Imagen satelital de Concepción.....	21
Figura 6.- Soporte de cámaras de video.....	24
Figura 7.- Fotografía de grabaciones de intersecciones.....	25

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Lista de países en que se permite el VDeR.....	8
Tabla 2.- Accidentes totales de los estados de Indiana, Maryland y Missouri entre 1989- 1992.....	12
Tabla 3.- Número de Accidentes producto de un VDeR de los estados de Indiana, Maryland y Missouri (1989 – 1992); Illinois (1989 – 1991).....	13
Tabla 4.- Variables entregadas por AIMSUN.....	16
Tabla 5.- Promedio de Intersecciones de parámetros simulados con y sin VDeR...	28
Tabla 6.- Promedio de Intersecciones de parámetros simulados Hora Punta Tarde con pista de viraje.....	30
Tabla 9.- Promedio de Intersecciones de parámetros simulados Fuera Punta.....	31

## EVALUACIÓN DE LOS BENEFICIOS DEL VIRAJE A LA DERECHA EN ROJO EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

**Autor: Carlo Becerra Henríquez.**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío.  
carbechen@gmail.com

**Profesor Patrocinante: Patricio Álvarez M. MSc. PhD.**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío.  
palvarez@ubiobio.cl

### **RESUMEN**

En 1937 por primera vez en Estados Unidos, California se aprobó una ley que permite el Viraje a la Derecha en Rojo (VDeR), solo para ciertas intersecciones. De ahí en más se amplió para todas las intersecciones como una política que ayudará a afrontar la crisis energética que vivía el país en los años 70.

Con los antecedentes anteriores nace la necesidad de evaluar los posibles beneficios que tendría implementar esta política en Chile. Para ello se plantea estudiar 10 intersecciones de Concepción, en las que se realizan mediciones de flujo vehicular y peatonal. Para posteriormente realizar las simulaciones pertinentes (autorizando el VDeR y sin VDeR).

Los resultados obtenidos muestran que al permitir el VDeR se obtienen beneficios en los diferentes parámetros estudiados (consumo de combustible, emisiones contaminantes y tiempo de viaje). Se observa que en aquellas intersecciones que existe una pista de viraje a la derecha, se obtienen mayores beneficios. En general se obtiene una disminución de un 5% en los tiempos de viajes, en el consumo de combustible de 2,2% y 4,7% de disminución para automóviles y buses respectivamente.

Palabras Claves: viraje a la derecha en rojo, combustible, Óxido de Nitrógeno, Dióxido de Carbono, Material Particulado, Compuestos Orgánicos Volátiles, Accidentes  
Palabras=6426+250\*14=9926 Palabras.

## EVALUATION OF THE BENEFITS OF RIGHT TURN ON RED SIGNALIZED INTERSECTIONS

**Author: Carlo Becerra Henríquez.**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío.  
cabecerr@alumnos.ubiobio.cl

**Advisor: Patricio Álvarez M. MSc. PhD.**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío.  
palvarez@ubiobio.cl

### ABSTRACT

In 1937 RTOR was first approved in the state of California in the United States of America (USA). At first, the legislation only applies to intersections with an authorized sign, but then in the 1970s, came to change and is applied at each intersection, except where signs prohibit the movement to counteract the energy crisis that lived the country.

With the above antecedes comes the need to evaluate the potential benefits that would have to implement this policy in Chile. To do so is to study 10 intersections of Concepción, where measurements of vehicular and pedestrian flows were made. To subsequently carry out the pertinent simulation (with authorizing RTOR and out RTOR).

The results show that by allowing the RTOR benefits are obtained in the different parameters studied (fuel consumption, emissions and travel time). It is observed that in those intersections track there is a right turn, greater benefits are obtained. In general, a decrease of 5% on travel time, fuel consumption of 2.2% and 4.7% decrease for cars and buses respectively.

Keywords: Right Turn On Red, Fuel, Nitrogen Oxide, Carbon Dioxide, Particulate Matter, Volatile Organic Compounds, Accident.

Words =  $6426 + 250 * 14 = 9926$  Words

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de la Ingeniería de Transporte es lograr una adecuada gestión de la demanda de tráfico. La cual se define como el arte de modificar lenta y gradualmente el comportamiento individual de los viajeros, en vez de estar expandiendo la capacidad vial cada vez que se observa o espera un aumento en la congestión (Ferguson, 1991).

Esto se logra implementando distintas medidas de mitigación, las cuales buscan tener un impacto en el sistema de transporte. Entre ellas están: intervenir rutas, variar horarios, modos de viajes, con restricciones, etc. Una de estas medidas utilizada, en las que sean observados buenos réditos, es el Viraje a la Derecha en Rojo.

Viraje a la derecha en rojo (VDeR), consiste en que a un vehículo (en una intersección semaforizada) se le permite girar a la derecha, durante la fase roja, siempre que no se produzcan conflictos con la intersección de tráfico o de otros usuarios de la carretera. Siempre ceda el paso a peatones, ciclistas y tráfico que se aproxima (ADOT, 2007, p. 37).

Producto de la congestión se tienen colas, aumento en los tiempos de viajes, menores niveles de servicios de la infraestructura vial, mayor emisión de gases contaminantes, lo que conlleva – en una mirada macroscópica- en escenarios negativos. En las empresas disminuye la productividad, para los conductores esto ve reflejado en una fluctuación de velocidad, lo que se relaciona directamente con el consumo de combustible y la emisión de partículas contaminantes. Es por esto que implementar una política como el VDeR se hace interesante, buscando mejorar los parámetros antes mencionados.

En 1937 se aprueba el VDeR en el estado de California en los Estados Unidos. En un comienzo solo se implementó en aquellas intersecciones que presentaran una señal que lo autorizara, posteriormente se aplica en cada intersección, excepto en las que una señal prohibiera la maniobra.

Las ventajas y desventajas del VDeR son por lo general los ahorros de retraso y los riesgos de accidentes, respectivamente. Otras ventajas son la reducción de la congestión por la disminución

de los retrasos, menor consumo de combustible y reducción de emisiones de gases contaminantes (McShane y Roess 1990, 413).

En esta investigación se evaluará la eficiencia del VDeR y los beneficios, como por ejemplo la reducción en el consumo de combustible que es de gran interés dado su alto costo en Chile ya que es un país importador de combustibles.

### **1.1 Justificación del Proyecto.**

En Chile, la aplicación de esta política es muy limitada, y por defecto el VDeR está prohibido. A partir de esto, tiene sentido evaluar si es posible replicar los beneficios observados en otros países, considerando las particulares características de muestra infraestructura y el uso que los diferentes actores del sistema de transporte urbano hacen de ella.

### **1.2 Alcances del Proyecto**

Para el estudio de los beneficios del VDeR se realizarán mediciones de flujo vehicular en la ciudad de Concepción. Se seleccionarán intersecciones céntricas y periféricas de la ciudad, para lograr captar diferentes niveles de flujos vehiculares y peatonales. Dichas intersecciones deberán concentrar un número importante de virajes a la derecha, lo cual se corrobora en una inspección previa en terreno.

### **1.3 Objetivos del Proyecto**

#### *1.3.1. Objetivo General*

Estimar los beneficios de la implementación de una política de gestión de tráfico consistente en permitir a un vehículo el Viraje a la Derecha en Rojo (VDeR).

### *1.2.2 Objetivos Específicos.*

- Sintetizar el estado de la práctica de la aplicación de Viraje a la Derecha en Rojo a nivel mundial.
- Sintetizar las ventajas y desventajas de la implementación de VDeR
- Evaluar la eficiencias de permitir el VDeR
- Cuantificar los beneficios esperados en corredores de transporte de la ciudad de Concepción.

## **2 MARCO TEORICO**

En el presente capítulo se expone la filosofía del VDeR, sus orígenes y motivos que llevaron a países como Estados Unidos de implementar esta política. Además se revisa el software de simulación a utilizar.

### **2.1 Viraje a la derecha en rojo**

Virar a la derecha en rojo significa que el vehículo, en un país con circulación por la derecha en un semáforo se le permite virar a la derecha siempre que no se produzcan conflictos con el tráfico en sentido contrario a otros usuarios de la carretera. Los peatones, ciclistas y tráfico en sentido contrario deben tener prioridad (ADOT, 2011).

### **2.2 Utilización del VDeR en el Mundo.**

A continuación se presentan los países en que se permite el VDeR y aquellos en que es necesaria una señalética presente. En el ANEXO D se presentan las señaléticas utilizadas en cada país

#### *2.2.2 Estados Unidos*

En 1975, una política energética y la Ley de Conservación se convirtió en Ley ( 22 de Diciembre de 1975), solicita a los estados desarrollar un plan de conservación energética si desean contar con asistencia federal. Una de las políticas del Departamento de Energía para lograr una mayor eficiencia y ahorro de combustible a nivel nacional era invitar a aquellos Estados que no habían aplicado VDeR a permitirlo. En 1977, la mayoría de los Estados permitieron el VDeR en las intersecciones señalizadas. Así los Estados adoptan la definición y uso del Viraje a la Derecha en Rojo (VDeR) y Viraje a la Izquierda en Rojo (VIeR) como se especifica en el Uniform Vehicle Codige (UVC). El UVC restringe el VDeR, imponiéndole al conductor que pare y luego ceda el paso a vehículos y peatones que se aproximan al cruce.

Excepto cuando un signo en lugar lo prohíba, el tráfico de vehículos frente a cualquier señal roja fija puede con cautela girar a la derecha o izquierda desde una calle de un solo sentido a calle de sentido único, después de parar como lo exige el inciso (c-1) o la subsección(c-2). Después de parar, el conductor deberá ceder el derecho de paso a cualquier vehículo en la intersección o acercarse en otra carretera como para constituir un peligro inmediato. Dicho conductor deberá ceder el derecho de paso a los peatones en la intersección o un cruce peatonal adyacente (UVC, 1979).

Actualmente no existen normas que restrinjan el VDeR para ciertos flujos de tráfico. La condición principal para prohibir el movimiento es la visibilidad adecuada. Para prohibir el VDeR, demostradas mediante un estudio técnico, deben generarse las siguientes condiciones (MUTCD, 2009):

- ✓ Distancia de visual a los vehículos que se aproximan por la izquierda inadecuada.
- ✓ Geometría o características operativas de la intersección podrían dar lugar a conflictos inesperados.
- ✓ Fase peatonal exclusiva.
- ✓ Un número inaceptable de conflictos peatonales con maniobras VDeR, especialmente relacionados con los niños, peatones ancianos, o personas con discapacidad.
- ✓ Más de tres accidentes de VDeR reportadas en un período de 12 meses para el enfoque particular.
- ✓ El ángulo de inclinación de las carreteras que se cruzan crea dificultada para los conductores para ver el tráfico que viene desde su izquierda.

### 2.2.3 Otros países

En la Tabla 1 se resumen los que se permite el VDeR y sus restricciones.

<b>VDeR</b>	<b>VDeR + Señal</b>
Estados Unidos	Chile
Canadá	Brasil
México	Polonia
Puerto Rico	Rusia
República Dominicana	Holanda
China	Francia
Australia	Nueva Zelanda
Ecuador	
Colombia	

**Tabla 1.- Lista de países en que se permite el VDeR**  
(Fuente: Elaboración propia)

### 2.2.4 Chile

En Chile el uso de esta maniobra está restringido, ya que solo se puede realizar en intersecciones donde exista la señalización respectiva que permita el viraje, como se muestra en la Figura 1. Estas señales se emplean para indicar a los conductores que acceden a una intersección controlada con semáforos, que excepcionalmente está permitido el viraje a hacia la derecha con luz roja, previa detención y dando preferencia a los peatones, y siempre que la maniobra de viraje no genere conflictos con el tránsito lateral.

El manual de señalización restringe la instalación de esta señal de tránsito en ciertas condiciones, las cuales se deben verificar a través de un estudio técnico, el cual debe estar a cargo de la autoridad local competente. Dicho estudio debe demostrar que la maniobra en cuestión de presente mayores riesgos de accidentes. La intersección de estudio debe cumplir cada una de las siguientes condiciones (Manual de Señalización, 2000):

- a. La intersección no debe registrar más de 3 accidentes de tránsito por año;
- b. El flujo que vira debe ser menor o igual a 150 vehículos por hora durante todos los periodos del día;
- c. El flujo peatonal en conflicto directo con el viraje no debe ser mayor a 150 peatones por hora durante todos los periodos del día;
- d. El radio de curvatura en la intersección debe ser superior a 10 m;
- e. Debe existir buena visibilidad



**Figura 1.- Señalética que autoriza el VDeR en Chile**

### **2.3 Estudio en Suecia**

En la investigación realizada por COSIC (2012) analizó como la política de VDeR afectaría a la eficiencia y demoras en intersecciones semaforizadas en Suecia en comparación con las intersecciones en Phoenix, Arizona (EE.UU). La intersección de Lund en Suecia presenta un gran volumen peatonal y de ciclistas, en general más altas en comparación con las intersecciones en Phoenix, lo que representa una dificultad en el VDeR.

El software utilizado en dicha investigación corresponde a VISSIM, el cual considera el aspecto físico y fisiológico del conductor, capaz de entregar distribuciones estocásticas de velocidad.

Las intersecciones seleccionadas para el estudio en Phoenix que permitan el VDeR están ubicadas en el área urbana. En tanto en Suecia la intersección seleccionada fue Malmövägen - Ringvägen, ya que es una de las intersecciones más saturadas en Lund.

El resultado de las demoras en la intersección mostró que es menor cuando se permite el VDeR en comparación cuando se prohíbe, tanto para hora peak AM y PM. En algunas de las intersecciones estudiadas en Phoenix, el beneficio resultó ser insignificante (se observaron beneficios entre 0,5 y 0,2 segundos por vehículo. En tanto en la intersección de Suecia se ahorraría entre 3 - 16 segundos durante la hora peak AM, y entre 0,5- 13 segundos por vehículo por la tarde.

