



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

**METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE EMISIONES VEHICULARES
BASADA EN MODOS DE CONDUCCIÓN Y POTENCIA ESPECÍFICA
VEHICULAR**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

ARIE DAVID ARAYA CSASZAR

PROFESOR GUÍA:
MAURICIO OSSES ALVARADO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ROBERTO CORVALÁN PAIVA
NANCY MANRÍQUEZ DONOSO

SANTIAGO DE CHILE
ENERO 2008

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MECÁNICO
POR: ARIE ARAYA C.
PROF. GUÍA: SR. MAURICIO OSSES A.

“METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE EMISIONES VEHICULARES BASADA EN MODOS DE CONDUCCIÓN Y POTENCIA ESPECÍFICA VEHICULAR”

Los modelos de estimación de emisiones para fuentes móviles entregan la información de entrada a los modelos de dispersión de contaminantes, que definen la calidad del aire en zonas urbanas. Dentro de estos modelos, un elemento decisivo para el cálculo de emisiones son los modos de conducción de los vehículos en la ciudad. Las principales características de los modos de conducción son la velocidad instantánea y la aceleración, incluyendo además la pendiente de la ruta. Con estos parámetros es posible caracterizar el estado de operación del motor mediante la potencia específica del vehículo (PSV) segundo a segundo.

El objetivo principal de esta memoria es aplicar una metodología de cálculo de emisiones vehiculares basada en modos de conducción y PSV para vehículos livianos en zonas urbanas.

Este nuevo esquema de modelación basado en PSV es utilizado para comparar los modos de conducción y su impacto sobre las emisiones vehiculares, entre dos centros urbanos de América Latina: Santiago y Buenos Aires. La metodología utilizada en ambas localidades es la misma y consiste en registrar velocidad y altura segundo a segundo en vehículos instrumentados. Para describir fielmente el comportamiento de conducción de cada centro urbano se seleccionan 3 sectores (alto ingreso, bajo ingreso, comercial) y, dentro de cada sector, 3 tipos de recorrido (autopista, avenida, residencial).

La información recopilada a través de esta metodología es utilizada para caracterizar los modos de conducción, su PSV y las emisiones de contaminantes asociadas a cada centro urbano. La PSV traduce cuantitativamente los parámetros característicos de un modo de conducción instantáneo a niveles de demanda energética del motor. Finalmente, utilizando una base de datos de emisiones vehiculares para una categoría particular, y ponderándola con los valores de potencia específica obtenidos para cada recorrido, se determina el nivel de contaminantes unitarios emitidos en cada ciudad. Además, se propone una variante a la fórmula principal del cálculo de potencia específica propuesta en la literatura, específicamente en el término asociado a la energía potencial.

Se obtuvieron diferencias importantes a nivel de velocidades medias, velocidades máximas y aceleraciones entre un centro urbano y otro. Sin embargo, estas diferencias se ven disminuidas al expresar los modos de conducción en términos de PSV, debido a la preponderancia de los eventos de detención en comparación a aquellos en que se presentan cambios de velocidad. A pesar de que las diferencias a nivel de PSV son leves, estas generan un gran impacto en las emisiones vehiculares unitarias. De lo anterior se concluye que los hábitos de conducción inciden en forma importante en el cálculo de emisiones vehiculares y deben ser considerados en la determinación de inventarios a través de modelos de emisión.

Índice General

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Marco General	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo principal	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
2. ANTECEDENTES	3
2.1. Modos de Conducción	4
2.2. Potencia Específica Vehicular	5
2.2.1. Definición de PSV	5
2.2.2. Precarga del Motor	9
2.2.3. BINS de Potencia	10
2.3. Estimación de Emisiones	11
2.3.1. Creación de base de datos:	12
2.3.2. Cálculo de emisiones unitarias:	14
3. METODOLOGÍA	16
3.1. Levantamiento de información	16
3.1.1. Modos de Conducción a analizar	16
3.1.2. Selección de Recorridos	16
3.1.3. Selección de Horarios	17
3.1.4. Criterio de conducción	18
3.1.5. Adquisición de Datos	18
3.2. Procesamiento de Datos	19
3.2.1. Análisis y filtro de Dinámicas de Conducción	19
3.2.2. Representación de Ciclos en función de VSP	19
3.2.3. Estimación de Emisiones unitarias	19
3.2.4. Comparación de datos	20
3.3. Reformulación de la metodología de cálculo de PSV	20

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4.1. Determinación experimental de modos de conducción en Santiago y Buenos Aires	21
4.1.1. Resumen de velocidades medias en los sectores de Santiago	22
4.1.2. Resumen de velocidades medias en los sectores de Buenos Aires	26
4.1.3. Comparación de comportamientos en ambos centros urbanos	29
4.2. Caracterización de los modos de conducción a través de la PSV	31
4.2.1. Recorridos de Santiago y Buenos Aires	33
4.2.2. Autopistas de Santiago v/s Autopistas de Buenos Aires	38
4.2.3. Comportamiento de una avenida en dos horarios distintos	39
4.2.4. Santiago v/s Buenos Aires	41
4.3. Impacto de los modos de conducción en la generación de emisiones unitarias	42
4.3.1. Base de datos de emisiones vehiculares	42
4.3.2. Comparación de recorridos de Santiago y Buenos Aires	44
4.3.3. Autopistas de Santiago y Buenos Aires	47
4.3.4. Emisiones de una avenida en dos horarios distintos	48
4.3.5. Comparación de emisiones unitarias de ambos centros urbanos	49
4.4. Rol de la altura en la fórmula de PSV y reformulación de la metodología de cálculo de esta	51
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
5.1. Conclusiones	57
5.1.1. Hábitos de conducción	57
5.1.2. Potencia Específica Vehicular	58
5.1.3. Emisiones vehiculares unitarias	59
5.1.4. Metodología de cálculo de la PSV	61
5.2. Recomendaciones	61
Bibliografía	63
A. Rangos para el cálculo de BINS	A-1
B. Secuencia de conducción	B-1
C. Circuitos	C-1
C.1. Circuitos de Santiago	C-1
C.2. Circuitos de Buenos Aires	C-5
D. Resumen de datos recopilados	D-1
D.1. Santiago	D-1
D.2. Buenos Aires	D-4

E. Códigos de Programas realizados	E-1
E.1. Cálculo de BINS	E-1
E.2. Modos de conducción sobre imagen satelital	E-6

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Marco General

En las grandes ciudades del mundo, la contaminación atmosférica provocada por fuentes móviles es un tema de vital importancia a la hora de tomar decisiones políticas que involucran la salud y por consecuencia el bienestar de la sociedad. Para abordar dicha problemática es necesario desarrollar herramientas que permitan caracterizar en forma adecuada cada escenario, de manera de identificar las fuentes responsables y así tomar las medidas adecuadas.

Los modelos de estimación de emisiones para fuentes móviles entregan la información de entrada a los modelos de dispersión de contaminantes que definen la calidad del aire en zonas urbanas. Dentro de estos modelos un factor decisivo es el modo de conducción. El modo de conducción se refiere básicamente a una secuencia de coordenadas espaciales, velocidades y aceleraciones producida por el desplazamiento de un vehículo sobre el espacio en un intervalo temporal.

Precisamente, estas características de los modos de conducción son las utilizadas por los modelos para la estimación de emisiones de fuentes móviles. Los modelos conocidos y utilizados comúnmente calculan emisiones basándose en la velocidad media de un ciclo de conducción, sin embargo esto generaliza demasiado el trabajo real que se ejerce sobre el motor dejando de lado otras variables importantes. Un reciente modelo más completo se ha desarrollado para incluir la velocidad instantánea, aceleraciones, pendiente de la ruta y el estado del motor segundos antes del instante de medición. Este nuevo método logra caracterizar el estado del motor mediante la potencia específica del vehículo (PSV) segundo a segundo.

Hoy en día la EPA (U.S. Environmental Protection Agency) pretende convertir ésta en la metodología actual de medición de emisiones, a través de su nuevo modelo denominado MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator). Este nuevo modelo comparte la metodología de uno ya existente y de aplicación internacional, el modelo IVE (International Vehicle Emissions), en el cual se basa la presente investigación.

El modelo utiliza equipos de GPS para determinar la velocidad, altura respecto del nivel del mar y la

aceleración instantánea del vehículo segundo a segundo. Estas características permiten obtener un valor de la potencia específica del motor en cada segundo del trayecto. Junto con equipos de emisiones de gases, se pueden asociar los gramos por segundo de cada contaminante al nivel de potencia o "bin de potencia" que alcanza el vehículo en ese instante. De esta forma, un nivel de emisión es asignado a una potencia específica vehicular (PSV) y no a una velocidad media particular definida por cierto ciclo de conducción.

Para representar en forma fidedigna el modo de conducción representativo de una ciudad completa, el modelo recopila los datos de los medios de transporte masivos más importantes y abordando distintos subsectores urbanos. Sin embargo, en este trabajo sólo se analizan los modos de conducción de vehículos livianos (automóviles particulares) en horarios de mañana y tarde dentro de la ciudad.

Esta metodología de estimación de factores de emisión, es la utilizada para comparar los modos de conducción de dos centros urbanos: Santiago y Buenos Aires. Además se utiliza un método alternativo para medir la altitud de la ruta con el fin de comparar y analizar los resultados que se obtienen con GPS.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo principal

Aplicar una metodología de cálculo de emisiones vehiculares unitarias basada en modos de conducción y potencia específica vehicular.

1.2.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos son:

- Determinar experimentalmente modos de conducción en dos centros urbanos y determinar patrones comunes de comportamiento.
- Caracterizar los modos de conducción a través de una metodología basada en PSV.
- Estimar el impacto de los modos de conducción en la generación de emisiones a través de la PSV.
- Verificar la metodología de cálculo de PSV para adecuarla a la medición con sistemas de posicionamiento global (GPS).

Capítulo 2

ANTECEDENTES

En la figura 2.1 se observa la relación directa que existe entre las aceleraciones del motor (instante en el que está más exigido) y las emisiones de dióxido de carbono. Cada vez que se presenta una variación de velocidad positiva, existe un incremento instantáneo de un orden de magnitud con respecto al estado de velocidades constantes o desaceleraciones.

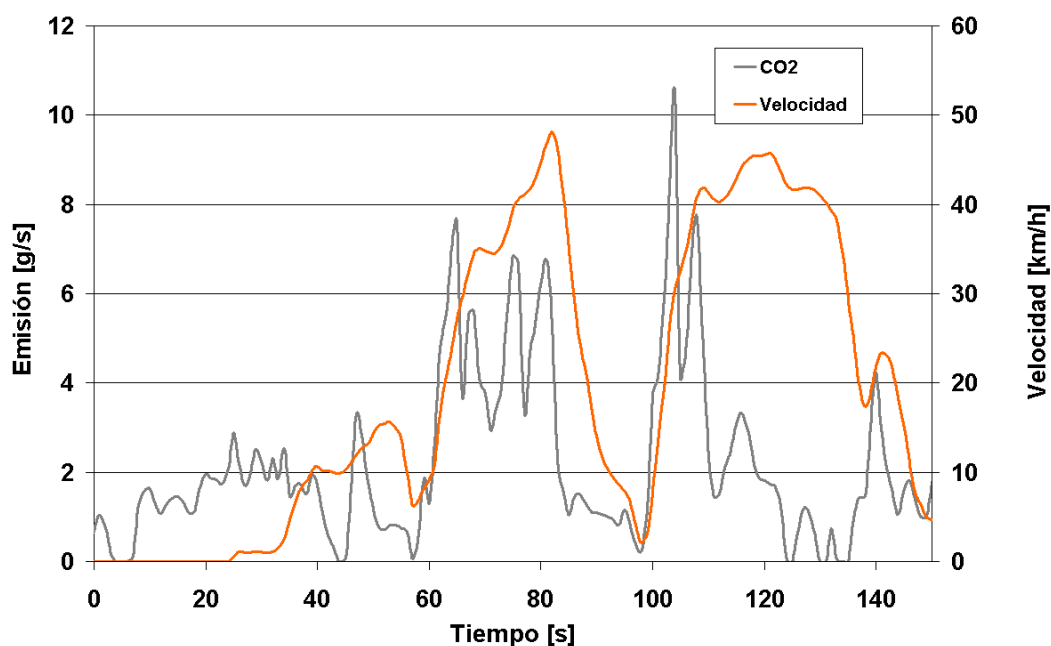


Figura 2.1: Gráfico de velocidades y emisiones de CO_2 para un automóvil particular.[1]

El objetivo principal de un modelo de emisiones vehiculares es lograr obtener una relación como la que se observa en la figura 2.1, pero para todos los gases de escape de un vehículo, todos los vehículos de una ciudad, a toda hora y todos los días del año, para así obtener emisiones anuales más precisas. Como esta no es una opción factible, lo más razonable es simplificar el universo vehicular a unas cuantas categorías que representen de la mejor manera posible el parque automotriz de la ciudad y a estas medir las emisiones en

cada instante. Una nueva metodología se ha desarrollado para estimar las emisiones en centros urbanos de un modo pasivo y en un tiempo relativamente corto. Esto se logra instalando equipos de medición de gases de escape y de velocidad y altura (GPS por ejemplo) sobre un automóvil, de tal forma de poder asociar a cada demanda de potencia del motor sobre la ruta, un nivel de emisiones determinado.

Los elementos más importantes para desarrollar y analizar modos de conducción a través de esta nueva metodología son: el concepto de potencia específica vehicular o PSV (VSP, Vehicle Specific Power en inglés), el concepto de precarga sobre el motor o ES (Engine Stress), el concepto de BIN de potencia (rango de potencia del vehículo) y la estimación de emisiones. Estos tópicos serán desarrollados a continuación.

2.1. Modos de Conducción

Las características relacionadas a la forma de conducir un vehículo quedan definidas por el concepto de "modos de conducción". Este concepto incluye elementos como la cantidad y duración de las paradas que se efectúan, la velocidad y aceleración promedio del recorrido, la cantidad de tiempo en que el vehículo está detenido y en movimiento y los distintos niveles de aceleración y velocidad que el conductor produce al conducir. De acuerdo a la revisión bibliográfica efectuada, los elementos anteriores tienen una elevada influencia en las emisiones y el consumo de combustible de un vehículo, independientemente de su nivel tecnológico y de mantenimiento [2, 3].

En general, las formas de conducir vehículos varían tremendamente y dependen de un sinnúmero de factores. Los modos de conducción son un fenómeno complejo, influenciado entre otras variables por el tipo de calle [4, 5], el número de pistas [5], el tipo de conductor [6, 7], y el horario del día [8]. Existe evidencia de diferencias significativas en las emisiones asociadas a diferentes modos de conducción. Para vehículos de pasajeros, diferentes modos de conducción se asocian con diferentes niveles de intensidad de operación del vehículo, los cuales modifican las emisiones debido al cambio en los valores de aceleración instantánea [9].

Bajo el marco de los modos de conducción, se crea el concepto que describe en forma cuantitativa la información que yace tras un modo de conducción particular, este es el concepto de "ciclo de conducción".

Un ciclo de conducción se define como un conjunto de secuencias de tiempos y velocidades, que provienen de información estadísticamente representativa, de un área en estudio previamente determinada. Los ciclos de conducción se utilizan para estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos, bajo procedimientos que involucran su programación en un sistema de medición de gases de escape. Por esta razón, si se desea obtener una buena estimación de emisiones, es fundamental que los ciclos de conducción representen las condiciones de circulación reales de los vehículos. Sin embargo, la mayoría de los ciclos de conducción utilizados comúnmente son de corta distancia y duración, siendo inadecuados para representar el amplio rango de condiciones reales [10]. El ciclo de conducción utilizado para medir las emisiones producidas por

los vehículos debería representar adecuadamente la conducción del mundo real, para así proporcionar una estimación más realista de los niveles de emisión [11].