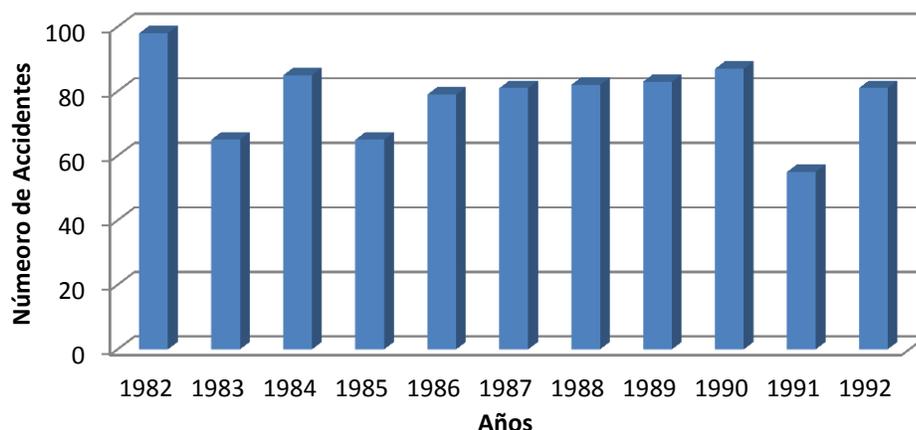
En relación a la emisión gases contaminantes en la intersección de Lund, si bien se observaron beneficios, estos no son preponderantes. En el horario peak AM se logra una disminución de 3% y de 0,5% en el horario peak tarde. En tanto para el consumo de combustible, se obtuvo una disminución de 3% en la hora peak AM y de aproximadamente 0% en la hora peak PM.

## **2.4 Accidentes en intersecciones con VDeR**

Para conocer las consecuencias en relación a la seguridad de permitir el VDeR en Estados Unidos, se realizaron estudios que analizaron los accidentes en las intersecciones que se permite el VDeR. Las fuentes utilizadas para la realización de este estudio fueron: Fatality Analysis Reporting System (FARS) y los archivos de datos de colisiones de cuatro estados. Cabe señalar que el FARS en su informe de accidentes no acota si el vehículo involucrado en la colisión giraba en rojo o no, solo informa que el vehículo giraba a la derecha en una intersección en la cual se permite el VDeR. En tanto los cuatro archivos Estatales incluyen en su informe de accidentes códigos que permiten determinar que una maniobra de VDeR fue ejecutada.

### *2.4.1 Informe FARS*

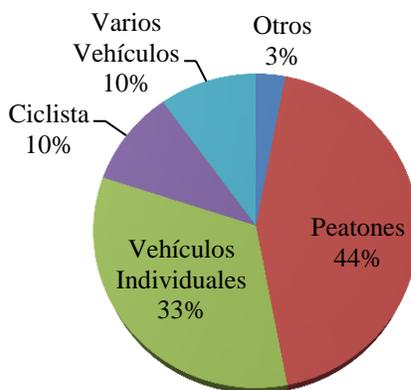
En el Figura 2 se presentan los datos obtenidos del FARS entre los años 1982 – 1992, de accidentes que involucran a vehículos girando a la derecha. Dicho grafico muestra el número de accidentes fatales por cada año de vehículos que giran a la derecha en intersecciones que se permite el VDeR. En general se obtiene un promedio de 84 accidentes fatales en aquellas intersecciones que se permite el VDeR. Como se mencionó anteriormente el FARS no difiere si el vehículo giro en verde, amarillo o rojo.



**Figura 2.- Número de accidentes fatales por viraje a la derecha en rojo donde se permite el VDeR.**

**(Fuente: Office of Program Development and Evaluation Traffic Safety Programs, 1994)**

En el Figura 3 se presenta el porcentaje de accidentes fatales, en un periodo de 11 años, en los que se involucra un vehículo girando a la derecha clasificados según el tipo de accidente (peatones, ciclistas, vehículos individuales, múltiples vehículos y otros. Se puede observar que prácticamente en la mitad de los accidentes están involucrados peatones (44%), 33% vehículos individuales, 10% ciclistas, 10% múltiples vehículos.



**Figura 3.- Porcentaje de Accidentes Fatales por virajes a la derecha en intersecciones que se permite el VDeR. (Fuente: Office of Program Development and Evaluation Traffic Safety Programs, 1994)**

Del total de accidentes fatales que tienen relación con un viraje a la derecha, 504 involucran a ciclistas y peatones. En el mismo periodo hubo un total de 82.286 accidentes fatales de ciclistas

y peatones, por lo que los accidentes de peatones y ciclistas, en intersecciones que se permite el VDeR, solo representa el 0,6 % de todos los accidentes fatales de peatones y ciclistas.

#### 2.4.2 Informe de Accidentes en cuatro Estados

La Tabla 2 muestra el número total de accidentes que la policía informo en los estados de Indiana, Maryland, Missouri entre los años 1989 – 1992 diferenciados según la severidad del accidente, es decir, daños a la propiedad, privada, lesiones y muerte. En este periodo se registraron 1.918.203 accidentes. Para apreciar la inferencia que tiene el VDeR en estos accidentes se debe observar el número de accidentes en intersecciones señalizadas. En esta categoría existieron 316.269, de los cuales un 0,3% se ve involucrado un VDeR.

Tipo de accidente	Accidentes		Intersecciones Señalizadas		VDeR	
	#	%	#	%	#	%
Propiedad privada	1.338.089	69,8	197.001	62,3	836	65,5
Lesiones	570.349	29,7	118.580	37,5	437	34,2
Muertes	9.765	0,5	688	0,2	4	0,3
<b>Total</b>	<b>1.918.203</b>	<b>100</b>	<b>316.269</b>	<b>100</b>	<b>1.277</b>	<b>100</b>

**Tabla 2.- Accidentes de los estados de Indiana, Maryland y Missouri entre 1989- 1992.**

**(Fuente: Office of Program Development and Evaluation Traffic Safety Programs, 1994)**

En la Tabla 3 se presentan los datos obtenidos de Indiana, Maryland y Missouri entre los años 1989 – 1992; Illinois entre los años 1989 – 1991. Muestra el número y porcentaje de todas las colisiones y accidentes VDeR por gravedad de choque. Se observa que los accidentes por VDeR representan solo el 0,052% del total de los accidentes, por lo que claramente se puede concluir que la inferencia del VDeR no es gravitante en el universo de accidentes.

<b>Tipo de Accidente</b>	<b>Accidentes</b>	<b>Accidentes VDeR</b>	<b>% VDeR</b>	<b>Accidentes VDeR Peatones</b>	<b>% Accidentes VDeR Peatones</b>
<b>Propiedad</b>	2.408.664	1.163	0,048	27	2,3
<b>Lesiones</b>	892.985	558	0,062	352	63,1
<b>Muertes</b>	14.029	4	0,029	4	100
<b>TOTAL</b>	3.315.678	1.725	0,052	383	22,2

**Tabla 3.- Número de Accidentes producto de un VDeR de los estados de Indiana, Maryland y Missouri (1989 – 1992); Illinois (1989 – 1991).**

**(Fuente: Office of Program Development and Evaluation Traffic Safety Programs, 1994)**

Unas de las principales dificultades que puede presentar el VDeR corresponden al flujo peatonal que se opone a la maniobra. En la Tabla 3 se presenta el número y porcentaje de todos los accidentes que involucran a peatones y ciclistas, el cual alcanza un 22% de todos los accidentes de VDeR ya sea peatón o ciclista.

El estudio concluyó que existe un número relativamente menor de muertes y lesiones en accidentes en intersecciones con VDeR. Estos accidentes representan un porcentaje menor comparado con el total de accidentes de muertes y lesiones. Por lo tanto en base a la evidencia de los informes expuesto, no existe evidencia que demuestre que el VDeR sea un peligro en la seguridad vial, dado que el número de accidentes debido a VDeR es reducido.

## **2.5 Modelos de Simulación**

Para emular lo que ocurre en las intersecciones de estudio es necesaria la utilización de un software de simulación. Los simuladores de redes viales son herramientas útiles para analizar estrategias de gestión de tráfico y realizar predicciones que como se comportará la red vial frente a distintos escenarios. Son capaces de simular en minutos el comportamiento de una red vial de horas o días.

### 2.5.1 Clasificación de modelos de tráfico

En la ingeniería se ha desarrollado un gran número de herramientas computacionales el análisis y solución de diversos problemas. En el área de la ingeniería de transporte existen programas para diversos propósitos, los cuales se clasifican, según Hoogendoorn y Bovy (2000), dependiendo los modelos de tráfico que utilizan y cumpliendo los siguientes criterios:

- Tipo de variable independiente (continuas, discretas, semidiscretas)
- Nivel de detalle (submicroscópico, mesoscópico, macroscópico)
- Representación del proceso (determinístico, estocástico)
- Operacionalmente (analítico, simulación)
- Aplicabilidad (redes, arcos, intersecciones, etc.)

Considerando el nivel de detalle de modelación como preponderante, se tiene la siguiente clasificación:

- a) Nivel Macroscópico: estos modelos analizan el funcionamiento del tráfico con el menor nivel de detalle, ya que no mantienen el seguimiento vehicular a cada vehículo, sino que por el contrario, describe entidades y sus actividades e interacciones con bajo nivel de detalle, ya que por ejemplo, los flujos son representados como un promedio, considerando densidades y velocidades. El modelo macroscópico utiliza ecuaciones que reflejan parámetros generales de la corriente vehicular, como velocidad, densidad y caudal. Muchas de las ideas detrás de estas ecuaciones están tomadas del análisis de flujo de líquidos, gases o de relaciones halladas empíricamente entre estas cantidades y sus derivadas. Ejemplos de modelos macroscópicos son ESTRAUS, SATURN.
- b) Nivel Mesoscópico: modelan pequeños cambios en los patrones de tráfico en un corto período. En general representan las entidades con un nivel medio de detalle, pero describe sus interacciones y actividades con un detalle mayor al anterior, pero menor al siguiente. El comportamiento de los vehículos no es descrito de manera individual, sino que de manera más agregada usando fundaciones de probabilidades. Ejemplo de modelo mesoscópico es TRANSYT.

- c) Nivel Microscópico: la principal característica de estos modelos es que simulan cada vehículo o persona individualmente y hacen uso de ecuaciones que describen el comportamiento de estos vehículos o personas cuando siguen a otro, o cuando circulan sin impedimentos, es decir, este modelo permite representar las corrientes de tráfico con un alto grado de detalle. Las reacciones o comportamiento que tiene el conductor de cada vehículo están normadas según los modelos de seguimiento vehicular, y modelos de cambios de pistas entre otros. Ejemplos de modelos microscópicos son PARAMICS, AIMSUN, NETSIM, SIGSIM, CORSIM o TSIS.

Para el presente proyecto de título es conveniente la utilización de un modelo microscópico, debido por el nivel de detalle con el que se debe trabajar.

### *2.5.2 Elección del microsimulador*

Aimsun permite microsimular en detalle y observar el comportamiento de cada usuario de la red. Además dado por el gran número de estudios sobre calibración de AIMSUN para la ciudad de Concepción, se seleccionó el microsimulador AIMSUN ya que estaba basado en una serie de modelos conocidos en el ámbito académico por lo que es posible conocer el funcionamiento y fundamento del comportamiento de cada vehículo simulado. Además que la Universidad del Bío-Bío posee la licencia de este software.

### *2.5.3 Microsimulador AIMSUN*

Una completa descripción de modelos y parámetros de entrada requeridos por AIMSUN se presentan en el ANEXO C.

#### *2.5.3.4 Datos de Salida en AIMSUN*

El software entrega un gran lista de variables y gráficas, posterior a la simulación. AIMSUN tiene la capacidad de entregar resultados en los diferentes niveles de segregación definidos por el usuario, además de la información basada en rutas de origen – destino e información de líneas de transporte público. La definición de todas las variables entregadas por AIMSUN se encuentran

en el ANEXO C, en la Tabla 4 se definen los parámetros que se utilizarán para la evaluación de los beneficios del VDeR.

<b>Parámetro</b>	<b>Definición</b>
Consumo de Combustible	Litros totales de combustible consumido por todos los vehículos que han cruzado la red.
Emisión de Contaminantes	Para cada contaminante, se entrega en gramos o kilogramos totales de la contaminación emitida por los vehículos que han cruzado la red.
Flujo	Número promedio de vehículos por hora que han pasado por la red durante el período de simulación. Los vehículos se cuentan al salir de la red a través de una sección de salida.
Tiempo de Viaje	Tiempo promedio necesario para que un vehículo se desplace dentro de la red. Esto es la media de los tiempos individuales de viajes (tiempo de salida – hora de entrada) para todos los vehículos que han cruzado la red.

**Tabla 4.- Variables entregadas por AIMSUN**

**(Fuente: Elaboración Propia)**

### 3 METODOLOGÍA

Este capítulo trata de la metodología a utilizar, presenta investigaciones previas, las que poseen información de parámetros ya calibrados para la microsimulación en la ciudad de Concepción, que se utilizarán como base para este trabajo. En la Figura 4 se presenta la forma de procedes para realizar el proyecto.



**Figura 4.- Metodología de Trabajo**

**(Fuente: Elaboración propia)**

#### 3.1 Antecedentes

Existe una serie de estudios a nivel nacional e internacional sobre calibración de parámetros, pero estos varían según las características de cada red vial. En Concepción se han realizado dos proyectos en relación a la calibración de parámetros de flujo mixto e interrumpido, incorporando peatones, que corresponden a:

- a) “Calibración de un Modelo de Microsimulación para Flujo Mixto Interrumpido, con aplicación a la Ciudad de Concepción”, (Ortiz ,2006)

En dicha investigación se trabajó en base a un flujo mixto para el periodo punto mañana, calibrando los parámetros del tráfico del modelo de microsimulación AIMSUNG NG, en la que se obtuvieron valores que pueden ser utilizados para la modelación en ciudad de Concepción. Las intersecciones estudiadas en la calibración corresponden a O’Higgins / Lincoyán, O’Higgins / Rengo, O’Higgins / Caupolicán; y la intersección utilizada para la validación de dichos parámetros fue Collao / Irrarázaval.

Para la microsimulación de Ortiz (2006) se concluyó que los parámetros del modelo más predominantes son: Aceptación del Límite de Velocidad, Mínima Distancia entre Vehículos, Máxima Aceleración Deseada, Largo de Vehículos, Desaceleración Normal, Máxima Velocidad, Tiempo de Reacción (Movimiento), Tiempo de Reacción en Reposos.

- b) Incorporación de Peatones en la calibración de un modelo de microsimulación para Flujo Mixto Interrumpido” (Zavala, 2008).

Dado que la licencia que se posee de AIMSUN NG no permite la incorporación de peatones, se utilizarán parámetros calibrados en la investigación de Zavala(2008) para una intersección céntrica de Concepción. La intersección estudiada para la calibración fue O’Higgins / Rengo, posteriormente para su validación la intersección utilizada correspondió a O’Higgins / Rengo.

Por tanto de ambas investigaciones se consideran válidos los parámetros calibrados y se realizará la evaluación de los beneficios del VDeR en la ciudad de concepción en base a éstos.