Precisamente, lo planteado en el párrafo anterior es uno de los propósitos principales de esta nueva metodología de estimación de emisiones. Desvincularse de los ciclos estándar, útiles solo para normalizar condiciones y comparar emisiones bajo un mismo marco, y comenzar a utilizar ciclos regionales, que vayan de la mano con las transformaciones de la ciudad y con las condiciones de conducción del centro urbano en particular.

Junto con esto se le quitará protagonismo a la velocidad media, que a pesar de representar en forma comprensiva los ciclos de conducción, no permite describir las distintas características de los modos de conducción [12]. El reemplazante será la potencia específica vehicular.

2.2. Potencia Específica Vehicular

Históricamente, la variación de las emisiones se ha modelado a partir de ciclos de conducción representativos [13]. Sin embargo, ha existido escepticismo e incertidumbre en el uso de esta metodología [14]. Con los avances recientes de la tecnología es posible ahora medir las emisiones en ruta, obteniendo las características de operación de los vehículos y parámetros medioambientales en una resolución segundo a segundo. Esta información conlleva a una forma de caracterizar las emisiones como una función de una variedad de parámetros, sin tener que estar restringida a un conjunto definido de ciclos de conducción normados y reconocidos internacionalmente [13].

En esta idea se basa el nuevo modelo de emisiones en base a potencia específica vehicular. El modelo se ha diseñado para que incorpore 60 variaciones de potencia, o "BINS", para cada tipo de tecnología.

Los parámetros que se utilizan para caracterizar estos BINS incluyen la velocidad instantánea del automóvil, la aceleración, las rpm implícitas (estimadas a partir de la velocidad del vehículo), la pendiente de la ruta y la potencia promedio inmediatamente anterior al tiempo de medición (la historia del motor). De estos datos derivan los valores de potencia específica vehicular y precarga del motor:

2.2.1. Definición de PSV

La PSV (Potencia Específica Vehicular) es una razón entre la potencia instantánea de un vehículo y su masa. Este parámetro es muy útil para analizar información obtenida en forma remota y para el modelamiento de emisiones. Esto se debe básicamente a que puede ser calculada sin tener que instalar instrumentación compleja en el automóvil. Además posee la ventaja de ser una unidad básica, permitiendo comparaciones efectivas entre datos obtenidos en distintos sitios.

Investigaciones recientes lograron determinar que el parámetro más importante para determinar emisiones es la potencia específica vehicular (PSV), que es derivada de la velocidad instantánea y de la aceleración. La relación de PSV (kW/ton) se muestra en la ecuación 2.1 [15]:

$$PSV = \frac{\frac{\partial}{\partial t}(K + U) + F_r \cdot v + F_a \cdot v}{m} \quad (2.1)$$

Donde:

- K = Energía Cinética (*J*)
- U = Energía Potencial (*J*)
- F_r = Fuerza de rodadura (*N*)
- F_a = Fuerza aerodinámica (*N*)
- v = velocidad (*m/s*)
- m = masa (*kg*)

La potencia instantánea generada por el motor es utilizada para superar la resistencia a la rodadura, el arrastre aerodinámico y para aumentar las energías cinética y potencial del vehículo. Esto equivale a un producto entre velocidad y aceleración equivalente, que incluye el efecto de la pendiente del camino, la resistencia a la rodadura y un término para el arrastre aerodinámico. Un desarrollo más acabado de esta relación se muestra en la ecuación 2.2:

$$PSV = \frac{\frac{\partial}{\partial t}(\frac{1}{2} \cdot m \cdot (1 + \varepsilon_i) \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h) + C_R \cdot m \cdot g \cdot v + \frac{1}{2} \rho_a \cdot C_D \cdot A \cdot (v + v_w)^2 \cdot v}{m} \quad (2.2)$$

Donde:

- m = masa del vehículo (*kg*)
- v = velocidad (*m/s*)
- a = aceleración (*m/s²*)

- ε_i = factor de masa, equivalente a la inercia de los componentes en rotación del tren de poder (ruedas, engranajes, ejes, etc.) (adimensional)
- h = altura respecto al nivel del mar (m)
- g = aceleración de gravedad ($9,8 m/s^2$)
- C_R = coeficiente de resistencia a la rodadura (adimensional)
- C_D = coeficiente de arrastre aerodinámico (adimensional)
- A = área frontal del vehículo (m^2)
- ρ_a = densidad del aire ($1,207 kg/m^3$ a $20^\circ C$)
- v_w = velocidad del viento contra el avance del vehículo (m/s)

Es importante notar que no se consideran pérdidas por fricciones internas. Éstas se descartan en el modelo principalmente por ser relativamente bajas comparándolas con el rango de PSV que se utiliza.

Las unidades de la potencia específica son potencia por unidad de masa. La medida métrica (SI) corresponde a W/kg . La equivalencia utilizada será la de kW/ton ya que tiene un mayor sentido físico al hablar de vehículos.

Simplificando y utilizando coeficientes de correlación experimentales para determinar el coeficiente aerodinámico, se obtiene que:

$$PSV = v \cdot [1,1 \cdot a + 9,81 \cdot (\text{sen}(\arctan(\text{pendiente}))) + 0,132] + 0,000302 \cdot v^3 \quad (2.3)$$

Donde:

$$\text{pendiente} = \frac{(h_{t_0} - h_{t_{-1}})}{v_m} \quad (2.4)$$

Los valores de h_{t_0} y $h_{t_{-1}}$ corresponden a la altura con respecto al nivel del mar del vehículo en los instantes inmediato a la medición y un segundo antes de ella, respectivamente. El valor v_m corresponde a la velocidad media del vehículo y se calcula realizando un promedio entre la velocidad inmediata a la medición y la existente un segundo antes.

El valor de C_R depende de la superficie del camino y del tipo y presión del neumático, con poca dependencia de la velocidad del vehículo. Valores típicos van desde 0.0085 a 0.016. Un valor de 0.0132 fue elegido para todos los vehículos.

El término aerodinámico $C_D A/m$ se estimó en 0.0005 por considerarse vehículos livianos y la velocidad v_w se considera nula [15].

La figura 2.2 muestra como influye cada componente de la potencia sobre el cálculo final de la PSV. El recorrido en el que se tomaron los datos de esta figura es del tipo residencial, por lo que las velocidades alcanzadas no son muy altas. Esto repercute directamente sobre los términos de arrastre ($Fr*v$) y aerodinámicos ($Fa*v$), que no son dominantes a velocidades (v) bajas, tal como se observa en la figura. En cambio, los términos de la energía potencial (dU/dt) y la energía cinética (dK/dt) toman un rol importante sobre el cálculo de la PSV. Aceleraciones y desaceleraciones bruscas provocan valores positivos o negativos muy elevados de acuerdo a la situación en que el vehículo se encuentra. Pero dependiendo de los valores de la pendiente de la ruta, estos valores elevados provocados por las aceleraciones, pueden ser potenciados o incluso neutralizados.

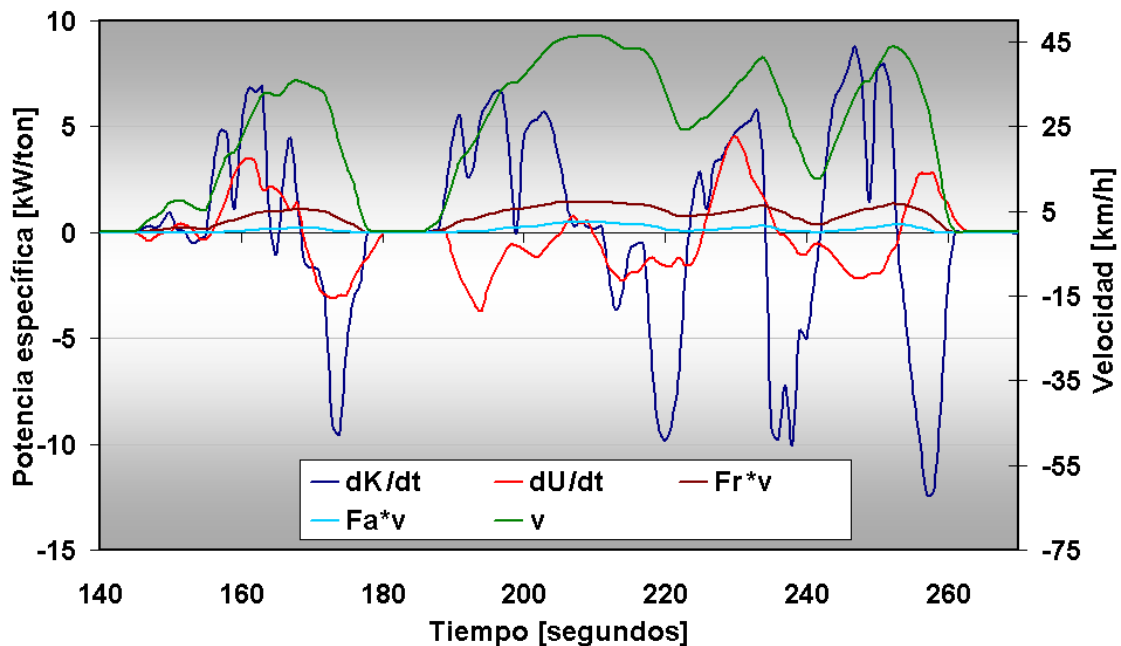


Figura 2.2: 4 componentes de la PSV.[1]

Al aplicar esta metodología utilizando GPS para adquirir los datos de velocidad y altura, se recomienda utilizar dos filtros de información [1]:

- Considerar el valor de la pendiente en $t=0$ como el promedio de la pendiente del camino determinada por 5 segundos de conducción.
- Considerar nulas las pendientes superiores a un 14 % en las que se presente una velocidad menor a 1 km/h .

Ambas consideraciones sirven para corregir el comportamiento errático del GPS a bajas velocidades. El término de la altura es el que se ve más afectado, y los dos puntos anteriores ayudan a:

- Que el error de la pendiente disminuya un poco al considerar más de un punto de altura en su cálculo.
- Que no se generen variaciones de altura virtuales cuando el automóvil está prácticamente detenido.

La ecuación 2.3 emula la realidad en forma muy certera para el CO_2 , pero para predecir en forma correcta las emisiones de CO , HC y NOx se tuvo que añadir otra dimensión a la matriz de BINS. El parámetro a incluir es la precarga del motor o ES (Engine Stress).

2.2.2. Precarga del Motor

La precarga del motor o Engine Stress (ES) representa los últimos 20 segundos de operación del motor antes de cada medición y las rpm implícitas del automóvil. Un bajo ES se refiere a condiciones en que el vehículo enfrentó bajas velocidades y aceleraciones en los últimos 20 segundos de operación y las rpm del motor son relativamente bajas. Un ES alto ocurre con altas velocidades y aceleraciones en los últimos 20 segundos de operación y las rpm del motor son altas.

$$ES = I_{RPM} + (0,08 \text{ ton/kW}) \cdot \bar{P} \quad (2.5)$$

$$\bar{P} = \frac{\sum_{t=-25}^{t=-5} PEV_t}{21} (\text{kW/ton}) \quad (2.6)$$

$$I_{RPM} = v_{t=0}/CV(\text{adimensional}) \quad (2.7)$$

$$MIN(I_{RPM}) = 0,9 \quad (2.8)$$

Donde:

- ES = Engine Stress (adimensional)
- I_{RPM} = Índice de RPM (adimensional)

- \bar{P} = Promedio de la potencia previa (kW/ton)
- CV = Coeficiente de velocidad. Se obtiene de la tabla A.1 del Anexo A. (adimensional)

Por lo tanto, en cada segundo el vehículo podrá tener asociado dos valores: un valor de PSV y un valor de ES. El objetivo último de esta metodología es asociar a cada par PSV-ES (calculado segundo a segundo) una emisión determinada (en gramos por segundo). Como la tecnología actual no permite a los instrumentos lograr una precisión muy elevada, es más razonable agrupar los valores obtenidos en un histograma con intervalos bien definidos. Es así como nace el concepto de BINS de Potencia.

2.2.3. BINS de Potencia

Los BINS de potencia son casillas o intervalos de valores de PSV y ES que puede alcanzar un vehículo en un segundo determinado. Los rangos de estas casillas se muestran en las tablas 2.1 y 2.2.

Cuadro 2.1: Rangos de PSV [1]

BIN	PSV (kW/Ton)	
	Inferior	Superior
1	-80.0	-44.0
2	-44.0	-39.9
3	-39.9	-35.8
4	-35.8	-31.7
5	-31.7	-27.6
6	-27.6	-23.4
7	-23.4	-19.3
8	-19.3	-15.2
9	-15.2	-11.1
10	-11.1	-7.0
11	-7.0	-2.9
12	-2.9	1.2
13	1.2	5.3
14	5.3	9.4
15	9.4	13.6
16	13.6	17.7
17	17.7	21.8
18	21.8	25.9
19	25.9	30.0
20	30.0	1000.0

La tabla 2.1 muestra los rangos de cada casilla para los valores de PSV. Los valores de PSV van desde los -80 kW/Ton hasta los 1000 kW/Ton . Se crearon 20 divisiones, con una partición equiespaciada entre los

-44 y 30 *kw/Ton* que es donde comúnmente se concentran los valores de PSV.

Es importante notar que los BINS de potencia del 1 al 11 representan el caso de potencia negativa, como por ejemplo, cuando el vehículo desacelera o esta bajando por una calle de pendiente negativa sin carga sobre el motor. El BIN 12 representa una situación de potencia 0 o muy baja, como por ejemplo el ralentí o una situación en la que los 4 componentes de la PSV se anulen entre sí. Los BINS del 13 en adelante representan la situación en que el vehículo está usando potencia positiva, como conducir a velocidad constante, acelerar, subir una pendiente, etc.

La tabla 2.2 muestra los rangos de los intervalos del ES. Aquí la cantidad de intervalos es menor. Se generan solo tres casillas de ES, principalmente debido a la precisión de los instrumentos de medición de emisiones. La casilla de Carga Baja es alcanzada en situaciones de estrés medio sobre el motor. La carga baja se observa típicamente en situaciones de conducción sin mucha pendiente, con velocidades bajas y sin aceleraciones demasiado bruscas ni prolongadas. Esto podría representarse típicamente en la conducción de sectores residenciales y la gran mayoría de las avenidas.

Cuadro 2.2: Rangos de ES.

Carga	Precarga del Motor [1]	
	Inferior	Superior
Baja	-1,6	3,1
Media	3,1	7,8
Alta	7,8	12,6

La Carga Media implica potencias más elevadas sobre el motor, estados en que se cambia de velocidad en forma muy brusca, aceleraciones en tramos prolongados o pendientes muy inclinadas por varios segundos. Esta condición no es muy usual, pero siempre tiende a aparecer en autopistas.

La Carga Alta sucede cuando las situaciones mencionadas en la Carga Media son extremas. Velocidades muy elevadas durante un tiempo prolongado o cambios muy bruscos en velocidad o altura son típicas de este estado.

Al combinar los posibles estados del motor de PSV y ES se obtienen las tablas A.2, A.3 y A.4 del Anexo A, que muestra los 60 BINS que podría eventualmente alcanzar el vehículo en algún instante determinado.

2.3. Estimación de Emisiones

Para lograr determinar las emisiones totales de un vehículo sobre un recorrido particular se deben seguir dos procedimientos que se detallarán a continuación. El primero es necesario para obtener una base de datos

de emisiones unitarias. El segundo se aplica para calcular las emisiones en cualquier situación utilizando los datos del primer procedimiento.

2.3.1. Creación de base de datos:

El procedimiento para generar una base de datos de emisiones unitarias es el siguiente:

- i) Equipar el vehículo con sensores de gases e instrumentos que permitan obtener la velocidad del vehículo y la pendiente de la ruta en cada segundo
- ii) Recorrer una ruta predefinida en la que el automóvil logre pasar por la mayor variedad de BINS posibles
- iii) Recopilar los datos de los contaminantes emitidos (en gramos por segundo), de la velocidad y de la pendiente en cada segundo.
- iv) Calcular los valores de la PSV junto con la precarga del motor (ES) para cada segundo del recorrido.
- v) Determinar a cual de los 60 BINS le corresponde cada segundo de medición, y por ende donde cae cada nivel de emisión.
- vi) Crear una base de datos que asocie a cada uno de los 60 BINS de potencia una emisión promedio en gramos por segundo (para cada contaminante).

La base de datos creada tendrá la siguiente información:

$$\text{Emisión del BIN}_i \text{ para el contaminante } j = EB_{i,j}(\text{g/s}) \quad i : 1 \dots 60 \quad j : 1 \dots 4 \quad (2.9)$$

El procedimiento anterior se realiza para generar un gráfico de emisiones unitarias por BIN para una tecnología vehicular en particular. Si se quiere tener las emisiones para otra tecnología se deben seguir los pasos del i al iv con el vehículo deseado.

La figura 2.3 muestra un resumen de la tabla que se debería generar una vez finalizado el procedimiento A:

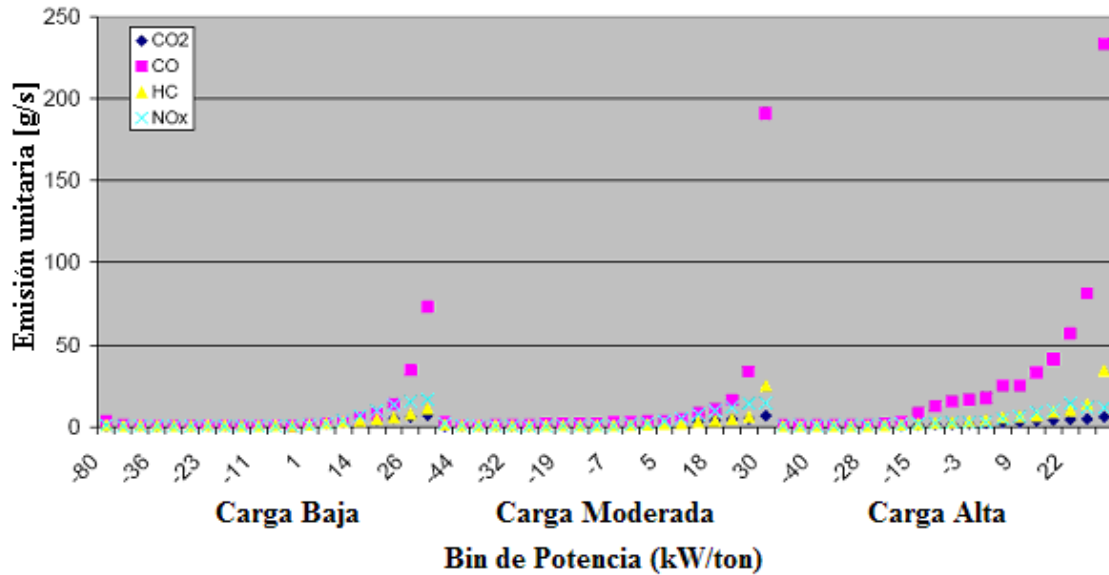


Figura 2.3: Emisiones obtenidas de los 60 bins para un vehículo particular[1]

En la figura 2.3 se observa que las emisiones pueden aumentar hasta 200 veces bajo ciertas condiciones de conducción, mostrando así la importancia de una caracterización apropiada de los modos de conducción. Sin embargo, la probabilidad de alcanzar estas condiciones de extrema exigencia del motor es muy baja o de poco impacto en el total.

El valor de emisión asociado a cada BIN en este gráfico, corresponde a un promedio del valor de todas las emisiones obtenidas para cada BIN durante toda la etapa de adquisición de datos. Por ejemplo, un mismo valor de PSV negativa se puede lograr de muchas formas distintas: i) frenando en ralentí, ii) frenando con el motor bajando una marcha iii) bajando por una pendiente en ralentí iv) bajando por una pendiente en alguna marcha. Todos estos casos provocan distintas emisiones y sin embargo pueden estar asociados al mismo BIN. Es por esto que, para calcular el promedio de emisiones por cada BIN, se deben utilizar la mayor cantidad de segundos posibles y se deben alcanzar los BINS en las formas más comunes de conducción. En resumen, el modo de conducción de un conductor promedio debe estar reflejado en dicho gráfico.

Lo más importante de la figura 2.3 es que en esta se observa una tendencia clara del aumento de las emisiones una vez que se supera el BIN 12 para cada una de las cargas. Esto concuerda con lo intuitivo, ya que el ralentí es la situación en que el vehículo emite en menor cantidad, y al ir aumentando la carga sobre el motor (y su potencia específica) lo normal es que las emisiones suban considerablemente. Los valores inferiores al BIN 12 son relativamente constantes.

Otra característica importante es que a medida que el nivel de carga aumenta (baja, media, alta) las emisiones también lo hacen.

2.3.2. Cálculo de emisiones unitarias:

El procedimiento para calcular las emisiones unitarias es el siguiente:

- i) Equipar el vehículo sólo con instrumentación que permita obtener la velocidad del vehículo y la pendiente de la ruta segundo a segundo.
- ii) Recorrer la ruta deseada sobre la cual se desean obtener las emisiones del vehículo.
- iii) Recopilar los datos de pendiente y velocidad de la ruta en cada segundo.
- iv) Calcular la PSV y el ES para determinar en que BIN cae cada segundo de medición.
- v) Determinar a cual de los 60 BINS le corresponde cada segundo de medición.
- vi) Generar un histograma que indique la fracción de tiempo de conducción que se alcanzó en cada BIN, con respecto al total de segundos que duró el recorrido.
- vii) Multiplicar los valores del histograma del Procedimiento B paso 6 (ecuación 2.9) con la tabla generada en el procedimiento A paso 6 (ecuación 2.10) para obtener las emisiones promedio (en g/s) del recorrido.

$$FTC_i = n_i/N \quad i : 1..60 \quad (2.10)$$

Donde:

- FTC_i = Fracción del tiempo de conducción para el BIN_i
- N = tiempo total del recorrido en segundos

Finalmente, la emisión unitaria promedio (EUP) del contaminante j se obtiene de la siguiente forma:

$$EUP_j = \sum_{i=1}^{60} EB_{i,j} \cdot BIN_i \text{ (g/s)} \quad (2.11)$$

Para calcular el total de emisiones del recorrido completo se debe multiplicar la ecuación 2.11 por N.

En el capítulo de análisis de resultados se utilizan las emisiones promedio en gramos por segundo para caracterizar el nivel de contaminación alcanzado en cada recorrido. Esto facilita y normaliza la comparación entre un recorrido y otro.

En el procedimiento B se construye un histograma que caracteriza el viaje realizado por el automóvil en su totalidad. En la figura 2.4 se observan los histogramas de bins que generó un automóvil que viajó por tres rutas distintas, una residencial, una arterial y una autopista.

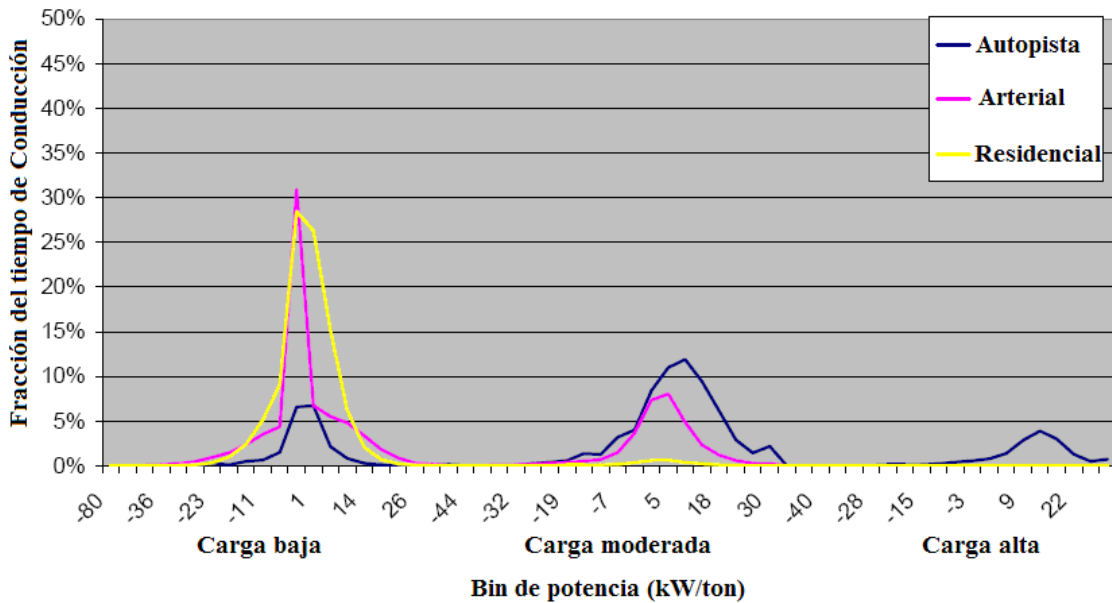


Figura 2.4: Histograma de Bins para 3 recorridos distintos[1]

Esta metodología permite a estimar emisiones vehiculares sin tener que recurrir a equipos analizadores de gases. Solo basta con conseguir la base de datos de BINS vs emisión de la categoría que uno desea analizar. Con esta información sólo basta con conseguir un equipo que mida la velocidad y la pendiente de un recorrido para poder estimar las emisiones asociadas a la conducción sobre ese recorrido.

Capítulo 3

METODOLOGÍA

La metodología se divide en 4 secciones. En éstas se determinan el lugar y las características de los modos de conducción a analizar, la modalidad de adquisición de datos, la forma de procesar la información y la metodología a utilizar para calcular y comparar los resultados.

3.1. Levantamiento de información

3.1.1. Modos de Conducción a analizar

Los centros urbanos en que se analizan modos de conducción vía PSV serán Santiago y Buenos Aires. Se utilizan 3 vehículos particulares que realizan recorridos en áreas específicas. El estudio dura 6 días en cada ciudad y se mide durante 7 horas cada día.

3.1.2. Selección de Recorridos

Se seleccionan tres secciones representativas de la ciudad. Las áreas seleccionadas deben representar la composición de la flota de automóviles y la forma de conducir típica en la ciudad. Para lograr este objetivo, una de las áreas de estudio debe representar un área genérica de bajo ingreso socioeconómico, una de alto ingreso socioeconómico y una que represente un área comercial de la ciudad (normalmente el centro de la ciudad).

En cada una de estas áreas, diferentes tipos de calles deben analizarse para recopilar información representativa de la ciudad. Estas calles se clasifican en autopista, arterial y residencial. El ideal es diseñar un circuito cerrado compuesto por una serie de calles del mismo tipo interconectadas, tal como se observa en la figura 3.1. En esta figura se muestran los recorridos; residencial (amarillo), autopista (azul) y arterial (rojo) de la zona de alto ingreso socioeconómico de la ciudad de Buenos Aires.

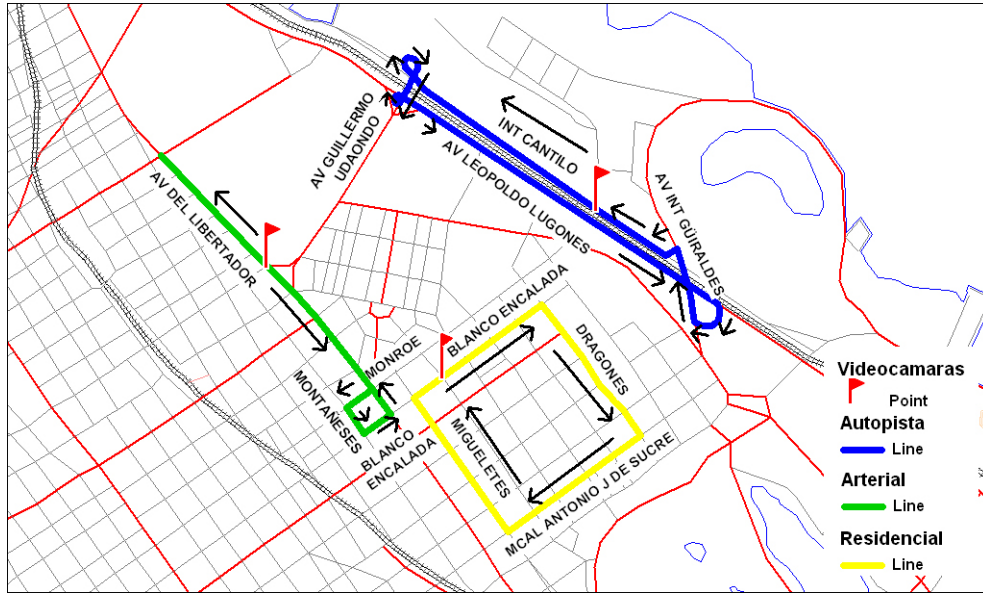


Figura 3.1: Recorridos de la zona de alto ingreso de la ciudad de Buenos Aires[1]

Los recorridos de cada área deben definirse de forma tal que en 50 minutos como máximo y bajo la peor condición de tráfico, el recorrido sea completado al menos una vez. La distancia que existe entre un recorrido y otro (por ejemplo de residencial a autopista) dentro de la misma zona (zona comercial por ejemplo) no debe superar los 10 minutos, ya que un horario muy estricto debe llevarse a cabo en el estudio y no se debe perder mucho tiempo en el traslado de un lugar a otro.

Los recorridos definidos para Santiago y Buenos Aires se encuentran en el Anexo C. Tanto para Buenos Aires como para Santiago, en el sector comercial, se consideraron 2 recorridos de tipo arterial o avenida, en lugar de un arterial y una autopista. Todos los circuitos seleccionados se recorren previamente al estudio para asegurar el cumplimiento de las condiciones mencionadas anteriormente.

3.1.3. Selección de Horarios

Es importante medir a distintas horas del día para tomar en cuenta las congestiones del tráfico y cambios de flujo resultantes del transcurso del día. En tres días se toman los datos en la mañana (de 7:00 a 14:00) y el resto en la tarde (de 14:00 a 21:00).

Durante estos seis días los conductores deben recorrer las rutas asignadas durante 40 minutos en cada una de las 7 horas del periodo de trabajo. Los 20 minutos restantes de esa hora son para trasladarse de un recorrido a otro y pausas para descansar. Un horario especial como el de la tabla B.3 del Anexo B se confecciona para aclarar a los conductores el horario y la secuencia en que deben realizar los recorridos.

3.1.4. Criterio de conducción

Para evitar una conducta muy agresiva o una muy relajada y respetuosa de las leyes del tránsito, el estudio impone una conducción basada en el seguimiento del flujo de los automóviles que circulan por el recorrido. Esta técnica consiste en seguir a un automóvil cualquiera que circule por los recorridos ya determinados. Si a este automóvil lo rebasa más de un auto, significa que se está conduciendo en forma muy reservada y se debe aumentar la velocidad y seguir a otro automóvil que esté circulando más rápido. Por el contrario, si el automóvil que se está siguiendo rebasa a más de un automóvil, se está incurriendo en una conducta muy agresiva y se debe proceder a seguir a otro automóvil que circule más despacio. Si el automóvil en persecución sale de la ruta preestablecida, se debe seguir al próximo auto que se encuentre en ruta. De esta forma se logra un modo de conducción representativo del sector que se está midiendo.

3.1.5. Adquisición de Datos

Junto con las instrucciones, a los conductores (autos, motos y taxis) se les proporcionó un equipo GPS que posee un procesador interno para recopilar la información de cada recorrido. Se les explica su funcionamiento y como deben utilizarlo (incluido horarios en que deben encenderlo). En la figura 3.2 se muestra un equipo GPS que se utilizó en el estudio.



Figura 3.2: 1) GPS. 2) Antena. 3) Sistema de sujeción. 4) Conexión a fuente de energía. 5) Tarjeta de Memoria[1]

Se cuenta con 5 Laipac GD30-L GPS MMC data loggers. Estos son GPS tipo pasivo con un sistema de adquisición de datos a una frecuencia de 1Hz. Se trabaja con los formatos estándares de navegación GPRMC y GPGGA.