### **3.2 Etapas de Trabajo**

El estudio se realizará en cuatro etapas, la primera consiste en la recopilación de información a nivel nacional y mundial respecto al VDeR (antecedentes y experiencias en países que se aplique el VDeR); la segunda, determinación de factores que influyen en la realización de VDeR; la tercera, recopilación de datos correspondiente al flujo vehicular, peatonal de las intersecciones de estudio que se utilizarán en la microsimulación. Por último concluir en base a los resultados obtenidos.

### *3.2.1 Etapa de Preparación*

Corresponde a la etapa en que se realiza la recolección de datos de las intersecciones a estudiar, ya sea sus dimensiones geométricas, flujos vehiculares, flujos peatonales.

Por orden cronológico se tienen los siguientes procedimientos

### *3.2.2 Definición de Intersecciones y Recolección de Datos en Terreno.*

Se definieron las intersecciones a estudiar para la modelación, las cuales deben tener una demanda considerable de virajes a la derecha. Se deben definir los datos a medir, para esto tener en consideración los datos requeridos por el software para la simulación. En relación a esto se recolectan los siguientes datos:

- Configuración física de la vía.
- Características del parque vehicular
- Datos de tráfico para preparar el experimento
- Operación del control de tráfico
- Medición del índice de desempeño

Para obtener estos datos se realizaron mediciones y grabaciones de las intersecciones.

### *3.2.3 Etapa de Construcción del modelo y Calibración*

En esta etapa se construirá un modelo por intersección en el cual se incorporarán los parámetros calibrados de los estudios ya mencionados, los datos medidos terreno y características de las intersecciones. Las características geométricas de cada intersección se obtendrán de un plano topográfico de Concepción del año 2008.

Con esto se obtendrá un escenario que represente lo más certero posible la realidad existente en dichas intersecciones.

### *3.2.4 Etapa de Simulación y Resultados*

Ya con todos los datos necesarios ingresados en el simulador, se procede a la microsimulación de cada una de las intersecciones de estudio. Se simularán dos escenarios: el primero corresponde a microsimular cada intersección en su condición real, es decir sin permitir

el viraje a la derecha en rojo; en el segundo se permitirá (mediante una función del software) el viraje a la derecha en rojo. Posterior a esto se obtienen los resultados de las respectivas simulaciones y se sustraen los datos necesarios para realizar las comparaciones y posteriores conclusiones en base a estos.

Se realizará la simulación de la hora peak pm, correspondiente desde las 18:30 – 19:30. Además se realizará la simulación en horas valles que va desde las 10:30 – 18:30, dado que no se realizó una medición de flujo vehicular para este horario se considerará el flujo tanto vehicular como peatonal de 0,5 del horario peak pm.

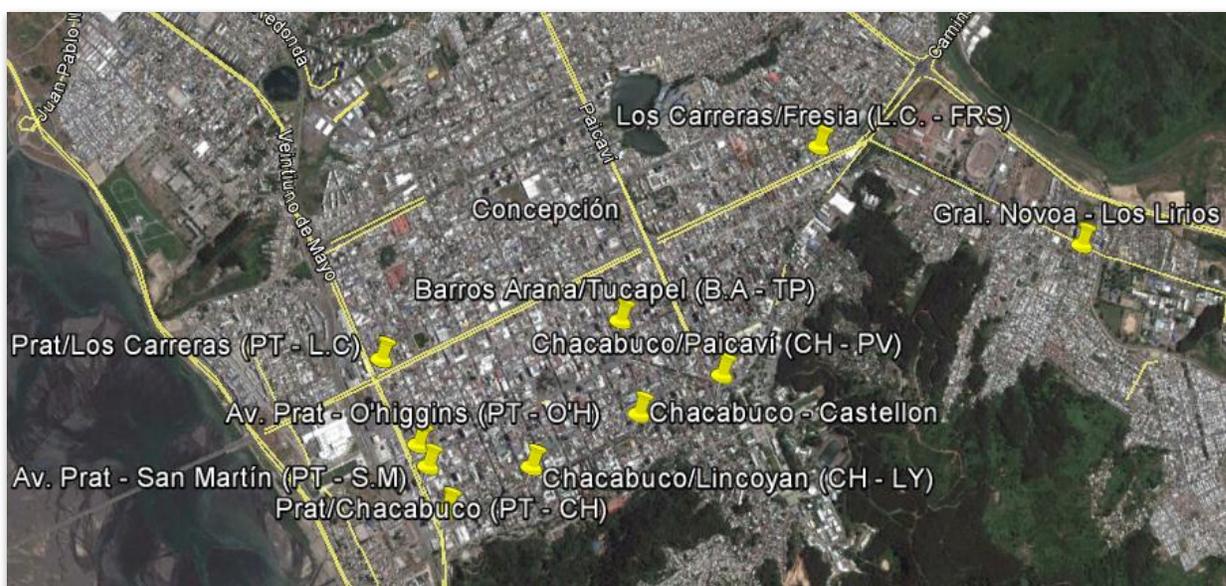
## 4 CARACTERIZACIÓN DE LA RED Y RECOLECCIÓN DE DATOS

En este capítulo se presentan las intersecciones seleccionadas, sus características de tráfico, la forma en que se recolectaron los datos y la construcción del modelo.

### 4.1 Definición de las Intersecciones de Estudio

Para el estudio de los beneficios que pueden existir con el Viraje a la Derecha en Rojo se seleccionaron 10 intersecciones de la ciudad de Concepción. Ellas presentan ciertas características que son atractivas y necesarias para el estudio del VDeR, principalmente que presenten un alto número de virajes a la derecha.

Dichas intersecciones fueron escogidas mediante una inspección visual en terreno. En la Figura 5 se presentan las intersecciones seleccionadas.



**Figura 5.- Imagen satelital de Concepción.**

**(Fuente: Google Earth, 2014)**

#### *4.1.1 Arturo Prat – Chacabuco:*

Corresponden a unas de las principales arterias de la ciudad de Concepción. En A. Prat circulan principalmente los vehículos que se provienen desde la comuna de Chiguayante, por lo que se genera un importante giro a la derecha hacia Chacabuco de los vehículos que quieren ingresar a la zona céntrica de la ciudad. También se produce un gran número de virajes a la derecha de los vehículos que vienen en la calzada norte de Chacabuco. Existe flujo peatonal pero no es preponderante.

#### *4.1.2 Chacabuco – Lincoyán*

En esta intersección se observa un alto número de virajes a la derecha desde la calzada norte de Chacabuco hacia Lincoyán, principalmente de transporte público. Existe un bajo flujo peatonal.

#### *4.1.3 Chacabuco – Paicaví*

Corresponde a una intersección de tipo “T” por lo que existe un alto número de virajes la derecha desde Paicaví hacia Chacabuco. Presenta un alto flujo vehicular ya que es una intersección aledaña a la Universidad de Concepción. Además el flujo peatonal también es alto debido a la casa de estudios.

#### *4.1.4 Barros Arana – Tucapel*

Intersección de la zona céntrica de la ciudad, por lo que se puede observar un alto flujo tanto vehicular como peatonal. Existe una cantidad considerable de virajes a la derecha desde Tucapel hacia Barros Arana.

#### *4.1.5 Av. Los Carrera – Av. Prat*

Corresponde a una de las intersecciones más demandadas del Gran Concepción, dado que la Av. Los Carrera en dirección al poniente conecta con el puente Llacolen, el cual es el principal viaducto que conecta Concepción con San Pedro.

#### *4.1.6 Av. Los Carrera – Fresia*

Es una intersección en la que gran parte del transporte público proveniente de Collao y Penco realizan viraje a la derecha. El flujo vehicular de la calle Fresia es bajo y el flujo peatonal no es preponderante.

#### *4.1.7 Chacabuco – Castellón*

Alto flujo vehicular en ambas arterias, ya que Castellón es una de las principales calles para salir del centro de Concepción y Chacabuco en dirección al poniente es una de las vías para dirigirse a Chiguayante o San Pedro. Existe un número de virajes a la derecha considerable, principalmente de los vehículos que vienen desde el centro de la ciudad.

#### *4.1.8 Gral. Novoa – Los Lirios*

Es una de las pocas intersecciones en Concepción en las que se permite el viraje a la derecha en rojo. Esto dato por la magnitud de su flujo vehicular, peatonal y geometría de la intersección (tipo T). Se produce un gran número de virajes a la derecha de los vehículos que se dirigen hacia el sector de Los Lirios, con flujo peatonal bajo.

#### *4.1.9 Av. Prat – O’Higgins*

Presenta un gran flujo vehicular, ya sea por Av. Prat o por O’Higgins. Los virajes a la derecha corresponden a los vehículos que van por O’Higgins y viran hacia Av. Prat, que en su mayoría corresponde a buses del transporte público que se dirigen hacia Talcahuano. El flujo peatonal es medio dado por centros médicos, educacionales, oficinas, centros comerciales.

#### *4.1.10 Av. Prat – San Martín*

Alto número de virajes a la derecha por parte de principalmente de los buses que vienen desde Chiguayante giran hacia San Martín. El flujo vehicular es alto en ambas arterias, en tanto el flujo peatonal también debido por el centro de estudio que existe en la intersección.

## 4.2 Recolección de datos

Los datos del flujo vehicular, peatonal y ciclos de semáforos se realizaron mediante medición en terreno y grabaciones de las intersecciones. Se midió en hora punta tarde, obtenido por Ortiz (2006), el que estableció que corresponde entre 18:30 – 19:30. Se midió en este horario ya que es la hora del día en que se observa mayor interacción entre peatones y vehículos, que es uno de los factores más preponderantes en la utilización del VDeR.

Dado por el escaso recurso humano para realizar las mediciones de las intersecciones, en la que se necesitan por lo menos 6 personas, se decidió grabar las intersecciones. Para las grabaciones fue necesaria la construcción de un dispositivo que consiste en tubos de PVC y una plataforma metálica en la que se instalaron las cámaras, como se muestra en la Figura 6. Permitted tener un mayor ángulo de visión e instalar varias cámaras, de esta forma capturar los diferentes movimientos de la intersección.

Las grabaciones se realizaron en los meses de Octubre y Noviembre, en días hábiles excepto los días lunes y viernes, puesto que en estos días existen flujos mayores al promedio no representan la realidad de los flujos promedios.



**Figura 6.- Soporte de cámaras de video  
(Fuente: Elaboración propia)**



**Figura 7.- Fotografías de grabaciones de intersecciones**  
**(Fuente: Elaboración propia)**

Posterior a las grabaciones de cada intersección se realiza una revisión minuciosa del video como se muestra en la Figura 7, donde se lleva a cabo el conteo vehicular. El beneficio de la utilización de esta técnica radica en la minoración del error que se puede incurrir en el conteo en terreno, dado por la intensidad del flujo vehicular.

### **4.3 Construcción del modelo**

Para realizar la simulación de las intersecciones se debe construir cada una de ellas en el software Aimsun, en el cual se deben ingresar sus características geométricas, velocidad máxima de las pistas, y si existen pistas exclusivas para viraje. Las características geométricas de cada intersección fueron obtenidas de un mapa topográfico de la ciudad de Concepción del año 2008. Se importara un archivo de AutoCAD al simulador para trabajar en base a él y construir cada intersección, con sus determinadas características geométricas y de operación.

En relación a la simulación de peatones, Aimsun no permite simular peatones por lo que fue necesario incorporar pistas interiores para los peatones y además pistas interiores para los vehículos que doblan. El fin de las pistas interiores para los vehículos es para que no se generen conflictos entre los peatones que cruzan y los vehículos que giran, en base a los resultados obtenidos por Zabala (2008).

## 4.4 Calibración del modelo

Para la realización de la microsimulación en el software Aimsun, es necesario realizar la calibración de los parámetros necesarios que nos permitan emular lo más real posible el estado de las intersecciones que se desean estudiar, ya sea su geometría, velocidades permitidas, aspecto de los vehículos que circulan por ellas, entre otros.

### 4.4.1 Parámetro de calibración

Los parámetros utilizados para la realización de este estudio serán los obtenidos por Ortiz (2006) para los vehículos y los obtenidos por Zavala (2008) para los peatones, los cuales fueron obtenidos observando y midiendo directamente en terreno el comportamiento vehicular. Estos parámetros se ajustan perfectamente a la realidad por lo que se consideran como valores fijos para todas las simulaciones.

Los parámetros calibrados para vehículos y buses son:

- ✓ Máxima velocidad
- ✓ Aceptación del Límite de Velocidad
- ✓ Mínima Distancia entre Vehículos
- ✓ Largo de Vehículos
- ✓ Máxima Aceleración Deseada
- ✓ Desaceleración Normal
- ✓ Tiempo de Reacción en Reposo
- ✓ Tiempo de Reacción
- ✓ Combustible y Emisiones.

Los parámetros calibrados para peatones son:

- ✓ Aceleración
- ✓ Desaceleración
- ✓ Distancia Mínima entre Peatones

- ✓ Tiempo de Reacción
- ✓ Velocidad

Para el consumo de combustible se debe definir los siguientes cinco parámetros de consumo de combustible para cada tipo de vehículo, basado en el trabajo realizado por Gonzales (2009). Estos especifican la tasa de consumo de combustible del vehículo:

- ✓  $C_1$  y  $C_2$  : Corresponde al consumo de combustible durante la aceleración del vehículo, ml/s
- ✓  $F_1$ : Tasa de consumo de combustible, en litros por cada 100 km, para vehículos que circulen a una velocidad constante de 90 km/h.
- ✓  $F_2$ : Tasa de consumo de combustible, en litros por cada 100 km, para vehículos que circulen a una velocidad constante de 120 km/h.
- ✓  $V_m$ : Velocidad a la que la tasa de combustible , en ml/s, es mínima para un vehículo circulando a velocidad de crucero
- ✓  $F_i$ : Tasa de consumo de combustible para vehículos en reposo en ml/s.
- ✓  $F_d$ : Tasa de consumo de combustible durante las desaceleraciones, frenadas en ml/s.

Para la simulación de las emisiones contaminantes se utilizaron los valores predeterminados por Aimsun. Los contaminantes medidos por el software son:

- ✓ Dióxido de Carbono ( $CO_2$ )
- ✓ Óxido de Nitrógeno ( $NO_x$ )
- ✓ Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)
- ✓ Material Particulado (PM)

Los valores para cada variable se encuentran en el anexo F.

## 5 RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se ilustran los resultados obtenidos posteriores a la simulación para su análisis. Estos datos corresponden al promedio de cada una de las intersecciones para cada variable estudiada. Los resultados obtenidos para cada intersección estudiada se presentan en el ANEXO A.

### 5.1 Hora Punta Tarde Sin Pista de Viraje a la Derecha

En la Tabla 7 se presentan los resultados obtenidos para el consumo de combustibles de automóviles y transporte público (buses), los cuales se expresan en litros (l). Se observa una mayor variación en el consumo de combustible en el transporte público, alcanzando un 4,7%.