3.2. Procesamiento de Datos

Una vez que los GPS han grabado los datos, se les retira la tarjeta y se guarda la información en un computador. Luego se procesan los datos en la siguiente forma:

3.2.1. Análisis y filtro de Dinámicas de Conducción

Primero se realiza una clasificación de Información de los GPS, donde se diferencian y organizan los recorridos. Luego, en una depuración gruesa de los datos, se eliminan los archivos que contienen errores. Posteriormente se programa un filtro de selección de información donde se discrimina en base a la cantidad de satélites y los saltos tiempo que posean los datos recopilados. Finalmente se traspasan los datos a un formato fácil para el cálculo de VSP.

3.2.2. Representación de Ciclos en función de VSP

En esta etapa se realiza el cálculo de velocidades máximas y medias y también de VSP para cada recorrido. Se determinan histogramas para cada recorrido y cada ciudad.

3.2.3. Estimación de Emisiones unitarias

La figura 3.3 muestra la ventana del programa EVALUATE GPS DATA [1], con el que se comparan los resultados de programas desarrollados en Matlab 6.5 (Anexo E.1). Con este programa se obtienen los histogramas de BINS para cada recorrido. Encerrado en una elipse se encuentra el porcentaje del tiempo que estuvo un vehículo en cada BIN para un recorrido específico.

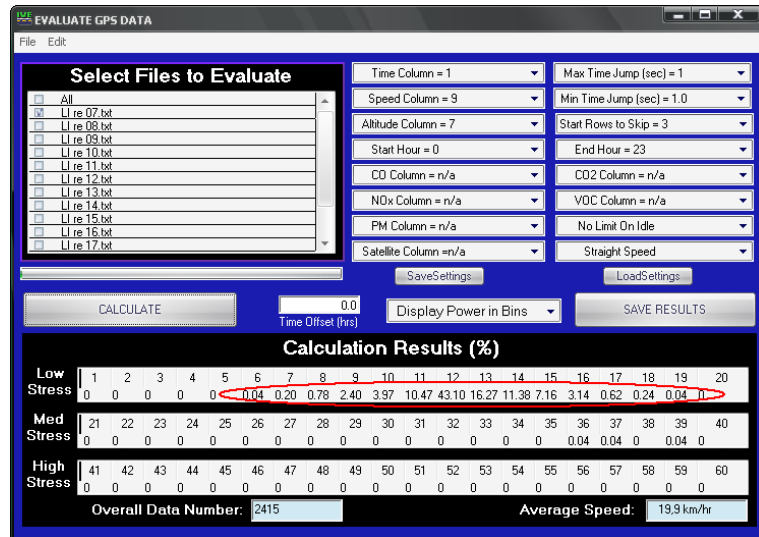


Figura 3.3: Programa para procesar datos de GPS y crear histograma de BINS[1]

Finalmente esta información se junta con la base de datos de emisiones vehiculares que hoy en día se utilizan para determinar las emisiones unitarias promedio (en g/s) de cada recorrido [1].

3.2.4. Comparación de datos

El análisis de resultados se centra en: determinación y comparación de velocidades medias entre recorridos y ciudades, comparación de histogramas de VSP, determinación de patrones comunes de comportamiento vehicular y la comparación de emisiones vehiculares para distintos modos de conducción.

3.3. Reformulación de la metodología de cálculo de PSV

Como ya se mencionó anteriormente, los datos de velocidad y altura son obtenidos con GPS. A pesar de que la medición de la potencia específica del vehículo mediante GPS se ha consolidado gracias a su practicidad y facilidad de adaptación, esta presenta algunos problemas a la hora de realizar un análisis más fino sobre las emisiones vehiculares: los errores asociados a la medición con GPS pueden llegar hasta los 20m en altitud [1], la medición a velocidades bajas no es confiable, no se pueden ocupar en sectores con antenas debido a la interferencia de señal y el paso por túneles prolongados distorsiona los datos adquiridos.

Debido a estas dificultades, se pretende reformular el cálculo de la potencia específica vehicular para que la medición mediante GPS sea más confiable.

Capítulo 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos en Santiago y Buenos Aires utilizando la metodología mencionada en la sección anterior. En la sección 4.1 se analiza la adquisición de datos en forma general, los inconvenientes presentados en las campañas y las características principales de los datos recopilados en todos los recorridos.

El análisis de los datos en función de la PSV se encuentra desarrollado en la sección 4.2 y el impacto de esta sobre las emisiones vehiculares se presenta en la sección 4.3.

Finalmente, en la sección 4.4 se muestra un replanteamiento de la fórmula de la PSV que permite obtener mayor exactitud en el término asociado a la energía potencial.

4.1. Determinación experimental de modos de conducción en Santiago y Buenos Aires

En la presente sección se muestran los resultados obtenidos en las campañas de Santiago y Buenos Aires. La tabla 4.1 muestra un resumen de la información más relevante.

Cuadro 4.1: Campañas

	Buenos Aires	Santiago
Periodo Campaña	22 - 30 Junio	1 - 8 Agosto
Segundos recolectados	232160 (≈65 horas)	285070 (≈79 horas)
Recorridos Completados	110/126	126/126
Minutos por recorrido	35	38

Las fechas que se muestran en la tabla corresponden a los días planificados para realizar y finalizar la campaña. Sin embargo, tanto en Buenos Aires como en Santiago, no se logró concretar dicho calendario ya que se presentaron numerosos problemas, pero se logró recolectar información suficiente para cumplir los objetivos de la memoria.

En Buenos Aires se tenía el tiempo justo para realizar las actividades en 8 días. Se perdieron tres días de información del sector de bajo ingreso debido a problemas de interferencia con la señal del GPS, por lo que se decidió cambiar el área de medición y reestructurar el itinerario para poder completar los recorridos en cuatro días. A pesar de la reestructuración, ocurrieron diversos problemas de coordinación y de abastecimiento de combustible. Estas dificultades no permitieron completar todos los recorridos en el tiempo predeterminado, por lo que existen circuitos que no se lograron recorrer en todos los horarios. En la tabla 4.1 se especifica que fueron 16 los recorridos que no se realizaron. Esto repercute en una diferencia de casi 14 horas de datos en comparación con Santiago. Además de las dificultades técnicas, se observa que los conductores de Buenos Aires no conectaron el GPS por el tiempo total exigido, sino 5 minutos menos en promedio.

En la ciudad de Santiago también se presentaron problemas durante el periodo de campaña, pero los recorridos que no fueron realizados por presentar problemas se terminaron en sesiones extra, después de la fecha de la campaña. Esto no pudo hacerse en Argentina porque el tiempo de estadía era limitado.

En Santiago se recopilaron 79 horas de datos y se realizaron todos los recorridos, con un promedio de 38 minutos por recorrido, mientras que en Buenos Aires sólo se lograron finalizar 110 recorridos, con 35 minutos promedio de duración por cada uno, dejando un total de 65 horas de datos recopilados.

En el Anexo D se muestran las tablas resumen de los datos recopilados en cada centro urbano, ordenados por sector de ingreso socioeconómico.

Es importante recordar que las velocidades medias son calculadas considerando la totalidad de los datos de cada recorrido, esto significa que los segundos en que el vehículo se encuentra detenido también son incluidos.

4.1.1. Resumen de velocidades medias en los sectores de Santiago

A continuación se muestran los gráficos de velocidad media versus horario de medición para cada uno de los tres sectores de Santiago.

Sector de alto ingreso

En la figura 4.1 se observan las curvas de velocidad media para cada hora del día (horas relevantes para la conducción).

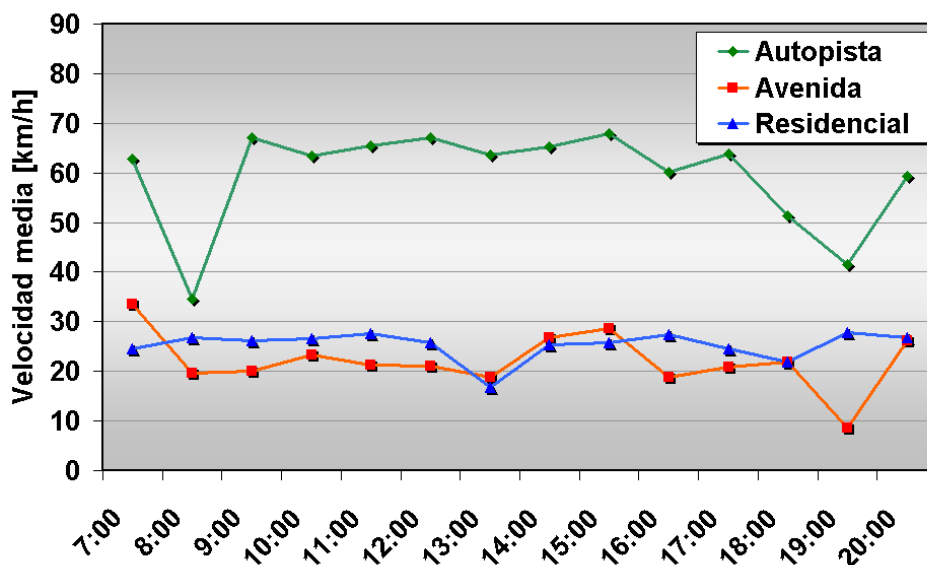


Figura 4.1: Velocidad media sector alto de Santiago

Este comportamiento de las curvas es lo que normalmente se espera para estas situaciones. Claramente las velocidades en autopista superan a las alcanzadas en avenida y residencial. En estas últimas las velocidades son muy similares, sin embargo, las residenciales superan levemente a las avenidas ya que en ellas el tiempo en que el vehículo está detenido es menor. La fracción de semáforos disminuye y estos son reemplazados por lomos de toro, discos pare y ceda el paso, situaciones que por lo general no obligan a detener el automóvil. Esta conducta se revierte a las 7, 13, 14 y 15 horas, ya que a estas horas las avenidas están relativamente despejadas en el sector alto de la ciudad. Además las residenciales se congestionan debido a la presencia de colegios, disminuyendo así su velocidad media.

En general, las velocidades medias de las residenciales y avenidas son muy similares, 25 y 22 km/h respectivamente, sin embargo el promedio de velocidad máxima en avenida es superior (64 vs 53 km/h), caracterizando un modo de conducción menos agresivo en residenciales.

Las tres curvas permiten deducir las horas punta del día. Tanto las autopistas como las avenidas marcan en forma clara las horas punta mañana y tarde (8 y 19 horas respectivamente). La hora punta del medio día es menos clara, pero considerando el mínimo de las residenciales se refuerza la tendencia de los otros dos recorridos, quedando esta hora punta a las 13:00.

Las diferencias de 30 km/h en autopista y de 25 km/h en avenida que se pueden apreciar entre las horas punta y fuera de punta, son un reflejo de la importancia que tiene la hora del día sobre los modos de conducción.

Sector de bajo ingreso

La figura 4.2 muestra el comportamiento de los vehículos en el sector de bajo ingreso de la ciudad de Santiago.

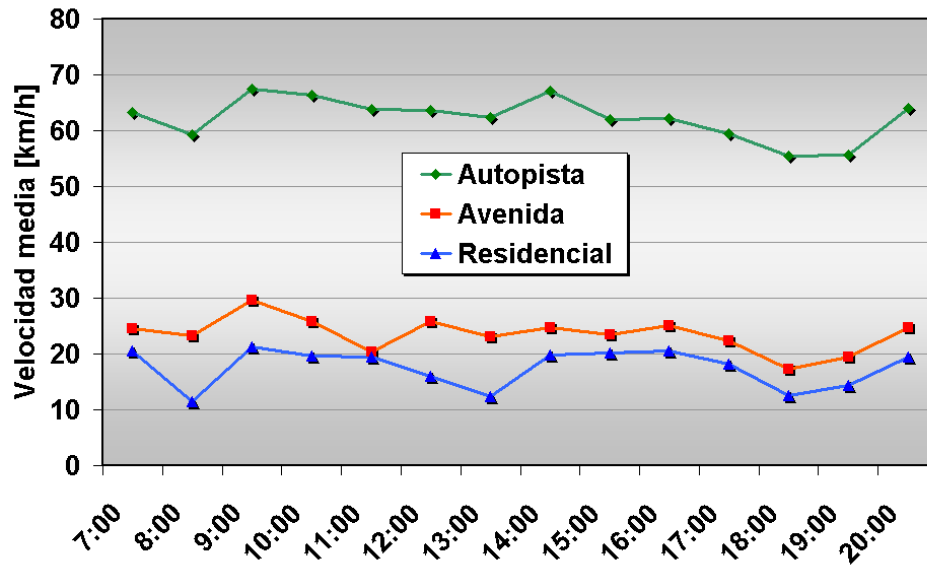


Figura 4.2: Velocidad media sector bajo de Santiago

La diferencia entre las autopistas y los otros dos recorridos sigue siendo importante. Esta vez no se observan caídas fuertes en la velocidad media de las autopistas a las horas punta mañana y tarde debido a que la autopista de Maipú es más amplia (tiene 4 pistas en lugar de las 3 que posee Kennedy) y su acceso tiene asociado un cobro electrónico de peaje, lo que crea una barrera de entrada para la gente del sector de bajo ingreso. Esta barrera también se presenta para el sector de alto ingreso, pero el elevado ingreso monetario de los habitantes del sector permite que esta barrera no sea una restricción para ellos.

En esta ocasión la diferencia entre las residenciales y las avenidas es más notoria. Esto se debe a que las calles residenciales del sector de bajo ingreso son más estrechas y la cantidad de vehículos estacionados en las orillas es elevada. Así, la conducción se torna más lenta debido a las mayores precauciones que se deben tomar (velocidad máxima promedio 48 km/h). Esta característica explica una conducta de menor agresividad que en los recorridos: residencial del sector de alto ingreso (53 km/h de velocidad máxima promedio) y avenida del sector de bajo ingreso (63 km/h), reforzando una vez más la importancia del tipo de calle sobre los modos de conducción.

Al igual que en el sector alto, la hora punta mañana se mantiene a las 8. La hora punta tarde se traslada

a las 18 horas y no existe una tendencia muy marcada para la hora punta del mediodía, pero a las 13 horas se observa un mínimo local en las tres curvas. Esto se debe a que la zona de bajo ingreso está muy cerca de un núcleo comercial y muy lejos del centro de Santiago. Esta característica tienta a los residentes a trabajar y movilizarse dentro del sector, para no tener que viajar a Santiago centro. Los viajes de los vehículos son relativamente cortos y los horarios de salida y regreso a los hogares es distinto. Por esto no existen horas punta muy demarcadas ni diferencias de 25 km/h de velocidad media en avenidas a distintas horas del día.

Los quiebres más marcados son en las residenciales, donde se observa más claramente la tendencia a tener una vida de barrio y la influencia de los establecimientos educacionales sobre los modos de conducción.

Sector comercial

Tal como se mencionó en la metodología, para el sector comercial se consideraron dos avenidas en lugar de una autopista.

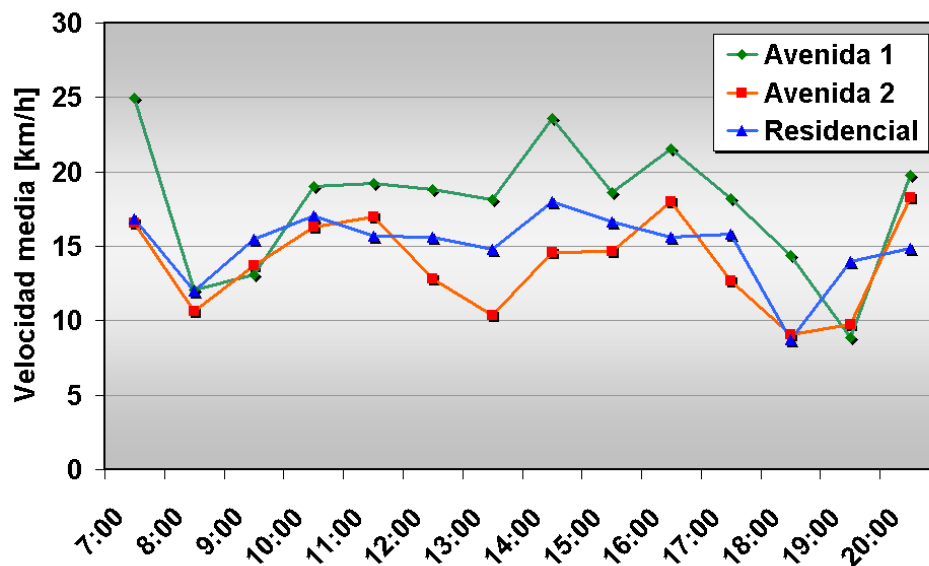


Figura 4.3: Velocidad media sector comercial de Santiago

En la figura 4.3 se observa el comportamiento de los vehículos en los tres recorridos.

La avenida 1 corresponde a una avenida céntrica principal, con tres pistas para la locomoción colectiva y dos para los automóviles particulares (en un mismo sentido). Esto permite que en ella se logre una velocidad media diaria más elevada (18 km/h).

La avenida 2 en cambio, es una calle de dos pistas y es paralela a una autopista que cruza a Santiago

de Norte a Sur. Como la autopista está construida para facilitar las condiciones de tránsito, la calle lateral presenta un sinnúmero de interrupciones. Estas son principalmente las entradas desde la autopista y los cruces de retorno, singularidades que generan congestión adicional a la proporcionada por las intersecciones típicas de una avenida. Gracias a esto, la mayoría de las velocidades más bajas del día se encuentran en este recorrido (con un promedio de 14 km/h).

Finalmente, con una velocidad media diaria de 15 km/h, el recorrido residencial presenta una situación intermedia. La cantidad de cruces es similar a los de la avenida 2 y la tendencia a manejar de manera más precavida es clara (52 km/h de velocidad máxima versus 58 en la avenida 2), pero la situación de congestión es menos elevada en horarios fuera de punta.

Con respecto a los horarios de punta mañana y medio día, es claro que estos se encuentran en el segmento de las 8 y 13 horas respectivamente, tal como sucedió en el sector de alto ingreso. El horario punta de la tarde parece estar en el segmento de las 18 horas, sin embargo una suma ponderada de los tres recorridos lo trasladan a las 19 horas debido a la mayor representatividad de las avenidas sobre el sector.

4.1.2. Resumen de velocidades medias en los sectores de Buenos Aires

A continuación se muestran los resultados obtenidos para los distintos sectores de la ciudad de Buenos Aires.

Sector de alto ingreso

La figura 4.4 muestra el comportamiento de los vehículos en la ciudad de Buenos Aires. La diferencia entre los recorridos es más marcada pero existen diferencias con respecto a Santiago.

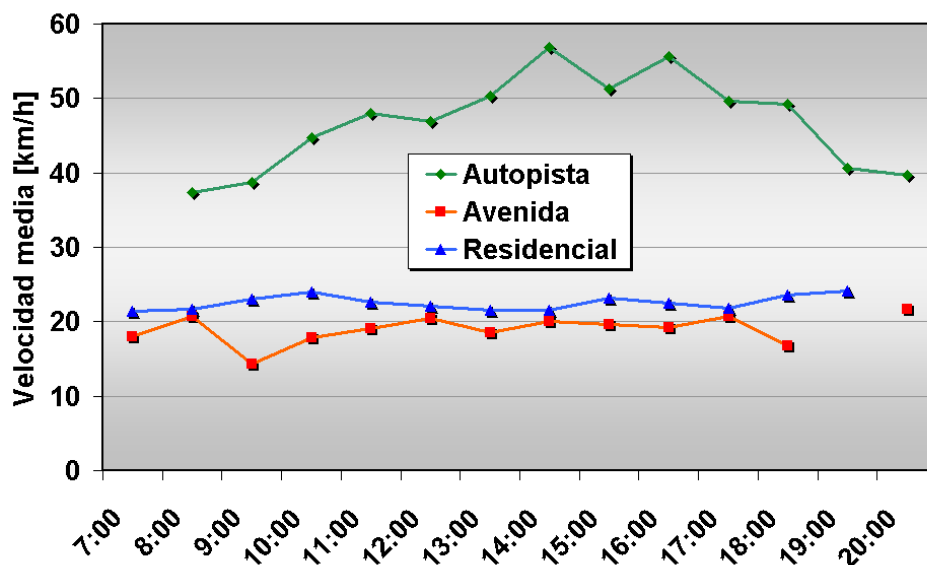


Figura 4.4: Velocidad media sector alto de Buenos Aires

En esta ocasión, el recorrido residencial es el que domina sobre la avenida en términos de velocidad media (23 vs 19 km/h). Sin embargo las velocidades máximas arrojan que la agresividad de conducción fue mayor en avenida (43 vs 58 km/h). En Buenos Aires la diferencia entre residenciales y avenidas es mucho más marcada. Las avenidas están congestionadas a toda hora y poseen muchos semáforos seguidos, en cambio las residenciales casi no se congestionan gracias a las numerosas salidas de estas hacia las avenidas. Además no poseen signos de detención, permitiendo que los conductores más diestros y avezados prácticamente nunca se detengan.

El recorrido de avenida presenta 3 mínimos a lo largo del día. El primero corresponde a la hora punta de mañana (8 horas), el segundo a la hora punta de medio día (13 horas) y el cuarto a la hora punta de la tarde (18 horas). Sin embargo, este último dato no es confiable debido a la inexistencia de información para las 19 horas.

A pesar de que existen mínimos locales, las diferencias no son tan marcadas como en Santiago. En la avenida del sector alto de Santiago se logran diferencias de 25 km/h entre hora punta y fuera de punta, sin embargo en Buenos Aires la diferencia no supera los 6 km/h.

Sector de bajo ingreso

La figura 4.5 muestra los datos que se lograron rescatar del sector de bajo ingreso.

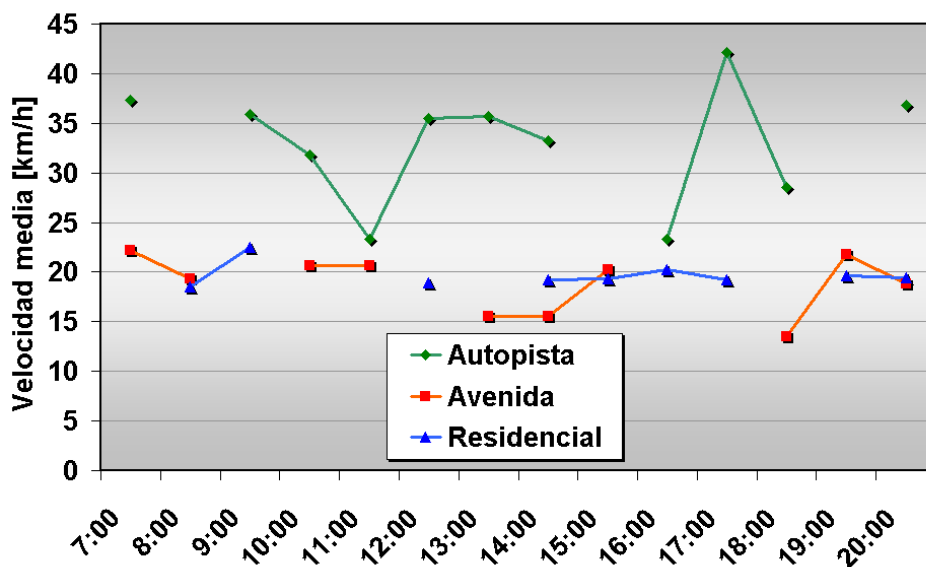


Figura 4.5: Velocidad media sector bajo de Buenos Aires

Fuera de las tendencias evidentes de una superioridad por parte de la autopista sobre la avenida y la residencial, no se logran distinguir patrones de comportamiento. Esto se debe a las dificultades que presentó la campaña en Buenos Aires durante los primeros días. Sin embargo, estos datos serán considerados en la ponderación final, donde se mostrará un resumen de los tres recorridos para todos los sectores en la sección 4.1.3.

Sector comercial

La situación del sector comercial de Buenos Aires se resume en la figura 4.6. En este sector, tal como en el sector centro de Santiago, también se consideraron dos avenidas en lugar de una avenida y una autopista.

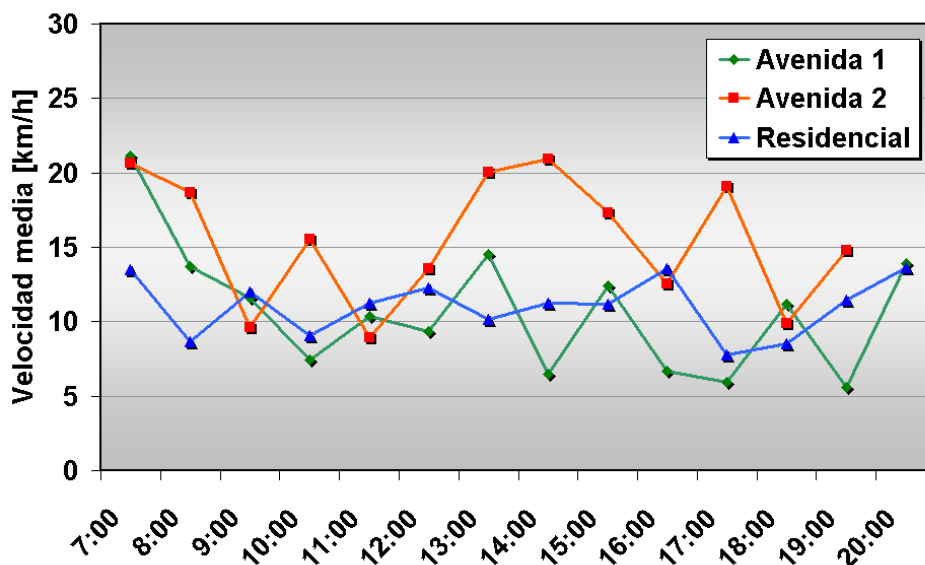


Figura 4.6: Velocidad media sector comercial de Buenos Aires

A pesar de que para los tres recorridos las medias de velocidad se encuentran entre valores cercanos, existen diferencias para los recorridos. Las diferencias son básicamente debido al número de pistas de las avenidas y a que el circuito residencial esta congestionado todo el día por estar rodeado de avenidas.

No existe una tendencia marcada que permita definir un horario de punta claro para ningún recorrido. Todos poseen varios mínimos locales de la misma magnitud en más de tres horarios durante el día, y el desfase entre un recorrido y otro hace más difícil la localización de algún horario de punta claro.

En conclusión, el comportamiento que se muestra en el sector comercial no presenta patrones de comportamiento característicos por horario del día, solo muestra diferencias en velocidades medias relacionadas a las características físicas de los recorridos.

4.1.3. Comparación de comportamientos en ambos centros urbanos

Las figuras 4.7 y 4.8 muestran el promedio de los recorridos considerando los tres sectores de cada centro urbano.

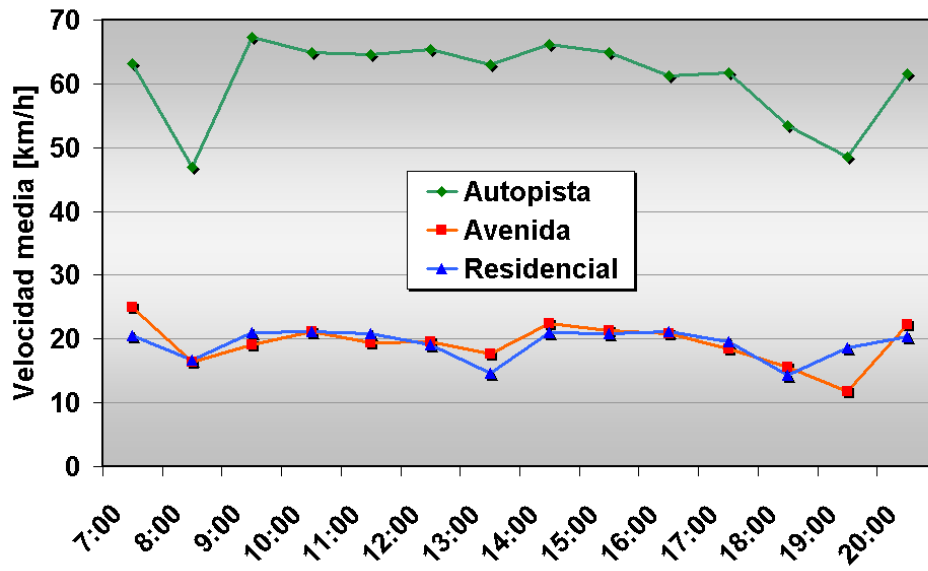


Figura 4.7: Velocidad media de Santiago

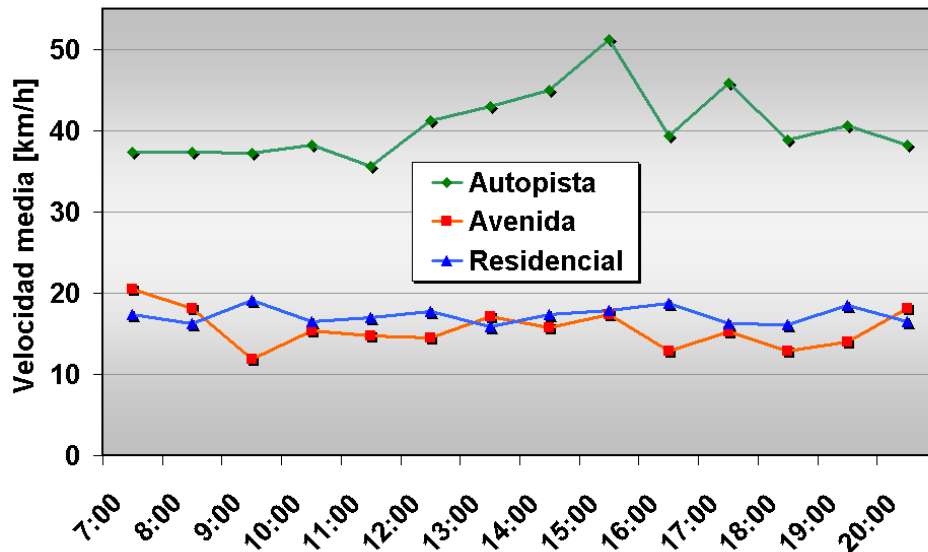


Figura 4.8: Velocidad media de Buenos Aires

En la figura 4.7 se observa que en Santiago los horarios punta están marcados en forma clara. A las 8 se presenta el horario de punta mañana, a las 13 horas el horario punta del medio día y a las 19 el horario punta de la tarde. La diferencia entre autopistas y los demás recorridos es notoria. Para las avenidas y residenciales casi no se presentan diferencias en la velocidad media (17 y 15 km/h respectivamente), pero en avenidas

se da la posibilidad de efectuar aceleraciones más prolongadas, generando características de conducción que requieren una mayor potencia del motor (velocidades máximas promedio de 62km/h vs 51km/h de las avenidas).

Buenos Aires (figura 4.8) presenta valores inferiores en los tres tipos de recorridos. En las autopistas el valor es sustancialmente inferior ya que el tipo de autopistas que existen en Buenos Aires no son autopistas de alta velocidad, sino más bien avenidas largas. No se alcanzan velocidades altas debido a las numerosas conexiones con las calles laterales adyacentes a la autopista. Se generan constantes entradas y salidas de vehículos, junto con variados cuellos de botella, lo que congestiona mucho las autopistas a toda hora.

Las residenciales y las avenidas también presentan valores de velocidad media inferiores a los de Santiago. Esto se debe a que las avenidas de Buenos Aires, a pesar de tener más pistas que las de Santiago, se encuentran en constante congestión debido a la cantidad de automóviles que existen circulando por la ciudad de Buenos Aires en comparación con Santiago.