Parámetro	Unidades	Promedio		
		Sin VDeR	Con VDeR	% Disminución
Consumo de Combustible – Automóvil	l	104,63	103,22	1,3%
Consumo de Combustible - Bus	l	22,24	21,20	4,7%
Emisión - CO <sub>2</sub> – Automóvil	Kg	166,32	164,51	1,1%
Emisión - CO <sub>2</sub> – Bus	Kg	72,58	71,46	1,5%
Emisión - NO <sub>x</sub> – Automóvil	g	337,30	332,07	1,6%
Emisión - NO <sub>x</sub> – Bus	g	579,36	569,74	1,7%
Emisión - PM – Automóvil	g	71,52	71,22	0,4%
Emisión - PM – Bus	g	21,62	21,37	1,2%
Emisión - VOC – Automóvil	g	374,99	359,46	4,1%
Emisión - VOC – Bus	g	50,03	49,09	1,9%
Tiempo de Viaje - Automóvil	s	36,6	35,0	4,3%
Tiempo de Viaje – Bus	s	34,1	32,2	5,5%

**Tabla 5.- Promedio de Intersecciones de parámetros simulados con y sin VDeR.**

(Fuente: Elaboración propia)

Con respecto a la emisión de gases contaminantes no se obtuvo una gran variación permitiendo el VDeR, promediando en general una disminución de 1,8% en los gases emitidos por automóviles y de 1,6% en las emanaciones del transporte público.

En cuanto al tiempo de viaje en que se demora un automóvil al resolver la intersección se observó una disminución considerable. En automóviles particulares y transporte público se obtuvo una variación de un 4,3% y 5,5 % respectivamente.

Solo en la intersección de Barros Arana – Tucapel no se observaron beneficios. Esto debido a ser una intersección céntrica presenta un gran nivel de flujo peatonal.

## **5.2 Hora Punta Tarde Con Pista de Viraje a la Derecha**

Una de las obstaculizaciones para el VDeR que se observó en la microsimulación, corresponde a los vehículos que pretenden realizar un viraje a la derecha pero el vehículo que lo antecede en la fase roja del semáforo no realiza la misma maniobra, por ende el VDeR pierde eficiencia. Es por esto que se seleccionaron 4 intersecciones en las que se presentaron con mayor frecuencia dicha situación y se les incorporó una pista exclusiva de viraje a la derecha. En la Tabla 6 se presentan los resultados promedio obtenidos con la incorporación de la pista.

El consumo de combustible al añadir una pista exclusiva para el viraje a la derecha presenta una disminución considerable. Se logra disminuir en general 8 l el consumo de combustible en la intersección, lo que representa una variación de un 4%. En la intersección de Av. Prat – Av. Los Carrera se obtuvo una reducción de 12% en buses del transporte público.

Parámetro	Unidades	Promedio 4 intersecciones		
		Sin VDeR	Con VDeR + PISTA	% Disminución
Consumo de Combustible – Coche	l	167,6	163,56	2%
Consumo de Combustible – Bus	l	36,35	32,45	11%
Emisión - CO <sub>2</sub> - Coche	Kg	218,3	215,1	1%
Emisión - CO <sub>2</sub> - Bus	Kg	114,8	109,25	5%
Emisión - NO <sub>x</sub> - Coche	g	543,7	529,61	3%
Emisión - NO <sub>x</sub> - Bus	g	935,6	885,52	5%
Emisión - PM - Coche	g	112,7	110,41	2%
Emisión - PM - Bus	g	36,30	33,72	7%
Emisión - VOC - Coche	g	248,5	238,15	4%
Emisión - VOC - Bus	g	77,24	74,16	4%
Tiempo de Viaje - Coche	s	42,63	40,79	4%
Tiempo de Viaje - Bus	s	40,17	36,80	8%

**Tabla 6.- Promedio de Intersecciones de parámetros simulados Hora Punta Tarde con pista de viraje.**

**(Fuente: Elaboración propia).**

En relación a los contaminantes emitidos en este nuevo escenario, al igual que las variables anteriores en general se observa un aumento en el porcentaje de disminución de contaminantes, destacando por sobre el resto la emisión de Material Particulado (PM) de buses que llega a un 7% de variación.

El tiempo de viaje en la intersección presenta una considerable reducción, alcanzando una disminución de 8% en lo que se refiere a transporte público, lo que desde el punto del conductor hace más expedita la conducción lo que conlleva a un mayor índice de serviciabilidad de las vías.

### 5.3 Hora Fuera de Punta

Los resultados que se muestran en la Tabla 7, corresponden a la simulación realizada entre las 10:30 y 18:30 horas. Como no se realizó la medición de flujo vehicular y peatonal en este horario, dado que se consideró este análisis posterior a las simulaciones anteriores y solo para tener un estimativo de lo que sucede en horario fuera punta se consideró que los flujos para la hora fuera de punta fueran 50% del flujo vehicular y peatonal en hora punta tarde.

Si bien el consumo combustible es mayor, dado por la cantidad de horas que presenta este periodo del día, el porcentaje de disminución al permitir el VDeR no es mayor que en hora punta tarde.

Dato	Unidades	PROMEDIO		
		F.P Sin VDeR	F.P Con VDeR	% Disminución
Consumo de Combustible – Todos	l	478,38	468,58	3%
Consumo de Combustible – Coche	l	400,16	394,84	2%
Consumo de Combustible – Bus	l	78,22	73,73	6%
Emisión - CO <sub>2</sub> - Coche	Kg	644,75	637,88	1%
Emisión - CO <sub>2</sub> - Bus	Kg	256,65	253,51	1%
Emisión - NO <sub>x</sub> - Coche	g	1599,70	1577,42	2%
Emisión - NO <sub>x</sub> - Bus	g	2088,40	2046,70	2%
Emisión - PM - Coche	g	300,49	298,58	1%
Emisión - PM - Bus	g	95,23	93,98	2%
Emisión - VOC - Coche	g	650,36	626,29	4%
Emisión - VOC - Bus	g	175,32	172,78	1%
Tiempo de Viaje - Coche	s	33,72	32,47	4%
Tiempo de Viaje - Bus	s	31,99	30,38	5%

**Tabla 7.- Promedio de Intersecciones de parámetros simulados Fuera Punta.**

(Fuente: Elaboración propia)

En cuanto a la emisión de contaminantes, no presentan mayor reducción. En general promedian variaciones de 1,5%.

Los tiempos de viaje obtuvieron resultados más considerables, alcanzado un 5% de reducción en promedio. La intersección de Av. Prat – O'Higgins presenta una disminución para los buses de 5 s (11%).

Comparado con el estudio realizado en Suecia, el cual obtuvo en promedio beneficios que bordeaban entre el 0,5% - 4%, los beneficios obtenidos se encontrarían dentro de la media.

## 6 CONCLUSIONES

El objetivo de esta investigación era estimar los beneficios de implementar una política de VDeR y que consecuencias tendría esta. Al analizar los resultados obtenidos de la simulación de las intersecciones en estudio, se puede observar que en casi todas las situaciones se obtienen disminuciones en los diferentes parámetros analizados. En general se observa una disminución promedio de todos los parámetros de aproximadamente de un 2%. Los resultados obtenidos en esta investigación se encuentran dentro del rango de beneficios obtenidos en el estudio realizado en Suecia.

Se observa una gran cantidad de países en los que se utiliza este tipo de política de tráfico, buscando darle mayor fluidez al flujo vehicular y obteniendo menores consumos de combustible. Se observa que en países donde se permite el VDeR, se restringen ciertas zonas para realizar la maniobra dado por las características operativas de las intersecciones.

La intersección con mayores beneficios obtenidos corresponde a Av. Prat – O’Higgins, logrando disminuciones de todas sus variables en promedio de 4,8%. Ello tiene una gran connotación, considerando que es una de las principales intersecciones por las que transita gran parte del transporte público. Puntualmente en el consumo de combustible correspondiente al transporte público, se reduce en un 13%, lo que se podría pensar en un beneficio directo para el usuario del transporte público. Que esta intersección sea una de las que obtenga mayor disminuciones de sus variables con la implementación del VDeR, radica en que cuenta con pista exclusiva de viraje a la derecha. Esto elimina la posibilidad de que exista un vehículo que obstaculice la maniobra y le reste eficiencia.

Solo en la intersección de Barros Arana – Tucapel se obtuvieron en los diferentes parámetros estudiados, beneficios de 0%. Esto debido a ser una intersección céntrica presenta un gran nivel de flujo peatonal, el cual obstaculiza y no permite que se genere la ventana suficiente de tiempo y espacio para que un conductor pueda realizar la maniobra de VDeR. En base a esto y en intersecciones que presentan menos flujo peatonal, en las que se obtienen mejores resultados permitiendo el VDeR, se puede inferir que flujo peatonal es un factor preponderante que la eficiencia que tiene el VDeR.

Al implementar una pista exclusiva de viraje a la derecha, en aquellas intersecciones que no la presentan, se pueden obtener reducciones de los parámetros de hasta un 5% en general. La intersección que logra mayores dividendos con la implementación de la pista de viraje, es Av. Los Carrera – Fresia. Logrando una reducción en el consumo de combustible para los buses de 12%.

Si bien en horario valle no se obtuvieron los resultados esperados, se sigue observando disminución en las diferentes variables. Que no se logren mejores resultados de esta simulación se puede deber a que los flujos ocupados para la simulación, no corresponde a los reales. Esto ya que en horario valle no disminuye el flujo en la proporción que se utilizó, sino más bien el flujo es variable durante este periodo.

Dado por los resultados obtenidos se recomienda la implementación del VDeR. Como programa piloto se aconseja implementar de forma parcializada en el transporte público, considerando comenzar en aquellas líneas que en su recorrido presenten gran número de viraje a la derecha. Posterior a esto realizar un estudio con los datos reales medidos en terreno y evaluar si se obtienen los beneficios observados en este estudio, para luego pasar a implementar esta política de forma general.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- ADOT, Arizona Department of Transportation (2007). Roadway Design Guidelines. Roadway Engineering group. Phoenix.
- CAL Y MAYOR, R. Y CARDENAS, J. (2006). Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones. 8ª Edición. México, Alfaomega.
- COSÍĆ, N. (2012). Evaluation of Right Turn on Red at Signalized Intersections with VISSIM – Pilot study for a more mobile Lund.
- FERGUSON, E. T. (1991) Overview of Evaluation Methods with Applications to Transport Demand Management. Transportation Research Record 1321.
- GONZÁLEZ, A. (2009). Simulación Ambiental del Tráfico en las Cercanías de la Glorieta de las Pirámides. Proyecto fin de Carrera, Universidad CARLOS III de Madrid, España.
- GONZÁLEZ, R. (2005). Calibración del Microsimulador AIMSUN para Flujo Ininterrumpido en la Ciudad de Concepción. Proyecto de Título Ingeniería Civil. Universidad del Bío-Bío.
- HOOGENDOORN S.P Y BOVY P.H.L (2000) State of the art of vehicular traffic flow modeling. Accepted for publication in the Special Issue in Road Traffic Modelling and Control of the Journal of System and Control Engineering o Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers, Part i.
- MANUAL DE CAPACIDAD DE CARRETERAS (1994) (Highway Capacity Manual). Asociación Técnica de Carreteras.
- MUTCD - Manual on Uniform Traffic Control Devices (2009)
- MCSHANE, WILLIAM R., ROESS, ROGER P. (1990). Traffic Engineering. Englewood Cliffs. New Jersey: Prentice Hall.
- MESPIVU (1988). Manual de Diseño y Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana. Santiago, Chile.
- MTT – Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (2000). Manual de Señalización de Tránsito, Capítulo 2, Señales Verticales.
- NHTSA, National Highway Traffic Safety Administration (1995). The Safety Impact of Right-turn on Red: Report to Congress. Report prepared by the Office of Program

Development and Evaluation. Traffic Safety Programs. Number 86. Washington D.C, USA.

- NHICOLAS J. GARBER, LESTER A. HOEL (2005). Traffic and Highway Engineering. Editorial Thomson.
- ORTIZ, L (2006). Calibración de un Modelo de Microsimulación para Flujo Mixto Interrumpido, con Aplicación a la Ciudad de Concepción. Proyecto de Título Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío.
- PARKER, M.R., JORDAN, Jr. R.F., SPENCER, J.A., BEALE, M.D. and GOODALL, L.M. (1976). Right-turn on Red. A Report to the Governor and General Assembly of Virginia, Report No. VHTRC 76-R9, Charlottesville, Virginia.
- PREUSSER, D.F., LEAF, W.A., DEBARTOLO, K.B. and BLOMBERG, R.D. (1981). The Effects of Right-turn on red on Pedestrian and Bicyclist Accidents, Report No. DOT HS 806 182, Dunlap & Associates, Inc., Darien, Connecticut.
- Office of Program Development and Evaluation Traffic Safety Programs(1994)
- Ecuador , Reglamento General para la Aplicación de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Transito y Seguridad Vial - Capítulo VII.
- TSS – Transport Simulation Systems (2013) Aimsun 8 Users’ Manual.
- UVC – Uniform Vehicle Codige (1979).
- VELASCO, L. (2004). Calibración de Parámetros Básicos Vehiculares para Flujo Interrumpido en Modelos de Simulación Microscópica: Getram en Santiago. Tesis Magister Ciencias de la Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- ZABALA, F. (2008). Incorporación de Peatones en la Calibración de un Modelo de Microsimulación para Flujo Interrumpido. Proyecto de Título Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío.

## ANEXOS

### ANEXO A

#### a.1.- Países con VDeR

##### a.1.1. - Canadá

En general se permite el VDeR, a menos que exista una señal que indique lo contrario. En tanto en la Isla de Montreal sigue siendo ilegal el viraje a la derecha en rojo, p como es una de las pocas ciudad en la que se prohíbe al entrar a Montreal existe señaléticas que recuerdan al conductor que en esta ciudad está prohibido el VDeR.

En que Quebec el VDeR fue prohibido hasta el año 2003, lo que cambio posterior a un estudio en el que se demostró que el permitir el VDeR no significa un mayor aumento en el número de accidentes. En la actualidad se permite la maniobra mencionada en todos aquellas intersecciones en las que no exista una señal que la prohíba.

##### a.1.2.- México

En México en general el VDeR es ilegal a menos que una señal lo permita. En cambio en el Distrito Federal de la Ciudad de México se autoriza el VDeR en todas las intersecciones, así está definido en su Reglamento de Tránsito del Distrito Federal, Artículo 66, que señala:

*“La vuelta a la derecha será continua y se dará con precaución, aun cuando el semáforo se encuentre en rojo.”*

##### a.1.3.- Puerto Rico

Al igual que en Estados Unidos, desde el 1 de Enero de 1980, Puerto Rico posee Leyes que permiten el viraje a la derecha en rojo a menos que una señal prohíba el movimiento, previo una detención total del vehículo.

##### a.1.4.- República Dominicana

Como está bajo la legislación de Estados Unidos, se permite giro a la derecha en rojo después de realizar una parada completa. Esto se restringe para vehículos que transportan materiales peligrosos y autobuses escolares, los que deben esperar la luz verde para realizar el giro.

#### *a.1.5.- Alemania*

En Alemania los giros a la derecha en rojo no están permitidos en todas las intersecciones. Solo se autoriza en aquellas intersecciones que presenten una flecha, solo después de realizar una parada total y cediendo el paso a todos los demás usuarios que se vean en conflicto con la maniobra.

#### *a.1.6.- Polonia*

Se puede realizar el VDeR solo si una flecha de luz verde parpadeante (adicional al semáforo principal) está presente. El conductor debe realizar una detención total para posteriormente realizar la maniobra.

#### *a.1.7.- Portugal*

No se autoriza el VDeR a menos que lo permita una flecha verde o una luz amarilla intermitente, el conductor deberá proceder con precaución y cediendo el paso a los flujos que se ven involucrados en su maniobra.

#### *a.1.8.- Rusia*

Se permite el VDeR siempre que una luz de flecha verde encendida (a parte del semáforo) esté presente. Los conductores deben dar preferencia a vehículos y peatones que circular de forma perpendicular al flujo del vehículo que desea realizar la maniobra. Si la flecha verde está apagada queda prohibido la maniobra.

#### *a.1.9.- Holanda*

Holanda es un caso particular. En este país el medio de transporte más utilizado por la población es la bicicleta, por lo que existe un reglamento y normativas para el uso de esta al igual que para automóviles.

En Holanda, en ciertas ocasiones se les permite al usuario de bicicletas el viraje a la derecha en rojo en aquellas intersecciones en exista la señalética debida.

*a.1.10.- Francia*

Se permite el VDeR sin detención total, cuando exista una flecha amarilla parpadeante en el semáforo. Los automovilistas primero deben comprobar que no existen peatones cruzando y dar el paso a los vehículos que circulan por la calzada perpendicular.

*a.1.11.- Nueva Zelanda*

En Nueva Zelanda se conduce por la izquierda y se permiten los virajes a la izquierda en rojo en aquellas intersecciones en las exista la señalización pertinente que permita la maniobra.

*a.1.12.- Australia*

En Australia la conducción es por el lado izquierdo y donde está permitido el viraje a la izquierda en rojo en intersecciones en que se autorice la maniobra, posterior a una detención total.

En la actualidad se estudia la posibilidad de extender esta política a todas las intersecciones, sin necesidad de la existencia de señalética que lo autorice. Para esto, se instaló en ciertas intersecciones.

*a.1.13.- China*

El viraje a la derecha en rojo está permitido. El conductor que realiza la maniobra no debe interferir con el resto del tráfico, dando preferencia a peatones y automóviles que circulen en otra dirección.

*a.1.14.- Brasil*

Solo se permite el viraje a la derecha en rojo en aquellas intersecciones que exista una señal de tránsito que lo permita.

*a.1.15.- Ecuador*

En el Capítulo VII del Reglamento General para la Aplicación de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial se señala:

*“Artículo 213.- En las vías reguladas por semáforos, cuando indique luz roja, bajo estricta responsabilidad del conductor y siempre que no existan vehículos circulando en sentido contrario, podrá virar hacia la derecha extremando las precauciones necesarias.”*

#### *a.1.16.- Colombia*

En Colombia solo se permite el VDeR en la ciudad de Bogotá, tal como se señala en la Resolución de la Secretaría Distrital de Tránsito y Transporte (1993) que se presenta continuación:

*“Artículo 1º: Autorízase como medida de excepción; a los vehículos que transitan en las vías de la ciudad, siempre que las condiciones de tráfico lo permitan y que la maniobra no ofrezca peligro, el giro a la derecha en las intersecciones semaforizadas cuando el semáforo se encuentra en rojo y el vehículo se desplace por el carril derecho.*

En dicho artículo además se hacen referencia a las intersecciones en las que se prohíbe realizar un VDeR. También señala que se debe dar preferencia a los peatones y que no se podrá realizar un esta maniobra cuando la intersección se encuentre saturada.

#### **a.2.- Señalética en países con VDeR**

Se presentan las señaléticas que se utilizan en los diversos países en los que se permite el VDeR con la presencia de estas. Además las señaléticas utilizadas para prohibir la maniobra en los países que se permite el VDeR en todas intersecciones.



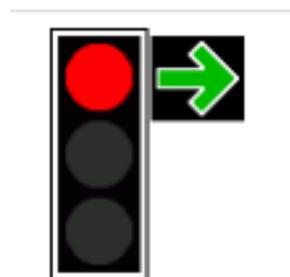
**Señalética en Nueva York**



**Señalética que prohíbe VDeR en Canadá**



**Señalética en Montreal**



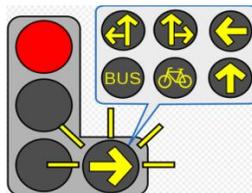
**Flecha verde que permite el VDeR.**



**Señalética que permite a ciclistas VDeR.**



**Señalética en Nueva Zelanda que permite el viraje a la izquierda en rojo.**



**Flecha amarilla parpadeante que permite el VDeR.**



**Señalética en Australia que permite el viraje a la izquierda en rojo.**



**Señalética en Brasil que autoriza el VDeR.**

**ANEXO B**

A continuación se presentan los resultados por intersección estudiada de las simulaciones realizadas. Las simulaciones fueron realizadas para hora peak tarde (h.p.t) sin VDeR y con VDeR, hora fuera de punta (h.f.p) y en algunas intersecciones en hora peak tarde agregando una pista de viraje a la derecha.

**Av. Prat - O’Higgins**

	Unid	H.P.T SIN VDeR	H.P CON VDeR	% Var.	F.P SIN VDeR	H.F.P CON VDeR	% Var.
Consumo de Combustible - Todos	Lt	112,5	106,5	5,3%	484,0	447,5	8%
Consumo de Combustible - Coche	Lt	84,8	82,4	2,9%	350,0	336,8	3,8%
Consumo de Combustible - Bus	Lt	27,7	24,1	12,9%	134,0	110,7	17,3%
Emisión - CO2 - Coche	Kg	158,8	156,1	1,7%	609,8	592,2	2,9%
Emisión - CO2 - Bus	Kg	95,8	91,6	4,4%	365,9	343,1	6,2%
Emisión - NOx - Coche	gr	375,9	366,6	2,5%	1533,3	1479,7	3,5%
Emisión - NOx - Bus	gr	693,2	654,8	5,5%	2889,2	2655,2	8,1%
Emisión - PM - Coche	gr	90,9	90,5	0,4%	317,4	315,6	0,6%
Emisión - PM - Bus	gr	28,8	27,0	6,1%	104,6	95,3	8,8%
Emisión - VOC - Coche	gr	146,6	136,0	7,2%	672,1	606,2	9,8%
Emisión - VOC - Bus	gr	53,6	51,4	4,1%	223,9	210,2	6,1%
Tiempo Total de Viaje - Coche	seg	33,5	31,2	6,8%	38,4	35,0	8,9%
Tiempo Total de Viaje - Bus	seg	35,8	31,8	11,2%	41,9	35,3	15,7%

**Resultados simulación de Av. Prat – O’Higgins  
(Elaboración propia)**

**Av. Prat – San Martín**

	Unid	H.P.T SIN VDeR	H.P.T CON VdeR	% Var.	H.P.T VdeR + pista	% Var.	F.P SIN VdeR	F.P CON VdeR	% Var.
Consumo de Combustible – Todos	Lt	73,0	71,3	2,3%	68,58	4%	280,8	272,5	2,9%
Consumo de Combustible – Coche	Lt	36,1	35,9	0,5%	35,74	0,6%	139,9	139,1	0,6%
Consumo de Combustible – Bus	Lt	36,9	35,4	4,1%	32,84	7,3%	140,9	133,4	5,3%
Emisión - CO2 – Coche	Kg	80,6	80,4	0,3%	80,02	0,5%	314,5	313,6	0,3%
Emisión – CO2 – Bus	Kg	105,8	105,9	0%	103,65	2%	398,4	398,1	0,1%
Emisión – Nox – Coche	gr	203,9	202,9	0,5%	198,22	2,3%	792,1	789,0	0,4%
Emisión – Nox – Bus	gr	857,7	846,4	1,3%	823,90	2,7%	3274,3	3219,2	1,7%
Emisión – PM – Coche	gr	41,5	41,4	0,2%	40,16	3,2%	156,1	156,13	0,0%
Emisión – PM – Bus	gr	28,7	28,7	0,0%	27,50	4,2%	103,6	103,0	0,6%
Emisión – VOC – Coche	gr	89,1	88,4	0,9%	86,02	2,7%	345,7	342,7	0,9%
Emisión – VOC – Bus	gr	68,5	67,7	1,2%	66,65	1,6%	265,5	261,7	1,4%
Tiempo Total de Viaje – Coche	seg	37,5	37,2	1,0%	36,0	3,1%	36,2	35,9	1,0%
Tiempo Total de Viaje – Bus	seg	39,7	38,2	3,9%	35,6	6,7%	38,4	36,6	4,8%

**Resultados simulación de Av. Prat – San Martín**

(Fuente: Elaboración propia)

**Chacabuco – Lincoyan**

Parámetros	Unid	H.P.T SIN VDeR	H.P.T CON VDeR	% Var.	H.F.P SIN VDeR	H.F.P CON VDeR	% Var.
Consumo de Combustible - Todos	Lt	83,9	82,5	1,6%	316,5	311,5	1,6%
Consumo de Combustible - Coche	Lt	82,5	81,4	1,3%	311,3	307,4	1,3%
Consumo de Combustible - Bus	Lt	1,4	1,1	22,5%	5,1	4,1	20,1%
Emisión - CO2 - Coche	Kg	147,0	145,8	0,9%	553,9	548,7	0,9%
Emisión - CO2 - Bus	Kg	5,4	5,1	5,3%	19,7	19,1	3,0%
Emisión - NOx - Coche	gr	362,4	357,4	1,4%	1358,2	1340,6	1,3%
Emisión - NOx - Bus	gr	40,5	37,4	7,7%	155,9	146,6	6,0%
Emisión - PM - Coche	gr	76,2	75,7	0,7%	266,3	265,2	0,4%
Emisión - PM - Bus	gr	1,5	1,3	7,9%	4,8	4,6	4,4%
Emisión - VOC - Coche	gr	166,9	145,0	13,1%	557,3	539,3	3,2%
Emisión - VOC - Bus	gr	28,8	25,1	13,0%	13,2	12,7	4,2%
Tiempo Total de Viaje - Coche	seg	33,9	32,9	2,8%	31,3	30,4	3,1%
Tiempo Total de Viaje - Bus	seg	29,9	24,3	18,6%	27,2	22,8	15,9%

**Resultados de simulación de Chacabuco – Lincoyan**

(Fuente: Elaboración propia)

**Av. Prat - Chacabuco**

Parámetros	Unid	H.P.T SIN VDeR	H.P.T CON VDeR	% Var.	H.P.T VDeR + pista	%Var r.	SIN VDeR F.P	CON VDeR F.P	% Var.
Consumo de Combustible - Todos	Lt	92,4	88,8	4,0%	89,5	3,1%	312,5	301,4	3,6%
Consumo de Combustible - Coche	Lt	79,6	76,3	4,2%	77,6	2,6%	266,5	256,1	3,9%
Consumo de Combustible - Bus	Lt	12,7	12,4	2,8%	11,9	6,4%	45,9	45,3	1,4%
Emisión - CO2 - Coche	Kg	167,4	163,2	2,5%	163,2	2,5%	583,5	569,6	2,4%
Emisión - CO2 - Bus	Kg	45,0	44,6	1,0%	43,0	4,5%	169,2	168,1	0,6%
Emisión - NOx - Coche	gr	415,9	399,6	3,9%	400,6	3,7%	1443,2	1389,5	3,7%
Emisión - NOx - Bus	gr	357,4	353,0	1,2%	344,3	3,6%	1355,4	1346,5	0,7%
Emisión - PM - Coche	gr	96,5	95,4	1,2%	92,4	4,3%	328,8	322,1	2,0%
Emisión - PM - Bus	gr	11,4	11,3	1,3%	10,6	7,2%	40,6	40,2	1,1%
Emisión - VOC - Coche	gr	177,6	162,1	8,8%	161,6	9,0%	564,5	520,4	7,8%
Emisión - VOC - Bus	gr	29,5	29,3	0,8%	28,9	1,9%	114,6	114,2	0,4%
Tiempo Total de Viaje - Coche	seg	38,6	35,6	7,7%	35,5	7,8%	32,6	30,1	7,7%
Tiempo Total de Viaje - Bus	seg	32,6	31,9	2,1%	31,2	4,1%	29,7	29,4	1,0%

**Resultados de simulación de Av. Prat - Chacabuco**

(Fuente: Elaboración propia)

**Chacabuco – Castellón**

Parámetro	Unid	H.P.T SIN VDeR	H.P.T CON VDeR	% Var.	H.F.P SIN VDeR	H.F.P CON VDeR	% Var.
Consumo de Combustible - Todos	Lt	50,0	48,4	3,2%	199,3	192,7	3,3%
Consumo de Combustible - Coche	Lt	46,4	44,8	3,5%	185,3	178,7	3,6%
Consumo de Combustible - Bus	Lt	3,6	3,6	0,2%	14,0	14,0	0,1%
Emisión - CO2 - Coche	Kg	124,5	122,2	1,8%	490,4	481,5	1,8%
Emisión - CO2 - Bus	Kg	16,4	16,3	0,2%	61,9	61,9	0,0%
Emisión - NOx - Coche	gr	300,2	293,6	2,2%	1201,2	1168,3	2,7%
Emisión - NOx - Bus	gr	137,4	137,2	0,1%	526,8	526,7	0,0%
Emisión - PM - Coche	gr	58,4	57,8	1,1%	220,0	217,3	1,2%
Emisión - PM - Bus	gr	3,2	3,2	0,4%	11,4	11,4	0,1%
Emisión - VOC - Coche	gr	120,9	113,9	5,8%	488,9	461,2	5,7%
Emisión - VOC - Bus	gr	12,6	12,6	0,1%	48,7	48,7	0,0%
Tiempo Total de Viaje - Coche	seg	29,0	27,4	5,7%	29,2	27,4	6,5%
Tiempo Total de Viaje - Bus	seg	23,5	23,5	0,2%	23,3	23,3	0,0%