Buenos Aires en particular no muestra una diferenciación clara entre horas punta y fuera de punta, solo se logra ver un comportamiento de punta mañana y punta tarde para las avenidas (9 y 16 horas respectivamente).

A pesar de ser información muy útil para comparar estados en régimen promedio de un vehículo sobre las distintas calles del centro urbano, la velocidad no es un buen indicador de la demanda de potencia del vehículo. Los eventos de aceleración consumen cantidades considerables de energía y esta información no es posible de obtener observando la velocidad media de un recorrido. En la sección 4.2 se muestran las distribuciones de BINS de potencia para los recorridos de Santiago, cuya información es un promedio de las 14 horas estudiadas.

4.2. Caracterización de los modos de conducción a través de la PSV

A continuación se muestran los histogramas de BINS para algunos recorridos de las distintas áreas de Santiago y Buenos Aires para el horario completo del estudio (de 07:00 a.m. a 09:00 p.m.).

Para analizar el comportamiento de los histogramas es importante recordar que los BINS de potencia del 1 al 11, del 21 al 31 y del 41 al 51 representan el caso de potencia negativa, como por ejemplo, cuando el vehículo desacelera o esta bajando por una calle de pendiente negativa. Los BINS 12, 32 y 52 representan una situación de potencia 0 o muy baja, como por ejemplo detener el vehículo frente a un disco pare o esperar tras un semáforo a que den luz verde. Los BINS restantes representan la situación en que el vehículo está usando potencia positiva, como conducir a velocidad constante, acelerar, subir una pendiente, etc. Una carga baja se refiere a condiciones en que el vehículo enfrentó bajas velocidades y bajas aceleraciones en los últimos 20 segundos de operación y las rpm del motor son relativamente bajas. Un carga alta ocurre con altas

velocidades y aceleraciones en los últimos 20 segundos de operación y las rpm del motor son altas.

La tabla 4.2 muestra un resumen de las características más importantes de cada recorrido. Estas cualidades son las que permitirán entender y explicar las formas de los histogramas que se presentarán a continuación.

Cuadro 4.2: Características de cada recorrido

Centro Urbano	Sector	Recorrido	Velocidad media [km/h]	Velocidad máxima [km/h]	Pendiente promedio [%]	Diferencias de altura	
Santiago	Alto ingreso	Residencial	25,3	53,1	1,5	L	
		Avenida	22,1	64,2	1,6	L	
		Autopista	59,3	106,9	1,7	A	
	Comercial	Residencial	15,1	52,4	1,3	L	
		Avenida 1	17,9	66,1	1,0	L	
		Avenida 2	13,9	58,9	0,9	L	
	Bajo ingreso	Residencial	17,6	48,0	0,4	M	
		Avenida	23,6	62,9	0,04	L	
		Autopista	62,3	103,2	1,6	A	
			Promedio	28,5	68,4	1,1	
	Ba. As.	Alto ingreso	Residencial	22,6	42,5	0,3	L
			Avenida	19,0	57,9	0,07	L
Autopista			46,8	77,8	0,004	M	
Comercial		Residencial	11,0	38,3	0,5	L	
		Avenida 1	10,7	41,5	0,2	L	
		Avenida 2	15,5	45,4	0,2	L	
Bajo ingreso		Residencial	19,7	31,1	0,3	L	
		Avenida	18,8	47,9	0,005	L	
		Autopista	33,1	72,4	0,8	M	
			Promedio	21,9	50,5	0,3	

La cuarta columna corresponde a la velocidad media de cada recorrido. Esta es muy útil para describir el comportamiento de la fuerza aerodinámica y de rodadura, ya que ambas dependen directamente de la velocidad del vehículo (tercer y cuarto término de la ecuación 2.1). La quinta columna corresponde a la velocidad máxima promedio alcanzada en cada recorrido, información complementaria que permite deducir que tan prolongadas pueden llegar a ser las aceleraciones. La quinta columna, junto con la cuarta, pueden explicar el comportamiento de la derivada de la energía cinética (primer término de la ecuación 2.1). Finalmente, las columnas seis y siete ayudan a comprender la influencia de la derivada de la energía potencial sobre el cálculo de la PSV (segundo término de la ecuación 2.1). La columna seis corresponde a la pendiente promedio que posee cada recorrido y la columna siete caracteriza el nivel de diferencias de altura que existen en cada recorrido. Un nivel L significa una ruta con diferencias de altura leve, un recorrido prácticamente

plano. Un nivel M (medio) corresponde a una ruta que posee diferencias de nivel más pronunciadas, como por ejemplo un paso bajo nivel o la subida a un paso sobre nivel para acceder a un trebol de retorno (como sucede en las autopistas). Un nivel A (alto) corresponde a la situación anterior, pero con diferencias de nivel más frecuentes y más prolongadas sobre el recorrido.

El aporte de cada uno de estos términos será el que defina las diferencias entre un recorrido y otro.

4.2.1. Recorridos de Santiago y Buenos Aires

A continuación se muestra un resumen del patrón de comportamiento en cada uno de los tipos de recorridos (autopista, avenida y residencial) para ambas ciudades. En este resumen se junta la información de cada uno de los 3 sectores (Alto ingreso, Bajo ingreso y comercial) para los distintos recorridos. En esta sección se verá como el tipo de calle influye sobre los modos de conducción.

Santiago

La figura 4.9 muestra los histogramas respectivos de Santiago. En este gráfico se aprecian las diferencias en los modos de conducción de los 3 tipos de recorrido. Tal como se mencionó en los antecedentes, en el BIN 12 es donde se concentra la mayor parte del tiempo de conducción, ya que este BIN representa la condición de potencia 0 o valores muy cercanos a este. Esto corresponde a estados en que el vehículo está detenido o en situaciones de bajas velocidades, relativamente constantes y con poca o ninguna pendiente. Estas situaciones son típicas en avenidas y residenciales, ya que en estas calles es donde más intersecciones viales hay, por lo que existe una mayor probabilidad de detenciones y una clara dificultad para mantener altas velocidades por periodos prolongados.

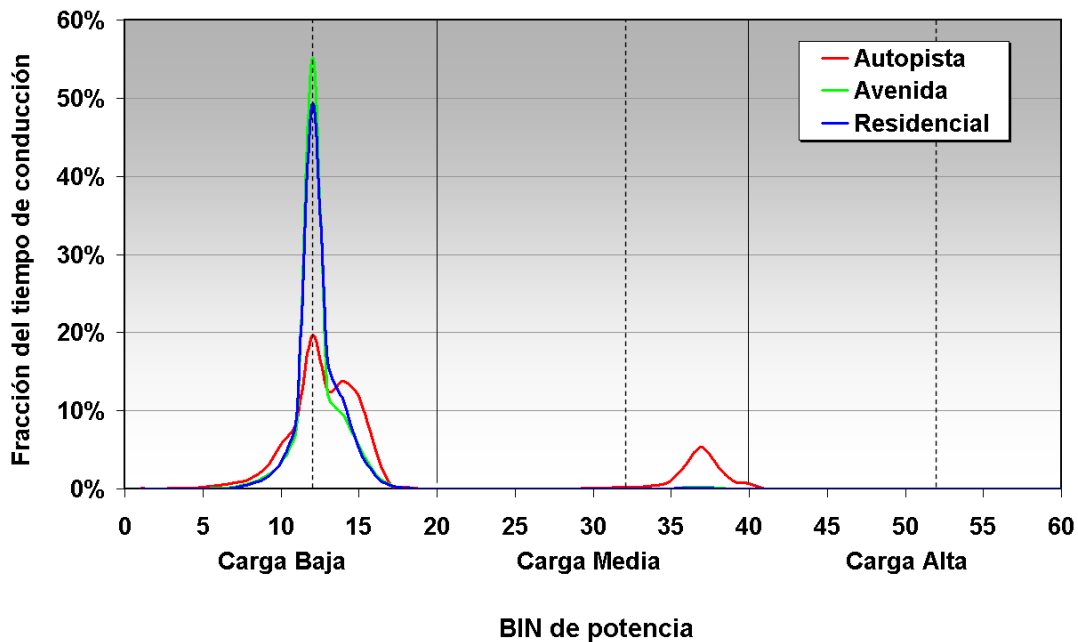


Figura 4.9: Histograma de recorridos de Santiago

La presencia de semáforos y una congestión vehicular importante son responsables de que las avenidas tengan el valor más elevado de los tres recorridos para el BIN 12 (54 %). Los recorridos residenciales también poseen una elevada permanencia en el BIN 12 (49 %), pero esta no es tan elevada como en el caso de las avenidas ya que la mayoría de los semáforos son reemplazados por discos pare, seda el paso y lomos de toro, situaciones que no implican la detención absoluta del vehículo. Además, la congestión vehicular no es tan intensa como en las avenidas. Sin embargo, como se observó en la sección anterior, la tendencia en residenciales es a conducir a velocidades más bajas que en las avenidas (tanto máximas como medias), lo que se traduce en potencias más bajas debido a una conducción menos agresiva, evitando que el valor del BIN 12 baje demasiado.

Este mismo comportamiento explicaría la leve superioridad de los circuitos residenciales sobre los de avenidas en los BINS 14 y 15. La menor fracción de tiempo que diferencia a estos recorridos en el BIN 12, se traduce en un aumento del tiempo de estadía en BINS más elevados para el circuito residencial. A pesar de que en residenciales las velocidades medias son más bajas que en avenidas, el tiempo en que están a potencias específicas mayores que cero es mayor que en las avenidas.

Aún siendo casi imperceptible la diferencia, la fracción de tiempo sobre la carga media en avenidas es mayor que en residenciales. Esto se explica por el nivel de agresividad alcanzado en avenidas, tanto por las condiciones de flujo como por el condicionamiento psicológico (deseo de regresar al hogar o de

salir de la congestión). Las velocidades máximas alcanzadas en avenidas son mayores que las alcanzadas en residenciales, lo que permite aceleraciones más prolongadas y por ende una permanencia superior en la carga media.

Las pendientes promedio de ambos recorridos y el nivel de diferencias de altura que poseen son muy similares. Esto indica que los histogramas no debieran diferenciarse por la influencia del término de la energía potencial.

En términos generales las avenidas y las residenciales poseen un comportamiento muy similar. La forma de las curvas es prácticamente igual, ambas muestran tiempos de permanencia muy bajos sobre la carga moderada y ninguna se presenta sobre la carga alta. Finalmente, las autopistas, gracias a su casi nula presencia de intersecciones o eventos que provoquen alguna detención, poseen un 20 % de tiempo de conducción en el BIN 12. Esta disminución a más de la mitad del tiempo en el BIN 12 comparado con avenidas y residenciales se debe principalmente al tipo de calle. Las instancias de congestión vehicular son muy pocas durante el día y la probabilidad de poder conducir a velocidades elevadas durante el trayecto completo es muy alta.

Sin embargo, a pesar de que lo anterior concuerda con la baja en el BIN 12 con respecto a los otros dos recorridos, contradice los valores absolutos de la curva de autopistas. Es decir, si se está afirmando que casi no existen detenciones: ¿Por qué entonces el BIN 12 representa la mayor fracción de tiempo del recorrido de autopista?. Esto se explica al analizar la construcción de los circuitos de autopista. Al ver los circuitos de Autopista en el Anexo C, se observa que el circuito está compuesto por dos tramos rectos de autopista más dos retornos sobre o bajo nivel. Estos retornos poseen detención, por lo que se alcanza el BIN 12 en estos sectores. De hecho, no solo existe permanencia en este BIN, sino que abarca una fracción de tiempo considerable relativo al tiempo de una vuelta completa sobre el circuito. Esto se debe a que el vehículo recorre en muy poco tiempo los tramos rectos de la autopista ya que la velocidad promedio es elevada (sobre los 80 km/h). En cambio en los retornos, a pesar de que son mucho más cortos en distancia, la velocidad del automóvil es mucho más baja y casi siempre hay detenciones. Esto distorsiona un poco el comportamiento real en autopistas, pero aún así el efecto de los modos de conducción en autopistas es notoriamente diferente al de los otros dos recorridos.

La diferencia más notoria que se observa en el comportamiento de las autopistas, es que poseen una distribución más pequeña y poco uniforme en carga baja, mientras que en carga media los valores son mucho más elevados que para las avenidas y residenciales. Este comportamiento se debe a las altas velocidades que se alcanzan en autopistas, a la posibilidad de aceleraciones prolongadas y a que prácticamente no existen detenciones en éstas. Como se mencionó en los antecedentes, la carga media se alcanza cuando las velocidades son elevadas y las aceleraciones son prolongadas (durante periodos largos de conducción), situación que se da casi siempre en las autopistas. Este mayor tiempo de permanencia a altas velocidades provoca el decaimiento y la deformación de la distribución en carga baja. El decaimiento es porque la fracción de

tiempo en carga media aumenta y por ende la de carga baja disminuye. La deformación es porque dentro de la carga baja, las velocidades elevadas son más estimuladas por lo que los valores de PSV se corren hacia los BINS más elevados de dicha categoría de carga. Además, la pendiente promedio que existe en las dos autopistas y las diferencias de altura dentro de la misma ruta son las mayores de todos los recorridos, lo que permite obtener valores más altos de PSV.

Es importante mencionar que ninguno de los recorridos presenta permanencia alguna sobre la carga alta. Esto se debe a que en los recorridos seleccionados, no existían instancias de pendientes muy elevadas y largas, no existía la posibilidad de conducir a velocidades muy altas y tampoco se podían mantener aceleraciones lo suficientemente prolongadas como para caer en una PSV muy elevada por más de 20 segundos. Las condiciones previas sólo se lograron un par de segundos a horas fuera de punta en las autopistas de Santiago. Esta será información importante para la sección siguiente, donde se calcularán las emisiones asociadas a cada histograma, ya que solo importará concentrarse en los comportamientos observados en carga baja y media.

En resumen, las avenidas y residenciales de Santiago poseen el dominio de estadía en carga baja gracias a las constantes intersecciones presentes en las rutas. Esto provoca mayores detenciones y que el vehículo se encuentre a muy bajas velocidades durante una considerable fracción de tiempo. Ambas poseen un comportamiento similar para carga baja, sin embargo, las avenidas poseen permanencia levemente superior en carga media debido a las aceleraciones más bruscas y prolongadas. Las autopistas de Santiago poseen una permanencia elevada en carga media, y su distribución en carga baja abarca BINS más elevados que las residenciales y las avenidas. Esto es porque prácticamente no existen detenciones, las velocidades y aceleraciones alcanzadas son mucho más elevadas y la pendiente promedio, junto con las diferencias de altura locales, es mayor en autopistas.

Buenos Aires

En Buenos Aires los patrones de comportamiento fueron un poco diferentes. En Buenos Aires (figura 4.10) se observa un comportamiento similar al de Santiago en cuanto a avenidas y residenciales, sin embargo en autopistas se observa una diferencia sustancial. Esto será analizado con más detalle en la sección siguiente.

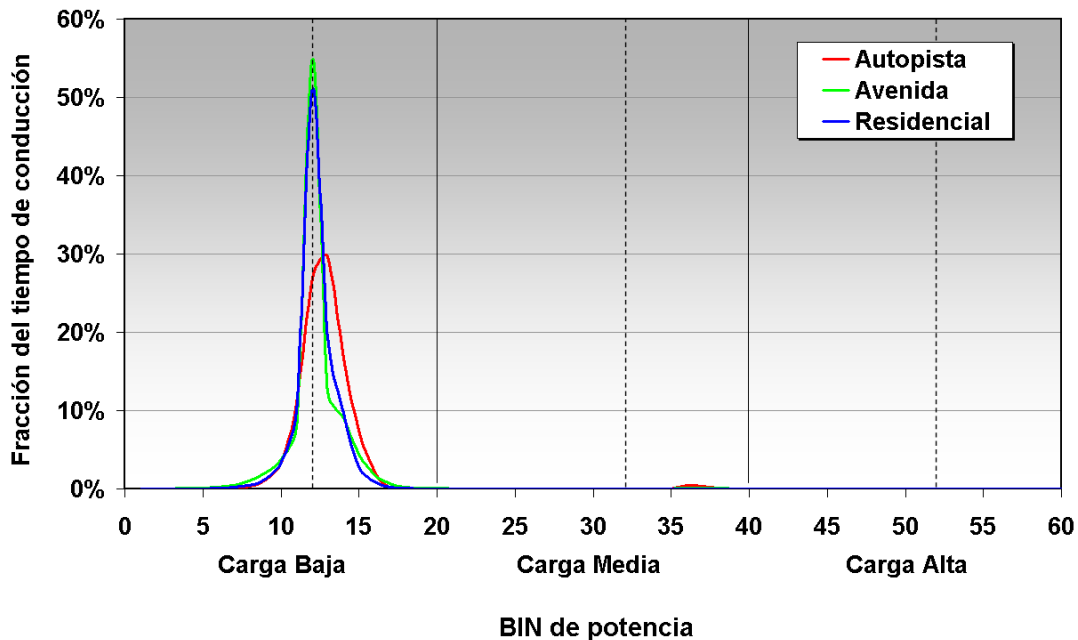


Figura 4.10: Histograma de recorridos de Buenos Aires

En Buenos Aires, tanto las avenidas (56 %) como las residenciales (51 %) mantienen valores muy similares para el BIN 12 en comparación con Santiago (56 % y 49 % respectivamente). La tendencia de las curvas es muy similar en cuanto a forma y tiempo de permanencia en las tres secciones de carga. El tiempo en cargas moderadas es nuevamente insignificante y nulo en carga alta. Solo se presentan traslapes entre los BINS 5 y 11 y nuevamente entre los BINS 13 y 14. La diferencia vuelve a ser que la curva verde (avenidas) es inferior en estos BINS y la razón es la misma que para el caso de Santiago. Las autopistas poseen un histograma más ancho ya que su permanencia en potencias específicas elevadas es mayor, principalmente debido a la posibilidad de acceder a velocidades más altas y aceleraciones más prolongadas que en los otros dos casos.

En la carga moderada se observa una leve presencia de las avenidas y autopistas. Las autopistas se presentan en los BINS 35, 36 y 37, y son superiores que las avenidas, pero estas últimas tienen presencia en un rango mayor (desde el 35 al 40).

En conclusión, para carga baja y media, los comportamientos de avenidas y residenciales son prácticamente iguales en Santiago y en Buenos Aires. Para la autopista en cambio, a carga baja no se observa una diferencia tan clara de una disminución en la fracción de tiempo del ralentí y en carga media la permanencia de las autopistas de Buenos Aires es bajísima en comparación con la de Santiago.

4.2.2. Autopistas de Santiago v/s Autopistas de Buenos Aires

Para realizar esta comparación se juntó la información de las dos autopistas de cada centro urbano. Es importante recordar las autopistas utilizadas para realizar el estudio. La avenida Kennedy con la autopista del Sol para el caso de Santiago y la autopista 9 de Julio con la avenida Leopoldo Lugones en Buenos Aires.

Como se ve en la figura 4.11, la primera diferencia es que la fracción de tiempo de las autopistas de Buenos Aires en el BIN 12 (27 %) es superior al de las autopistas de Santiago (20 %). Junto con esto, se observa que existe una porción significativa de la fracción del tiempo de conducción de las autopistas de Santiago en carga moderada, no así en el caso de Buenos Aires. Esto se debe a una razón muy particular, ya que el tipo de autopistas que existen en Buenos Aires no son autopistas de alta velocidad, sino más bien avenidas más largas de lo común. No se alcanzan velocidades altas debido a las numerosas conexiones con las calles laterales adyacentes a la autopista. Se generan constantes entradas y salidas de vehículos, junto con variados cuellos de botella, lo que congestiona mucho las autopistas a toda hora.

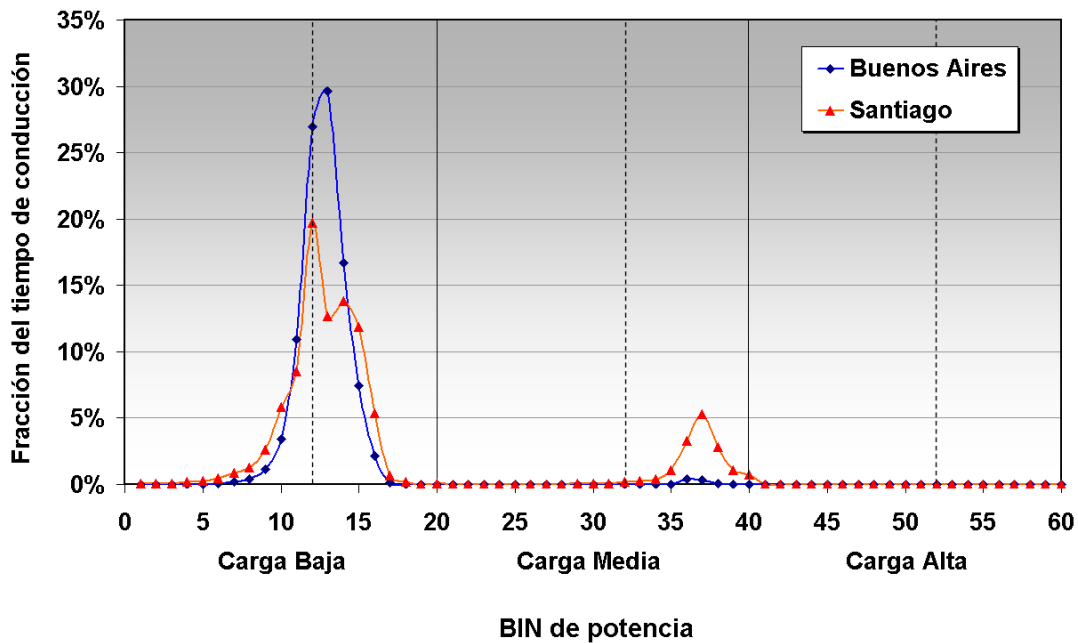


Figura 4.11: Histograma de autopistas de Santiago y Buenos Aires

Por este mismo motivo, las ocasiones para acelerar en forma prolongada y mantener el vehículo a velocidades elevadas por mucho tiempo son pocas, dejando como consecuencia valores de potencia específica relativamente bajos, o por lo menos no lo suficientemente altos como para acceder a situaciones de carga moderada.

Esta situación es opuesta a la de Santiago, donde sí se alcanzan velocidades altas y si se pueden efectuar aceleraciones prolongadas debido al confinamiento de flujo que existe en las autopistas mencionadas, permitiendo así un abultamiento en la región de carga media. A esto se le suma el factor de la pendiente y las diferencias de altura. En Santiago, la pendiente promedio para las autopistas es 1,7 [%] con un alto nivel de diferencias de altura, mientras que para Buenos Aires la pendiente promedio para las autopistas es 0,4 [%] y el nivel de diferencias de altura es medio. Esto permite a las autopistas de Santiago alcanzar PSV más elevadas.

Otra diferencia entre las autopistas es que el máximo de las distribuciones no se encuentra en el mismo BIN. Para el caso de Buenos Aires, no se obtiene el máximo en el BIN 12, si no en el 13. Esto se debe nuevamente a la construcción de los circuitos de las autopistas. En Buenos Aires los retornos en las autopistas no tienen detención, solo existe un semaforo el paso, y además son mucho más cortos que los de Santiago. Esto permite a los conductores de Buenos Aires estar mucho más tiempo del circuito alejados de velocidades nulas y de potencias específicas cercanas a cero.

Debido a la morfología de las autopistas de Buenos Aires, estas presentan muchas diferencias con respecto a las autopistas de Santiago. Al ser más transitadas y al tener una mayor comunicación con las calles contiguas, las autopistas de Buenos Aires son más propensas a la congestión vehicular y por lo tanto poseen muy baja permanencia en carga media.

4.2.3. Comportamiento de una avenida en dos horarios distintos

Como se mencionó en los antecedentes, existe un tercer factor importante que impacta en los modos de conducción; el horario del día. En esta sección se intenta reflejar el efecto de la hora del día sobre el histograma de BINS de un recorrido en particular. El recorrido escogido fue la avenida Vitacura y los horarios seleccionados fueron el de las 15:00 (fuera de punta tarde) y el de las 19:00 (punta tarde).

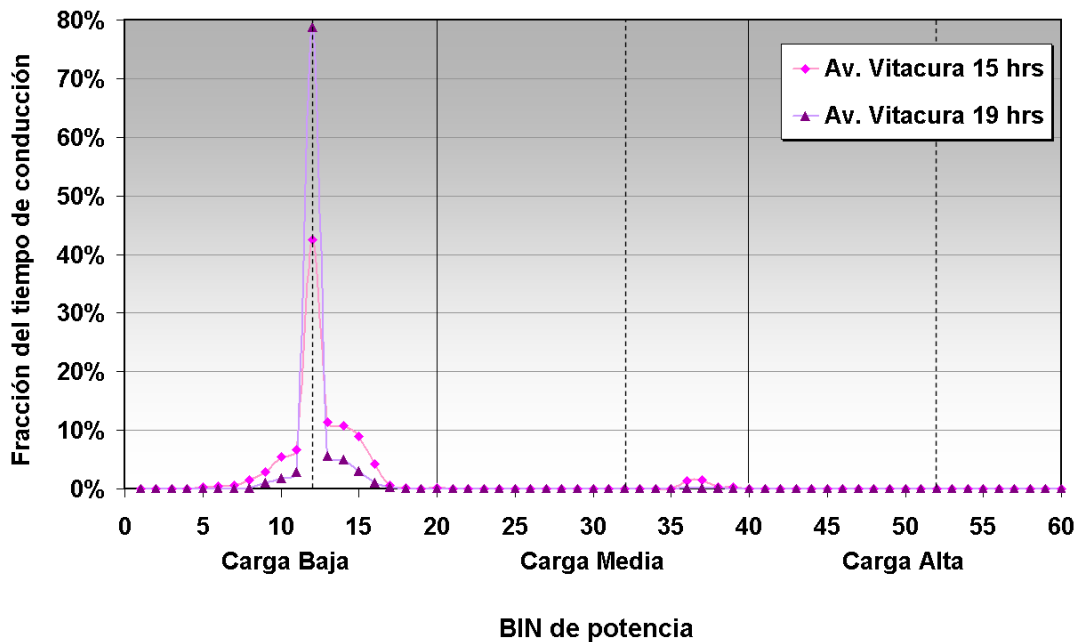


Figura 4.12: Histograma de avenida Vitacura 15 y 19 horas.

Los efectos del horario sobre la conducción son evidentes (figura 4.12). Al cambiar de un estado fuera de punta a uno de punta, la permanencia en el BIN 12 puede evolucionar de un 42 % a un 79 %. Esto provoca que los automóviles en horarios de punta solo se mantengan en BINS cercanos al 12 en carga baja, sin tener la menor posibilidad de acercarse a la carga moderada. Simplificando un poco la situación, se podría decir que solo un 30 % del tiempo el vehículo se encuentra fuera del ralentí. Sin embargo, en un horario fuera de punta, en el mismo recorrido es posible alcanzar velocidades elevadas y aceleraciones prolongadas de forma de lograr cierto porcentaje del tiempo dentro de la sección de carga moderada.

Una distribución menos localizada y con valores mayores en la vecindad del BIN 12 se logra gracias a la mayor movilidad que se tiene en horarios fuera de punta. Al no estar encasillado en la congestión y al tener mayores facilidades de maniobra, el vehículo abarca una mayor variedad de valores de PSV, incursionando en BINS más distantes del 12 por mayor tiempo que en una situación de hora punta.

Tanto las velocidades medias como las máximas son mayores en horarios fuera de punta, esto provoca un impacto importante sobre los modos de conducción ya que las potencias alcanzadas por el motor son mayores. En horario de punta el vehículo puede estar detenido hasta un 80 % del tiempo de duración del recorrido, dejando sólo un 20 % potencial para aceleraciones y desaceleraciones bruscas, pero las velocidades son muy bajas, por lo que no se logran esfuerzos considerables sobre el motor.

4.2.4. Santiago v/s Buenos Aires

En la figura 4.13 se observa un resumen de los patrones de comportamiento observados en cada ciudad. Cada histograma posee la información completa de la ciudad respectiva, es decir, se calculó dicho histograma reuniendo las 14 horas de cada uno de los 3 recorridos de cada sector de la ciudad.

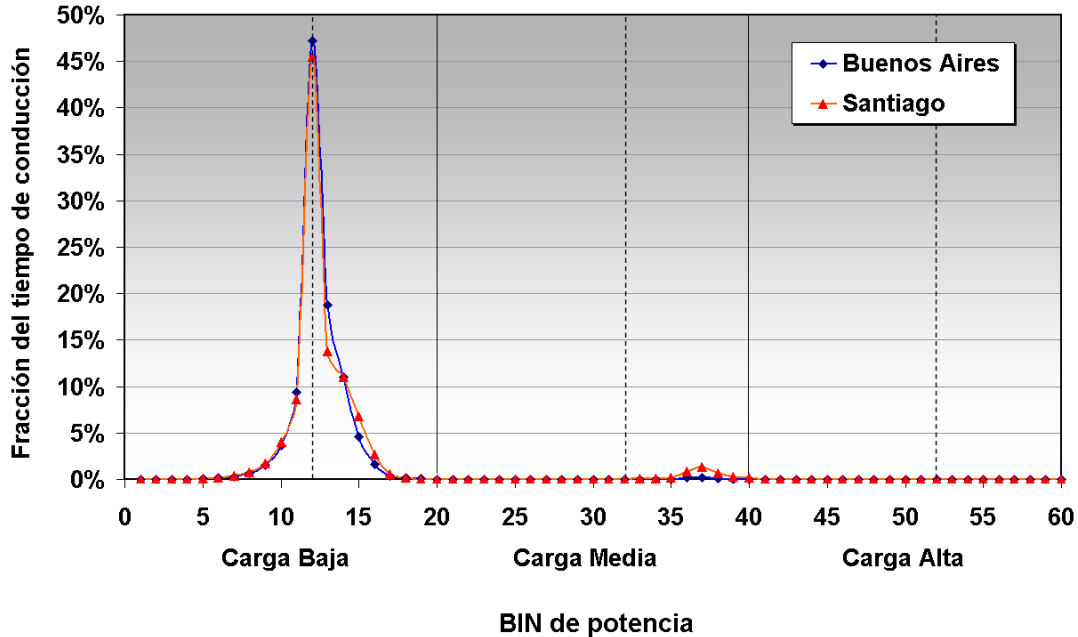


Figura 4.13: Histograma global de Santiago y Buenos Aires.

El valor máximo de ambos histogramas se da para el BIN 12 y representa un 46 % para Santiago y un 48 % para Buenos Aires. Esto quiere decir que cerca de la mitad del tiempo el vehículo se encuentra detenido o bajo niveles de potencia específica muy baja. Esto se debe principalmente al aporte sustancial de las avenidas y los recorridos residenciales, ya que en estas calles es donde más intersecciones viales hay, por lo que existe una mayor probabilidad de detenciones y una clara dificultad para mantener altas velocidades por periodos prolongados. Esto repercute directamente en los bajos valores que se muestran en la distribución de la carga moderada.

Las diferencias principales que existen entre ambos histogramas son el valor del máximo, la forma de la distribución en carga baja y la presencia de una leve ocupación de BINS de Carga Moderada en la ciudad de Santiago. Ambos fenómenos se explican gracias al aporte de las autopistas. Como se mencionó anteriormente, en las autopistas de Santiago se pueden alcanzar velocidades muy elevadas y aceleraciones prolongadas, mientras que en Buenos Aires las autopistas por lo general se presentan muy congestionadas y con pocos tramos libres de intersección con otras vías. A esto se le suma el rol de la pendiente. El promedio de pendiente

de los recorridos de Santiago es mayor que la de las rutas de Buenos Aires. Así, Santiago supera a Buenos Aires en permanencia sobre los BINS 15 y 16, al ser esta última una ciudad más plana.