**Resultados de simulación de Chacabuco – Lincoyan**

(Fuente: Elaboración propia)

**Chacabuco - Paicaví**

Parámetro	Unid	H.P.T SIN VDeR	H.P.T CON VDeR	% Var.	H.F.P SIN VDeR	H.F.P CON VDeR	% Var.
Consumo de Combustible - Todos	Lt	74,9	72,1	3,8%	277,3	269,2	2,9%
Consumo de Combustible - Coche	Lt	69,4	66,6	4,0%	256,3	248,3	3,1%
Consumo de Combustible - Bus	Lt	5,5	5,5	0,4%	21,0	21,0	0,3%
Emisión - CO2 - Coche	Kg	186,5	181,9	2,5%	648,6	639,4	1,4%
Emisión - CO2 - Bus	Kg	22,8	22,8	0,3%	93,5	93,1	0,4%
Emisión - NOx - Coche	gr	87,5	82,5	5,7%	1558,0	1527,3	2,0%
Emisión - NOx - Bus	gr	179,2	178,8	0,2%	722,1	720,6	0,2%
Emisión - PM - Coche	gr	7,4	7,2	1,6%	349,6	345,1	1,3%
Emisión - PM - Bus	gr	5,6	5,6	0,6%	22,9	22,7	0,8%
Emisión - VOC - Coche	gr	1294,0	1215,0	6,1%	575,1	550,1	4,3%
Emisión - VOC - Bus	gr	15,2	15,2	0,1%	61,3	61,3	0,1%
Tiempo Total de Viaje - Coche	seg	38,2	35,9	6,0%	32,5	31,2	4,2%
Tiempo Total de Viaje - Bus	seg	29,3	29,2	0,3%	27,4	27,4	0,1%

**Resultados de simulación de Chacabuco - Paicaví**

(Fuente: Elaboración propia)

**Av. Los Carreras - Prat**

Dato	Unid.	SIN VDeR	CON VDeR	% Var	CON VDeR + PISTA	% Var.	SIN VDeR F.P	CON VDeR F.P	% Var.
Consumo de Combustible - Todos	Lt	548,8	543,9	0,9%	529,8	3,5%	1803,1	1794,9	0,5%
Consumo de Combustible - Coche	Lt	490,5	488,4	0,4%	477,6	2,6%	1622,7	1618,5	0,3%
Consumo de Combustible - Bus	Lt	58,3	55,5	4,8%	52,1	10,6%	180,4	176,4	2,2%
Emisión - CO2 - Coche	Kg	492,3	490,0	0,5%	484,7	1,5%	1732,2	1726,6	0,3%
Emisión - CO2 - Bus	Kg	153,2	150,9	1,5%	144,3	5,8%	518,1	515,6	0,5%
Emisión - NOx - Coche	gr	1237,3	1230,1	0,6%	1210,2	2,2%	4307,3	4302,3	0,1%
Emisión - NOx - Bus	gr	1267,8	1236,7	2,5%	1188,4	6,3%	4299,0	4263,0	0,8%
Emisión - PM - Coche	gr	278,3	278,2	0,0%	275,5	1,0%	918,3	917,9	0,1%
Emisión - PM - Bus	gr	42,8	42,1	1,6%	39,4	8,0%	132,6	131,7	0,6%
Emisión - VOC - Coche	gr	601,9	589,2	2,1%	581,1	3,5%	1945,2	1915,4	1,5%
Emisión - VOC - Bus	gr	99,1	97,2	1,9%	94,6	4,5%	353,2	351,0	0,6%
Tiempo Total de Viaje - Coche	seg	64,4	62,8	2,6%	61,9	3,9%	48,2	47,8	0,9%
Tiempo Total de Viaje - Bus	seg	58,2	55,2	5,2%	52,8	9,3%	44,4	43,6	1,8%

**Resultados de simulación de Av. Los Carreras – Prat (Fuente: Elaboración propia)**

**Av. Los Carrera - Fresia**

Parámetro	Unid	H.P.T SIN VDeR	H.P.T CON VDeR	% Var	H.P.T CON VDeR + PISTA	% Var.	H.F.P SIN VDeR F.P	H.F.P CON VDeR F.P	% Var.
Consumo de Combustible - Todos	Lt	101,7	100,8	0,9%	96,1	5,5%	383,6	378,9	1,2%
Consumo de Combustible - Coche	Lt	64,4	64,2	0,3%	63,2	1,7%	245,0	244,2	0,3%
Consumo de Combustible - Bus	Lt	37,4	36,6	1,9%	32,9	12,1%	138,6	134,7	2,8%
Emisión - CO2 - Coche	Kg	132,9	132,8	0,1%	132,4	0,4%	520,4	519,4	0,2%
Emisión - CO2 - Bus	Kg	155,1	155,1	0,0%	146,0	5,9%	586,4	585,8	0,1%
Emisión - NOx - Coche	gr	317,9	316,3	0,5%	309,4	2,7%	1247,5	1244,1	0,3%
Emisión - NOx - Bus	gr	1259,8	1254,2	0,4%	1185,4	5,9%	4823,0	4792,1	0,6%
Emisión - PM - Coche	gr	34,5	34,5	0,0%	33,6	2,7%	123,7	123,7	0,0%
Emisión - PM - Bus	gr	62,2	61,7	0,8%	57,3	7,9%	231,0	230,8	0,1%
Emisión - VOC - Coche	gr	125,5	125,5	0,0%	123,8	1,3%	489,5	486,3	0,6%
Emisión - VOC - Bus	gr	111,8	111,4	0,3%	106,4	4,9%	433,9	431,8	0,5%
Tiempo Total de Viaje - Coche	seg	29,9	29,8	0,4%	29,7	0,9%	29,0	28,8	0,6%
Tiempo Total de Viaje - Bus	seg	30,1	29,6	1,7%	27,5	8,6%	28,6	28,0	2,1%

**Resultados de simulación de Av. Los Carreras – Fresia (Fuente: Elaboración propia)**

**Tucapel – Barros Arana**

Parámetro	Unid.	H.P.T SIN VDeR	H.P.T CON VDeR	% Var.	H.F.P SIN VDeR	H.F.P CON VDeR	% Var.
Consumo de Combustible - Todos	Lt	64,4	64,4	0,0%	248,3	248,3	0,0%
Consumo de Combustible - Coche	Lt	58,3	58,3	0,0%	224,4	224,4	0,0%
Consumo de Combustible - Bus	Lt	6,2	6,2	0,1%	23,9	23,9	0,1%
Emisión - CO2 - Coche	Kg	88,0	88,0	0,0%	349,3	349,3	0,0%
Emisión - CO2 - Bus	Kg	24,2	24,2	0,1%	96,5	96,5	0,1%
Emisión - NOx - Coche	gr	31,5	31,5	0,0%	956,5	955,8	0,1%
Emisión - NOx - Bus	gr	185,1	185,0	0,0%	749,8	750,1	0,0%
Emisión - PM - Coche	gr	28,0	28,0	0,0%	24,0	24,0	0,1%
Emisión - PM - Bus	gr	4,2	4,2	0,0%	205,3	205,1	0,1%
Emisión - VOC - Coche	gr	429,5	429,4	0,0%	214,8	214,7	0,0%
Emisión - VOC - Bus	gr	15,3	15,3	0,0%	63,3	63,4	0,0%
Tiempo Total de Viaje - Coche	seg	26,8	26,8	0,0%	25,7	25,6	0,2%
Tiempo Total de Viaje - Bus	seg	28,3	28,2	0,2%	26,9	26,9	0,0%

**Resultados de simulación de Tucapel – Barros Arana (Fuente: Elaboración propia)**

**Gral. Novoa – Los Lirios**

<b>Dato</b>	<b>Unid.</b>	<b>SIN VDeR</b>	<b>CON VDeR</b>	<b>% Variación</b>
Consumo de Combustible - Todos	Lt	66,7	64,3	3,7%
Consumo de Combustible - Coche	Lt	34,1	33,8	1,1%
Consumo de Combustible - Bus	Lt	32,6	31,5	3,3%
Emisión - CO <sub>2</sub> - Coche	Kg	85,1	84,4	0,8%
Emisión - CO <sub>2</sub> - Bus	Kg	101,9	97,9	4,0%
Emisión - NO <sub>x</sub> - Coche	gr	40,4	39,9	1,3%
Emisión - NO <sub>x</sub> - Bus	gr	815,5	813,8	0,2%
Emisión - PM - Coche	gr	3,3	3,3	0,8%
Emisión - PM - Bus	gr	27,9	26,8	3,7%
Emisión - VOC - Coche	gr	597,7	589,8	1,3%
Emisión - VOC - Bus	gr	65,7	65,6	0,2%
Tiempo Total de Viaje - Coche	seg	33,8	30,5	9,7%
Tiempo Total de Viaje - Bus	seg	33,6	30,2	10,1%

**Resultados de simulación de Gral. Novoa – Los Lirios****(Fuente: Elaboración propia)****ANEXO C****c.1.- Ingeniería de Transito**

El Instituto de Ingenieros de Transporte (ITE), define la Ingeniería de Transporte y la Ingeniería de Tránsito como:

Ingeniería de Transporte: “Aplicación de los principios tecnológicos y científicos a la planeación, al proyecto funcional, a la operación y a la administración de las diversas partes de cualquier modo de transporte, con el fin de proveer la movilización de personas y mercancías de una manera segura, rápida, confortable, conveniente, económica y compatible con el medio ambiente”.

Ingeniería de Transito: “Aquella fase de la ingeniería de transporte que tiene que ver con la planeación, el proyecto geométrico y la operación de tránsito por calles y carreteras, sus redes, terminales, tierras adyacentes y su relación con otros modos de transporte”.

Los tres componentes básicos de la Ingeniería de Tránsito que define Cal y Mayor, R. y Cárdenas, J. 1994, son: el usuario (relacionado con peatones y conductores), el vehículo y vialidad (relacionado con calles y carreteras), los cuales definen las características de una red de tránsito.

#### *c.1.1.- Peatones*

Un peatón es toda persona que se desplaza a pie, ya sea caminando o corriendo. En manuales actuales también se considera como peatones a personas que se trasladan en patines o patinetas. Se puede considerar como peatón potencial a la población en general. En zonas urbanas la mayor cantidad de calles se presenta la interacción entre peatones y vehículos, lo que hace importante estudiar las intersecciones donde es mayor la interacción entre estos dos componentes del tránsito.

Al igual que los vehículos, se pueden identificar como características principales del tráfico peatonal, el flujo, velocidad y densidad, los que son parámetros estadísticos.

##### *c.1.1.1.- Flujo Peatonal:*

Número de peatones que atraviesa una determinada zona de control (transversal a flujo peatonal) en un periodo establecido. Los flujos son medidas en una sección determinada y por definición requiere de la medida del tiempo. Las tasas de flujos son expresadas en términos de peatones por minuto.

##### *c.1.1.2.- Velocidad Peatonal*

Se expresa en metros por segundo corresponde al tiempo que requiere un peatón en atravesar una determinada sección transversal de la vía.

$$V = \frac{n * L}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

Dónde:

n: Número de peatones

L: Longitud de la sección.

$t_i$ : Tiempo requerido para recorrer la sección transversal del peatón  $i$ .

#### c.1.1.3.- *Densidad Peatonal*

La densidad se define como el número de individuos por unidad de área de vía peatonal. El procedimiento de medición de esta variable se debe realizar mediante fotografías y filmación de flujos peatonales, consiste en contar los peatones en la vía peatonal y dividir este valor por la superficie de la vía controlada.

La densidad también puede ser calculada mediante la ecuación fundamental del tráfico, para lo que es necesario conocer la velocidad y el flujo peatonal. Esta ecuación es también llamada ecuación identidad fundamenta:

$$k = \frac{q}{\bar{v}}$$

Dónde:

$k$  = densidad peatonal

$q$  = flujo peatonal

$\bar{v}$  = velocidad peatonal

La densidad peatonal normalmente es medida en peatones por metro cuadrado ( $p/m^2$ ).

#### 1.3.1.1.4. *Espacio Peatonal*

El espacio peatonal usualmente es usado como un sustituto a la densidad. El espacio peatonal es el inverso de la densidad y se expresa como:

$$espacio = \frac{1}{k}$$

El espacio peatonal se define como la superficie media que dispone cada peatón dentro de la vía peatonal analizada. Es evaluada en metros cuadrados por peatón ( $m^2/p$ ) y es la unidad más práctica para el análisis.

### *c.1.2.- Vehículos*

#### *c.1.2.1.- Flujo Vehicular*

El estudio del flujo vehicular saber la forma como circulan los vehículos en cualquier tipo de vialidad, lo cual permite determinar el nivel de eficiencia de la operación (Cal y Mayor, R. y Cárdenas, J; 2007).

El flujo vehicular presenta tres características principales: Flujo; Densidad; Velocidad. Estos tres parámetros ayudan a planificar, diseñar y evaluar la efectividad de medidas implementadas en una red de tránsito.

#### *c.1.2.2.- Flujo (q)*

Es la tasa horaria equivalente a la cual transitan los vehículos por un punto, en una carretera durante un periodo menor a 1 hora. Puede determinarse mediante (Rafael, C. Y. M. R., & Mayor, Y.; 2002):

$$q = \frac{n \times 3600}{T} \text{ veh/h}$$

Dónde:

n= El número de vehículos que transitan por un punto en el camino en T segundos

q= El flujo horario equivalente

#### *c.1.2.3.- Densidad (k)*

Algunas veces denominada concentración, es el número de vehículos que viajan sobre una longitud unitaria de carretera para un instante de tiempo. La unidad de densidad es el número de vehículos por kilómetro (veh/km) (Rafael, C. Y. M. R., & Mayor, Y.; 2002).

#### c.1.2.4.- *Velocidad (u)*

Es la distancia recorrida por un vehículo durante una unidad de tiempo. Puede expresarse en kilómetros por hora (km/h).

#### c.1.2.5.- *Velocidad media en el tiempo ( $\bar{u}_t$ )*

Es la media aritmética de las velocidades de los vehículos que transitan por un punto, en una carretera durante un intervalo de tiempo. La velocidad media en el tiempo se calcula mediante

$$\bar{u}_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i$$

Donde

n = número de vehículos que transitan por un punto de la carretera

$u_i$  = velocidad del vehículo i-ésimo (km/h)

#### c.1.2.6.- *Velocidad media en el espacio ( $\bar{u}_s$ )*

Es la media armónica de las velocidades de los vehículos que transitan por un punto, de una carretera durante un intervalo tiempo.

$$\bar{u}_s = \frac{n \times L}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

Donde

$\bar{u}_s$  = velocidad media en el espacio (km/h)

n = número de vehículos

$t_i$  = tiempo que le toma al vehículo i-ésimo recorrer un tramo de la carretera (segundos)

$u_i$  = velocidad de vehículo i-ésimo (km/h)

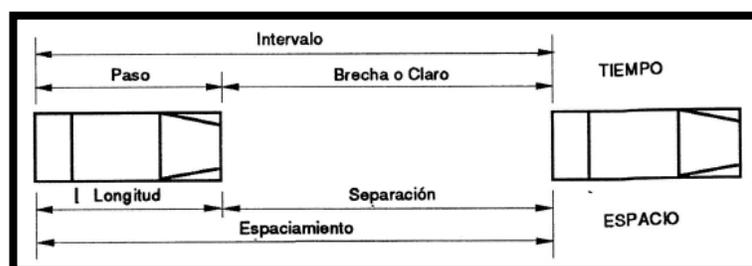
$L$  = longitud del tramo de carretera (km)

*c.1.2.7.- Intervalo simple ( $h_i$ )*

Es el intervalo de tiempo entre el paso de dos vehículos consecutivos, generalmente expresado en segundos y medido entre puntos homólogos del par de vehículos

*c.1.2.8.- Espaciamiento simple ( $s_i$ )*

Es la distancia entre el paso de dos vehículos consecutivos, usualmente expresada en metros y medida entre sus defensas traseras.



**Espaciamiento simple entre vehículos**

*c.1.3.- Intersecciones señalizadas*

Una intersección es el común entre dos caminos que se cruzan o convergen los flujos que cada calzada. Los flujos de tráfico compiten por el espacio común entre sí, que se da periódicamente para algunos flujos, mientras que otras corrientes de conflicto son comandos de entrada en ese momento (Ćosić, 2012). A la vez cada flujo es controlado por distintos métodos de control de tráfico, ya sea por señalización o semáforos.

Los semáforos son parte importante dentro del sistema de flujo vehicular ya que permite un flujo relativamente ordenado, expedito y mantiene tiempo de esperas aceptables. En la actualidad existen semáforos que poseen la tecnología necesaria para signar los tiempos por medio de una regulación actuada y de multifase.

Se emplean los siguientes términos para describir las operaciones semaforicas (Manual de Capacidad de Carreteras, SADASDSD)

- *Controlador (semáforo)*: Es un dispositivo de señalización de tráfico, que cambia los colores de las luces señalizadoras de tráfico según un plan fijo o variable.
- *Ciclo*: Cualquier secuencia completa de indicaciones o mensajes de un semáforo.
- *Duración de ciclo*: Es el tiempo total, en segundos, requerido por el semáforo para completar un ciclo.
- *Fase*: Es la parte de un ciclo asignada a una combinación de movimientos de tráfico que tiene derecho a pasar simultáneamente durante uno o más intervalos.

*Desplazamiento*: Es el lapso de tiempo en segundos o el porcentaje de la duración del ciclo entre el comienzo de una fase de luz verde en una intersección y el comienzo de la correspondiente fase de luz verde en la siguiente intersección. Este es el tiempo base de los sistemas de control

*Interfase o Tiempo de cambio*: Es la duración total del tiempo en segundos de las señales indicadoras de luz amarilla y el “todo rojo”, que tienen lugar entre las fases para permitir evacuar la intersección antes de que los movimientos contrapuestos se ponga en marcha. Es decir, es el tiempo que se provee a los vehículos para despejar la intersección después del intervalo de luz verde, antes que se lance en movimiento el flujo en espera.

*Tiempo de Verde*: Tiempo en segundos, dentro de una fase dada, durante la cual la indicación “verde” está a la vista.

*Intervalo Amarillo*: El propósito principal de la indicación de luz amarilla después de la luz verde es alertar a los usuarios del hecho que está cercano el cambio a la luz roja y permitir a los vehículos estar alerta para cruzar la intersección. Una mala elección del intervalo de la luz amarilla puede llevar a la creación de una *zona de dilema*, que es un área cercana a una intersección en la cual ningún vehículo puede detenerse en forma segura antes de una intersección ni aclarar, o despejar, la intersección sin acelerar antes de la llegada de la luz roja. El intervalo de luz amarilla requerido es el periodo de tiempo que garantiza a un vehículo que se aproxima detenerse de forma segura o continuar a través de la intersección sin acelerar.

## ANEXO D

En la siguiente Tabla 5, se describirá cómo el modelo representa o trata el movimiento de los vehículos en el sistema vial para cada nivel.

	<b>Macrosimulación</b>	<b>Mesosimulación</b>	<b>Microsimulación</b>
<b>Red</b>	Arcos y nodos	Arcos, sub-arcos y nodos	Calles y cruces
<b>Vehículos</b>	Flujo promedio	Pelotones o grupos de autos	Vehículo individual
<b>Tiempo</b>	Hora promedio	Sub-periodo de tiempo (ej.: 5 min)	Sub-periodos de tiempo (ej.: 0,1 segundo)
	Estático	Dinámico	Dinámico

### Representación de movimiento para cada nivel de simulación

#### d.1.- Revisión de los modelos utilizados por AIMSUN

A continuación se presenta una descripción y análisis de la teoría básica con la que los vehículos circulan por la red modelada y que sustentan la estructura del modelo de microsimulación AIMSUN.

##### d.1.1.- Modelo de seguimiento vehicular (*Car-following*)

Se basa en el modelo Gipps (1981,1986), con algunas modificaciones, que determina el comportamiento de un vehículo dependiendo de su entorno. Está compuesto principalmente por dos componentes, aceleración y desaceleración. El primer componente representa la intención de un vehículo de alcanzar cierta velocidad deseada, mientras el segundo reproduce las limitaciones impuestas por el vehículo precedente al tratar de conducir a la velocidad deseada. La velocidad máxima a la que un vehículo (n) puede acelerar durante un período de tiempo (t, t+T) es:

##### d.1.2.- Modelo de cambio de pista (*Lane-Changing*)

Este modelo puede ser considerado como un desarrollo del modelo de cambio de pista de Gipps. Se modela el comportamiento como un proceso de decisión, donde se analizan las siguientes preguntas:

**¿Es necesario el cambio de pista?** Depende de varios factores, como lo son la necesidad de los virajes, la distancia al siguiente viraje, y las condiciones de tráfico de la pista actual.

**¿Es deseable cambiar de pista?** Se requiere verificar si habrá una mejora en las condiciones de tráfico al cambiar de pista (medida en términos de velocidad y distancia).

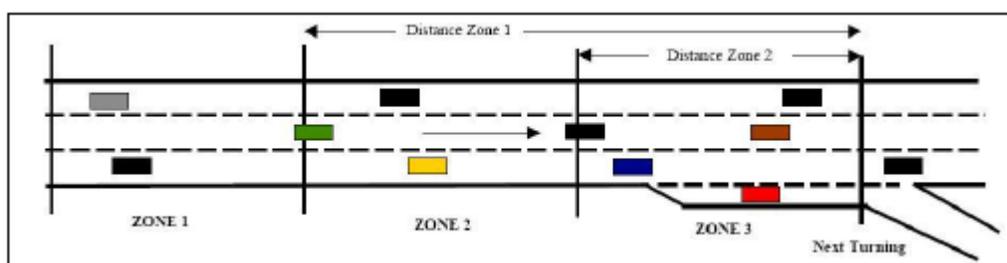
**¿Es posible cambiar de pista?** Se verifica que haya una suficiente brecha para realizar el cambio. Para esto se calculan las condiciones de frenado del vehículo precedente de la nueva pista y las condiciones de frenado impuestas a los vehículos aguas arriba de la nueva pista.

Para representar el comportamiento del conductor al momento de cambiarse de pista se han definido tres zonas en una sección, cada una de las cuales corresponde a distintas motivaciones para el cambio de pistas:

**Zona 1:** la decisión de cambio de pista se rige por las condiciones de tráfico presente.

**Zona 2:** esta es la zona donde se realizan la mayor cantidad de cambios de pistas. La decisión se rige por el próximo viraje en una intersección o la salida de una autopista. Se busca la brecha necesaria y se realiza el cambio, sin afectar el comportamiento de las pistas adyacentes.

**Zona 3:** los vehículos están obligados a ingresar a la pista de viraje deseada, reduciendo la velocidad e incluso deteniéndose de manera completa. Asimismo los vehículos de la pista adyacente, alteran su comportamiento, permitiendo que los vehículos que desean realizar el cambio de pista encuentren la brecha necesaria.



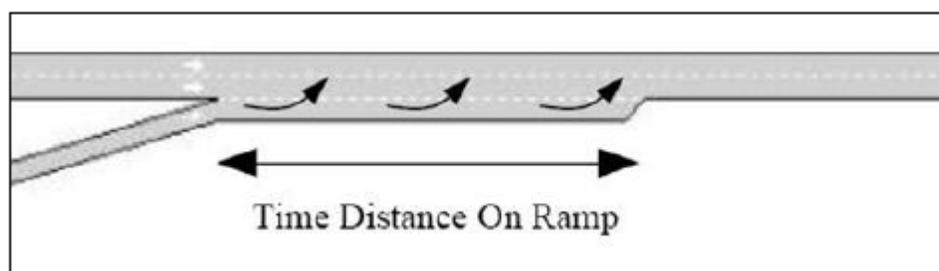
### Zonas de cambio de pista

(Fuente: Manual Aimsun)

### *d.1.3.- Modelo de Cambio de Pista para accesos*

Un modelo especial de cambio de pista es utilizado para el caso de los accesos (on ramps). En este caso se aplica otro modelo de cambio de pista para el auto que trata de emerger. Un parámetro adicional es considerado, el Time Distance on Ramp que es la distancia, en segundos, desde el final de la pista a la cual la pista lateral es considerada una pista de acceso. Cuando los vehículos que se encuentran en un acceso y están más lejos del fin de la pista que la distancia definida por el Time Distance on Ramp, éstos se comportan como en la Zona 1, cuando están más cerca tratan de emerger. La idea de este parámetro es caracterizar desde qué punto la pista auxiliar es considerada una “on ramp” en vez de una pista lenta o pista lateral.

Este submodelo también toma en cuenta otros aspectos, entre ellos, si el vehículo que trata de emerger es el primero en la pista, si está frenando o incluso si ha llegado al final de la pista y está detenido esperando, en este caso un parámetro que cobra relevancia es el Maximun Give Way Time, el cual determina cuánto tardará en que el vehículo detenido se ponga impaciente. Pasado este tiempo el vehículo considerará que está en la Zona 3, por tanto se cambiará de pista incluso si esto perjudica a los otros conductores. Otra particularidad del modelo de “on ramps” es que para los vehículos que están en la Zona 3 y se acercan a un “on ramp”, éstos chequearán si es que hay vehículos tratando de emerger, si esto sucede tratarán de cambiarse hacia la pista de la izquierda (aplicando Zona 1) (Figura 8).



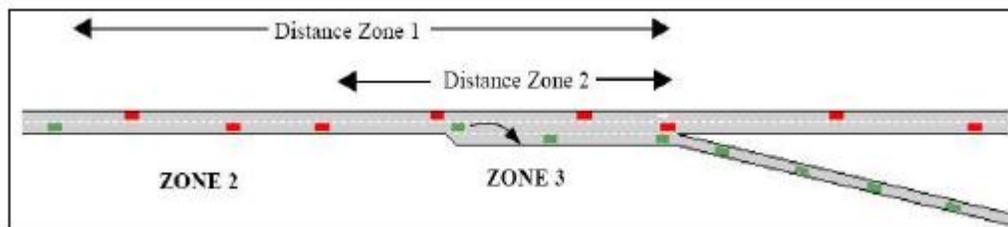
**Zonas en el modelo de cambio de pistas para acceso**

**(Fuente: Manual Aimsun)**

### *d.1.4.- Modelo de Cambio de Pista para salidas*

Este modelo se aplica en el caso de salidas de autopistas. En este caso se aplica el modelo de cambio de pista estándar. Un vehículo que debe tomar la próxima salida intentará cambiarse a la pista de la derecha una vez ingresando a la Zona 2 y una vez que esté alineado con la pista de salida hará el

cambio de pista hacia la derecha. En el caso de grave congestión la salida puede congestionarse por completo tapando la pista de salida en su totalidad, en este caso el vehículo que debe tomar la salida se detendrá completamente esperando por el gap necesario para realizar el cambio de pista.



**Zonas de cambio de pistas para salida**  
(Manual de Aimsun)

#### *d.1.5.- Modelo “Look Ahead” (vista hacia adelante)*

Cuando las condiciones de tráfico están muy congestionadas puede pasar que los vehículos no puedan alcanzar la pista que les permita efectuar un giro y por ende lo pierden. Cambiando ciertos parámetros como la distancia de las Zona 1 y 2, las aceleraciones de los vehículos, el paso de simulación, etc. o también usando poli secciones en vez de secciones, cuando es posible, se puede minimizar el número de giros perdidos; pero esto no es suficiente.

Para mejorar esto, el submodelo “Look Ahead” tiene por objetivo informar a los automovilistas de los dos próximos giros en sus rutas con el fin que puedan tomar decisiones de cambio de pista con un criterio más amplio y no sólo tomando en cuenta el próximo giro. El “Look Ahead Model” se puede resumir en 4 puntos.

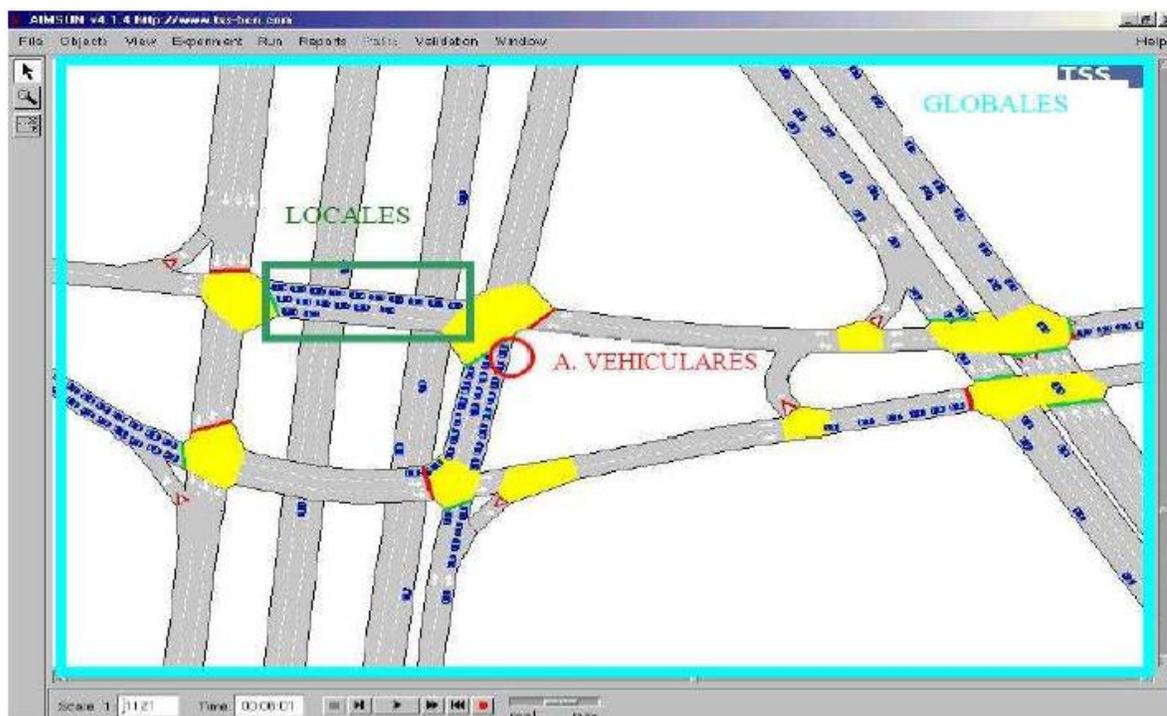
En todo momento cada vehículo conoce sus próximos 2 giros, por tanto la decisión de cambio de pista está influenciada por 2 giros consecutivos.

Las Zonas 2 y 3 del modelo de cambio de pista se extienden más allá que los límites de la sección, afectando la sección aguas arriba. Cuando se hace un giro se toma en cuenta la pista de destino basado en la información del próximo giro. Se le introdujo una mayor variabilidad a la definición de las zonas, con lo cual se obtiene una mejor distribución de las maniobras de cambio de pista.

#### *d.2.- Parámetros de AIMSUN.*

Los parámetros que utiliza AIMSUN se pueden agrupar en tres categorías (AIMSUN NG User's Manual V8 – TSS, 2014), según el nivel de detalle representados en la fig.(...). Las categorías son:

- Atributos de los vehículos
- Locales
- Globales



**Esquema de categorías de parámetros.**

**(Fuente: Velasco, L.M (2003))**

### *d.2.1.- Atributos vehiculares*

Estos parámetros están definidos al nivel del tipo de vehículo, como por ejemplo: automóvil, bus, taxi, camión, etc., y tiene influencia en toda la red. Se puede definir tanto la medida de los atributos como su desviación, y sus valores mínimos y máximos. Las características particulares de cada tipo de vehículo son tomadas de una distribución Normal Truncada. Los parámetros de este grupo son los siguientes:

- Nombre: nombre del tipo de vehículo.
- Largo: corresponde a la longitud, en metros, para el tipo específico de vehículo. Este parámetro se utiliza tanto para fines gráficos como de modelación. Influye en la modelación vehicular ya que en los modelos de comportamiento vehicular es tomada preponderante.
- Ancho: corresponde al ancho, en metros, para el tipo específico de vehículo. Este valor sólo se utiliza con propósitos gráficos, y no influye en la modelación.
- Máxima Velocidad deseada: corresponde a la máxima velocidad, en km/hr, a la cual el tipo de vehículo desearía viajara en cualquier punto de la red.
- Máxima aceleración: corresponde a la máxima aceleración, en  $m/s^2$ , que puede alcanzar el tipo de vehículo. Este parámetro es consecuencia del tipo de vehículo junto con el comportamiento del conductor. Debido a esto, su cota máxima depende de las especificaciones técnicas del parque automotriz. Esta aceleración es utilizada en el modelo de seguimiento vehicular de Gipps.
- Desaceleración normal: corresponde a la máxima desaceleración, en  $m/s^2$ , que puede alcanzar el tipo de vehículo. Es análogo al parámetro anterior, pero en caso de disminución de velocidad. Esta desaceleración es utilizada en el modelo de seguimiento Gipps.
- Máxima desaceleración: corresponde a la máxima desaceleración, en  $m/s^2$ , bajo circunstancias especiales, como caso de emergencia.
- Aceptación de velocidad: representa la obediencia que posee el tipo de vehículos a los límites de velocidad establecidos,  $0 \leq \theta \leq 1$ , significa que la máxima velocidad deseada será menor que el límite de velocidad. Su valor es  $\theta \geq 0$ .

- Distancia mínima entre vehículos: es la distancia que guarda un vehículo con el precedente al estar detenidos. Este valor también es considerado para ubicar el primer vehículo detenido respecto a la línea de detención.
- Máximo tiempo de cesión de paso: cuando un vehículo está esperando para cruzar o incorporarse en una intersección prioritaria, al sobrepasar este tiempo de espera es más agresivo y reduce los márgenes de aceptación. También es utilizado en el modelo de cambio de pista.
- Vehículos guiados: es el porcentaje de vehículos que son guiados a través de la red. Esto se da al trabajar con matrices O/D y elección dinámica de rutas, indicando cuántos vehículos son los que siguen a otros en las elecciones de ellas.
- Aceptación de ser guiados: es la probabilidad de que un vehículo siga una recomendación,  $0 \leq \lambda \leq 1$  entrega el nivel de aceptación de las indicaciones para ser guiado.
- Consumo de combustible: son seis parámetros que dicen relación con las tasas de consumo de combustible y que son utilizados en el modelo del mismo nombre.

#### *d.2.1.1.- Atributos Locales*

Este grupo de parámetros afectan el comportamiento de todos los automovilistas en un punto específico de la red modelada. Esto permite representar comportamientos que tienen un ámbito local mientras los conductores se encuentran atravesando la sección correspondiente, pero cambia a medida que el vehículo se cambia de ella y que sólo se observan en determinadas situaciones. Los parámetros de este grupo son:

- Límite de velocidad de la sección: velocidad máxima permitida, en km/hr, para los vehículos que viajan a través de una sección.
- Límite de velocidad por pista: velocidad máxima permitida, en km/hr, para los vehículos que viajan a través de una pista en particular.
- Velocidad de viraje: máxima velocidad, en km/hr, a la cual viaja un vehículo al momento de realizar un viraje. Este valor es calculado automáticamente por el modelo dependiendo de la geometría de la intersección, pero también puede ser modificado manualmente.

- Distancia de visibilidad en intersecciones: al acercarse un vehículo a una intersección debe ceder el paso, se aplica el modelo de aceptación de gaps al ser la distancia al fin de la sección menor que este valor (m).
- Velocidad de Yellow Box: un vehículo evita ingresar al cruce sin bloqueos (yellow box) si el vehículo precedente circula a una velocidad menor que la indicada por medio de este parámetro, en km/hr.
- Distancia zona 1: distancia desde el final de la Zona 1 al punto donde finaliza la sección en la cual está el vehículo. Esta distancia está definida como el tiempo que es necesario para recorrer cierta distancia. Esta conversión es posible considerando el límite de velocidad de la sección y la velocidad a la cual desean circular los vehículos por ella. Se utiliza tiempo para que la distancia sea variable, dependiendo del vehículo ya que cada uno puede poseer distinta velocidad deseada. Se utiliza este parámetro en el modelo de cambio de pista.
- Distancia zona 2: distancia, en segundos, desde el final de la Zona 2 al punto donde finaliza la sección en la cual está el vehículo. Su transformación en distancia es igual al caso anterior y se utiliza en el mismo modelo.
- Pendiente de la sección: la pendiente de una sección influye en las tasas de aceleración y desaceleración que experimentan los vehículos que circulan por ella. Los valores son entregados como porcentajes o por medio de cotas, siendo datos de terreno.

#### *d.2.1.2.- Atributos Globales*

Estos parámetros se relacionan con los modelos de comportamiento vehicular a través de toda la red. Estos no están definidos ni en forma local ni en forma específica para cada tipo de vehículo. Son utilizados para todos los vehículos, en toda la red y durante la simulación.

#### *d.2.1.3.- Parámetros Generales:*

- Tiempo de reacción del conductor: corresponde al tiempo que toma al conductor reaccionar frente a cambios en la velocidad del vehículo precedente. Se utiliza en el modelo de seguimiento vehicular. También corresponde a los intervalos de simulación, lo

que hace que al haber cambios (disminución en su valor) se reaccione en forma más inmediata a fenómenos presentes en la red.

- Tiempo de reacción en detención: corresponde al tiempo que le toma a un vehículo detenido reaccionar frente a la aceleración del vehículo anterior o al cambio de luz roja a verde. Este tiempo se usa sólo para los vehículos detenidos, mientras que el anterior está definido para los que están en movimiento. Este parámetro tiene gran influencia en la descarga de colas.
- Velocidad entrando a la cola: los vehículos que se mueven bajo este valor, en m/s, se consideran como detenidos. Afecta la recolección de datos para detenciones y colas.
- Velocidad dejando la cola: los vehículos que estaban en cola y superan esta velocidad, en m/s, se consideran como en movimiento. Afecta la recolección de datos para detenciones y colas.

Los dos últimos parámetros afectan directamente en el comportamiento vehicular, ya que como parte del modelo de cambio de pista, los vehículos esperan que se presente el gap aceptable para realizar el cambio, y no les gusta esperar detenidos más que cierto tiempo. La condición de detención viene dada por estos parámetros.

#### *d.2.1.4.- De seguimiento vehicular:*

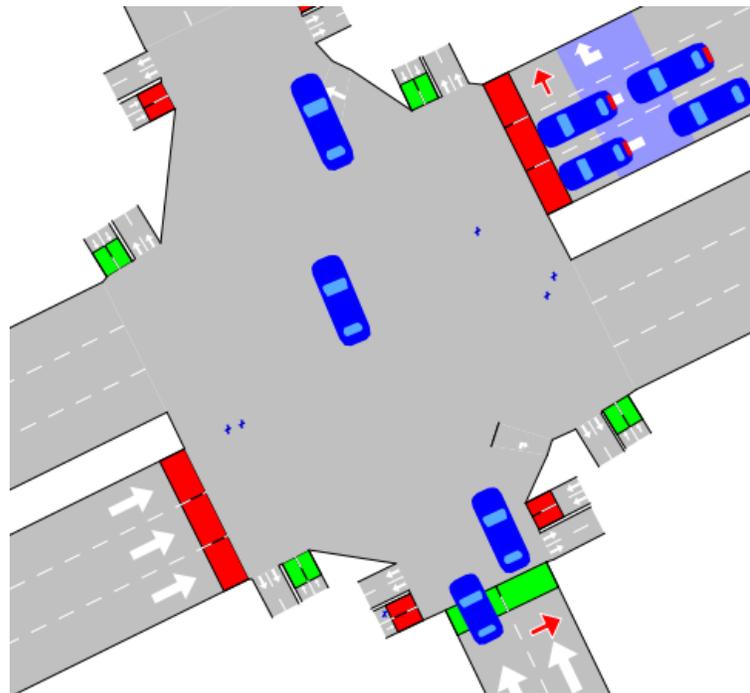
- Número de vehículos: es el número máximo de vehículos a considerar en el modelo de seguimiento vehicular, que es utilizado para modelar la influencia de las pistas adyacentes en el modelo.
- Máxima distancia: es la máxima distancia hacia delante, en m, considerada en el modelo de seguimiento vehicular.
- Máxima diferencia de velocidad: es la máxima diferencia de velocidad, en km/hr, entre una pista y la adyacente en el modelo de seguimiento vehicular.
- Máxima diferencia de velocidad en rampa de acceso: es la máxima diferencia de velocidad, en km/hr, entre la pista principal y la de acceso en rampa en el modelo de seguimiento.

#### *d.2.1.5.- De Cambio de Pista:*

- Porcentaje de adelantamiento: representa el porcentaje de la velocidad desde el cual un vehículo decide adelantar. Debe ser mayor a cero y menor o igual a uno. Se utiliza para modelar la decisión de adelantamiento.
- Porcentaje de recuperación: representa el porcentaje de la velocidad desde el cual un vehículo decide volver a la pista lenta después de haber adelantado. Debe ser mayor que cero y menor o igual a uno. Se utiliza para modelar la decisión de adelantamiento.
- Modelo de rampa de acceso: el usuario puede seleccionar cuál de las dos versiones disponibles de modelo para rampas de acceso desea utilizar.

### **d.3.- Simulación de Peatones**

En la figura a continuación se presenta la forma en que se incorporaron los peatones en el software Aimsun, puesto que este no permite ingresarlos de forma directa.



**Incorporación de peatones en Aimsun.**

**(Fuente propia)**

**ANEXO F**

A continuación se presentan los valores de los parámetros calibrados en el software

<b>Parámetro</b>	<b>Medi</b>	<b>Desviación</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Mínima Distancia entre Vehículos (m)	2,16	0,82	0,66	4,47
Mínima Distancia entre buses (m)	1,98	0,86	0,4	3,94
Largo de Vehículos (m)	4,65	0,51	3,68	5,81
Largo de Buses (m)	8,2	1,3	7	10
Ancho de Vehículos (m)	1,68	0,08	1,48	1,86
Ancho de Buses (m)	2,3	0,12	2	2,6
Máxima Aceleración Deseada (m/s <sup>2</sup> )	2	0,3	1,6	2,6
Máxima Aceleración Deseada Buses(m/s <sup>2</sup> )	1,89	0,44	1,06	3,08
Desaceleración Normal (m/s <sup>2</sup> )	2,3	0,7	1,5	4,9

**Caracterización de parque vehicular**  
(Fuente: Ortiz, L., 2006)

<b>Parámetro</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Mínima Distancia entre Vehículos (m)	0,2	0,15	0,05	0,35
Largo de Vehículos (m)	0,5	0,1	0,4	0,5
Máxima Velocidad (km/h)	5,2	1,0	3,5	8,3
Tiempo de Reacción (s)	0,9			
Tiempo de Reacción en Reposo(s)	1,4	0,7	0,5	4,3
Aceptación del Límite de Velocidad	1	0	0,99	1

**Caracterización de peatones**  
(Fuente: Zavala, F., 2008)

Los parámetros utilizados para la simulación de consumo de combustibles son los que se presentan a continuación.

Tipo de	F <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>d</sub>	V <sub>m</sub>
<b>Autos</b>	0,33	0,42	0,26	4,7	6,5	0,54	60
<b>Buses</b>	3	1	0,5	14	18	3,5	50

**Parámetros consumo de combustible**

**(Fuente: GONZALES, L., 2009)**