Al analizar la influencia global de todos los recorridos sobre el histograma final de cada centro urbano, se observa que tanto en forma como en magnitud los histogramas de Santiago y Buenos Aires son muy similares. En ambos casos la fracción de tiempo que permanecen en ralentí es cercana al 50 % y las distribuciones en carga baja tienden a trasladarse hacia las potencias específicas positivas. Sin embargo, para carga media, el dominio de Santiago es superior debido al aporte de las autopistas, donde se alcanzan potencias más elevadas que en Buenos Aires.

Las diferencias importantes entre ellos se harán relucir en la sección siguiente, donde se analizan las emisiones asociadas a cada histograma.

4.3. Impacto de los modos de conducción en la generación de emisiones unitarias

En esta sección se analiza el impacto de los modos de conducción en la generación de emisiones y se presenta la base a utilizar para realizar las comparaciones correspondientes entre los distintos recorridos de ambos centros urbanos.

Como se mencionó en los antecedentes, determinados modos de conducción generan un gran impacto sobre las emisiones vehiculares. Para poder comparar dicha influencia entre los diferentes patrones de conducción que se analizaron en la sección 4.2, es necesario tener una base de emisiones común. Fijando la misma base de valores para cada contaminante sobre todos los recorridos, el único factor que incide sobre el valor total de las emisiones es el modo de conducción (histograma de BINS), por lo que la atención se concentrará en los gráficos de la sección anterior al momento de justificar ciertos comportamientos.

La comparación de emisiones sólo considera las cargas medias y bajas de cada histograma ya que, como se vio en la sección anterior, la potencia específica de los vehículos nunca alcanzó a caer en el rango de carga alta.

4.3.1. Base de datos de emisiones vehiculares

Las emisiones que se utilizan son las de un vehículo liviano de pasajeros de categoría Euro 1. Esta categoría corresponde a los primeros automóviles con convertidor catalítico. El resumen de emisión vs BIN está detallado en la figura 4.14.

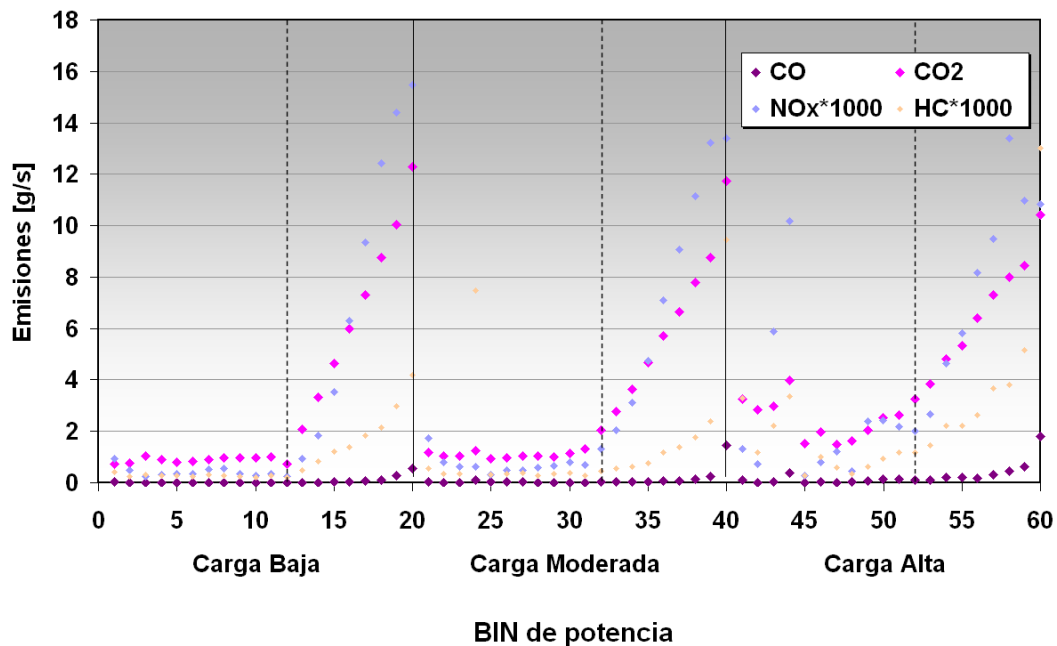


Figura 4.14: Emisión de cada contaminante por BIN.

En este gráfico se observa como el CO_2 predomina sobre el resto de los contaminantes. En ella se observa que el CO es el segundo en masa, y luego vendrían en NO_x y el HC con mucho menor protagonismo. Es por esto que se decidió cambiar la escala de los contaminantes de menor masa, así se podrán comparar todos los contaminantes bajo el mismo formato. La tabla 4.3 muestra el factor de amplificación que se aplicó a cada contaminante.

Cuadro 4.3: Factores de escala

Contaminante	Factor de amplificación
CO_2	1
CO	100
NO_x	1000
HC	1000

Según esta tabla, para obtener el contenido exacto de gramos por segundo de las emisiones totales mostradas en los gráficos de esta sección, el valor de cada contaminante deberá ser dividido por el factor de amplificación que se encuentra en esta tabla.

Lo más importante de la figura 4.14 es que en ella se observa una tendencia clara del aumento de las emisiones una vez que se supera el BIN 12 para cada una de las cargas. Esto concuerda con lo intuitivo, ya

que el ralentí es la situación en que el vehículo emite en menor cantidad, y al ir aumentando la carga sobre el motor (y su potencia específica) lo normal es que las emisiones suban considerablemente. Para los valores inferiores al BIN 12 no existe un comportamiento definido, pero, en promedio, son relativamente constantes. Esto provocará que los histogramas que tengan una mayor permanencia en el lado derecho de los BINS de ralentí, tiendan a generar más emisiones.

La razón de que no exista una tendencia marcada para las emisiones de los BINS inferiores al ralentí se debe a las numerosas formas de disminuir la velocidad, junto con las posibles situaciones de pendiente negativa. El valor de emisión asociado a cada BIN en este gráfico, corresponde a un promedio del valor de todas las emisiones obtenidas para cada BIN durante toda la etapa de adquisición de datos. Por ejemplo, un mismo valor de PSV negativa se puede lograr de muchas formas distintas: i) frenando en ralentí, ii) frenando en alguna marcha iii) bajando por una pendiente en ralentí iv) bajando por una pendiente en alguna marcha. Todos estos casos provocan distintas emisiones y sin embargo están asociadas al mismo BIN. Esto no sucede muy a menudo para las PSV positivas, ya que la única forma de aumentar la potencia del automóvil es acelerando o sometiendo a pendientes positivas, que por lo general no son tan pronunciadas ni tan frecuentes como para influir en las PSV y causar una alteración notoria en las emisiones del BIN respectivo.

Otra característica importante es que a medida que el nivel de carga aumenta (baja, media, alta) las emisiones también lo hacen. Esto tiene sentido, ya que una carga superior se traduce en una carga previa superior sobre el motor, y para ese instante el motor ya se encontrará en un nivel exigido, emitiendo contaminantes a una tasa mayor que en un caso en que la carga haya sido repentina.

4.3.2. Comparación de recorridos de Santiago y Buenos Aires

Santiago

La figura 4.15 muestra las emisiones obtenidas para los tres recorridos en la ciudad de Santiago. Para los 4 contaminantes, existe una clara superioridad de las autopistas sobre los otros dos recorridos. Esto se aprecia tanto en carga baja como en carga alta. En la figura 4.15 se puede apreciar que la forma del histograma de las autopistas en carga baja abarca un abanico más amplio de BINS que las avenidas y residenciales. A pesar de que en el BIN 12 los valores de fracción de tiempo de avenidas y residenciales son el doble que el de las autopistas, en los BINS más altos domina la autopista. Esto se traduce en emisiones absolutas más elevadas ya que para los BINS superiores al 12, las emisiones asociadas aumentan considerablemente. Aun teniendo las autopistas un tiempo total de permanencia en carga baja menor al de los otros recorridos, las emisiones en carga baja de Santiago son mayores.

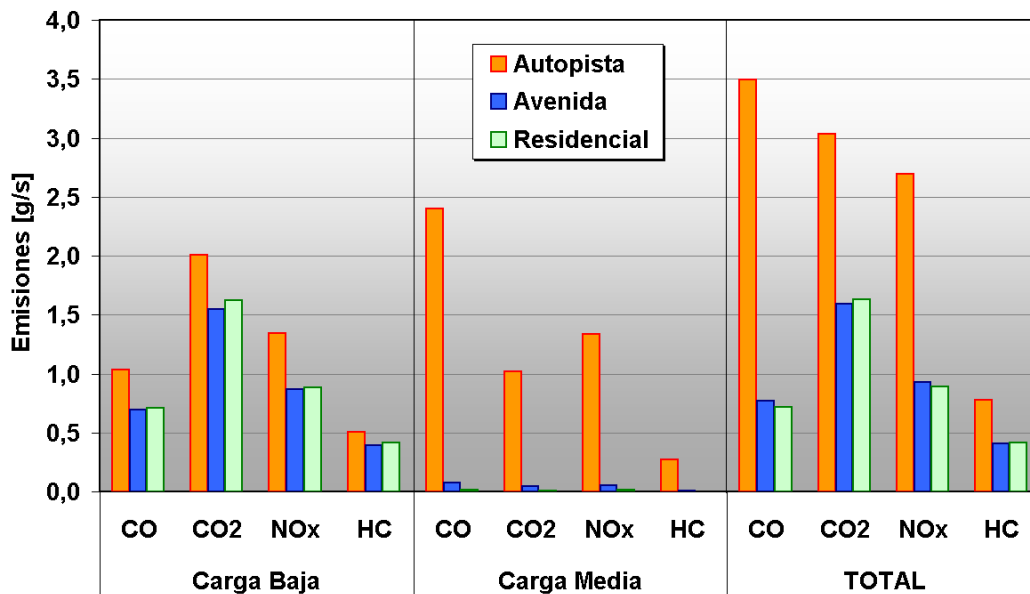


Figura 4.15: Emisiones de los recorridos de Santiago.

Para la carga media, la diferencia se hace aún más notoria debido a un doble efecto. Por una parte posee una permanencia mucho mayor que las avenidas y residenciales, las que poseen una permanencia casi nula en este sector, y por otra parte, las emisiones que se obtienen en carga media son mayores que las de carga baja. Es decir, un vehículo en autopista no sólo está mucho más tiempo en BINS de carga media que en los otros recorridos, sino que los BINS de carga media contaminan más que los de carga baja.

Todo esto se traduce en que las emisiones de autopistas sean superiores a las de residenciales y avenidas en 5 veces para el CO , 2 veces para el CO_2 , 3 veces para el NOx y el doble para el HC .

Este resultado puede ser confuso en un principio ya que uno de los objetivos de la creación de autopistas es justamente reducir las emisiones de los vehículos al permitirles conducir a velocidades constantes por periodos prolongados. La confusión se aclara al pasar los valores de emisión de g/s a g/km , unidad en la que las emisiones dependen de la velocidad del vehículo. Por esto es posible que en términos unitarios (g/s) en autopistas se emita más, pero como la velocidad promedio en autopistas es mucho mayor, en un kilómetro de distancia las emisiones encontradas son menores.

Al comparar las avenidas con las residenciales la diferencia en emisiones es mucho más sutil. Tal como en el caso anterior, a pesar de que las avenidas tienen un máximo de permanencia mayor para el BIN12, las emisiones para la carga baja son superiores en residenciales debido a que en los BINS sobre el 12 la fracción de tiempo de este recorrido domina. Sin embargo, para los niveles de carga media es la avenida la

que sobresale levemente. Esto se debe a que la fracción de tiempo en este segmento es sutilmente superior en avenidas que en residenciales.

Sumando el efecto producido por ambas cargas sobre los dos recorridos se observa una diferencia muy leve para cada contaminante.

Buenos Aires

La figura 4.16 muestra las emisiones obtenidas para cada uno de los recorridos de la ciudad de Buenos Aires. En esta ocasión la diferencia entre autopistas y los otros dos recorridos no es tan grande. Tal como fue anunciado en la sección anterior, las autopistas dominan en carga baja debido a su superioridad en fracción de tiempo sobre los BINS mayores que 12. Sin embargo, la superioridad no se mantiene en carga media. Como se analizó en la sección 4.2.1, a pesar de una leve superioridad de las autopistas en un tramo, las avenidas abarcan un rango más amplio. Esto se tradujo en un mayor nivel de emisiones para el *CO* en avenidas, pero un menor nivel para el resto de los contaminantes. Esta diferencia corresponde únicamente a la forma de la curva de emisiones en función del BIN (figura 4.14).

A pesar de los distintos aportes de la carga media, el valor total de las emisiones no se ve afectado, ya que en carga baja es donde ocurren la gran mayoría de los eventos.

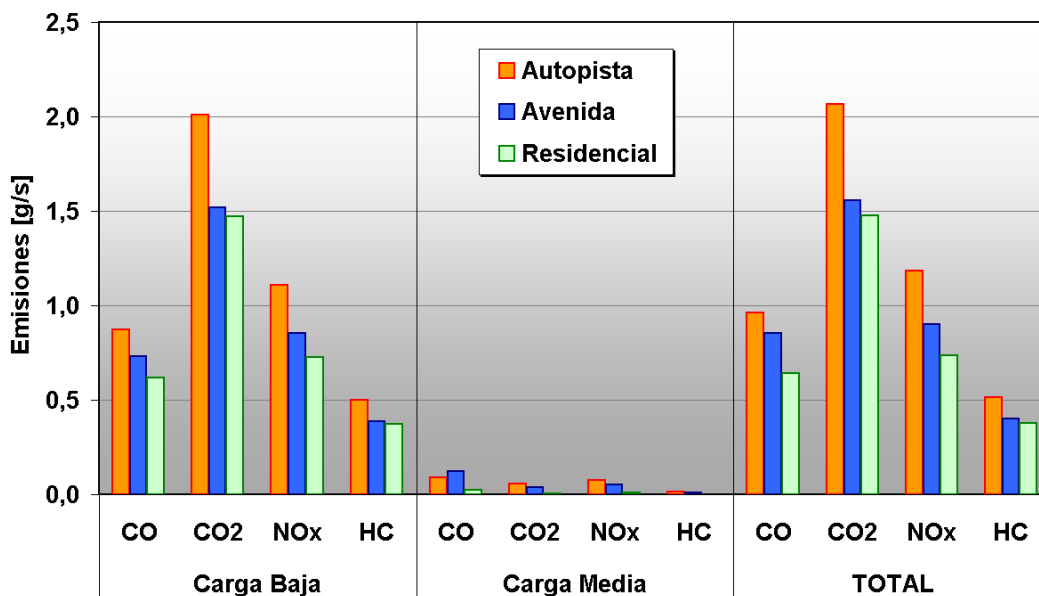


Figura 4.16: Emisiones de los recorridos de Buenos Aires.

La diferencia entre las avenidas y residenciales es más marcada que en Santiago. Nuevamente el efecto de una fracción superior de las avenidas sobre las residenciales en la carga media no provocan un efecto sustancial sobre las emisiones totales. La diferencia importante se encuentra en las cargas bajas. La superioridad de las avenidas en los BINS mayores al 14 es lo que lleva a estas a lograr mayores emisiones totales que las residenciales. Esto se debe a una conducción más brusca, con un promedio de velocidades más elevado y con velocidades máximas superiores, permitiendo así que las aceleraciones sean más prolongadas y por ende las emisiones sean mayores.

4.3.3. Autopistas de Santiago y Buenos Aires

En la figura 4.17 se muestra una comparación entre los valores obtenidos para las emisiones en las autopistas de Santiago y Buenos Aires.

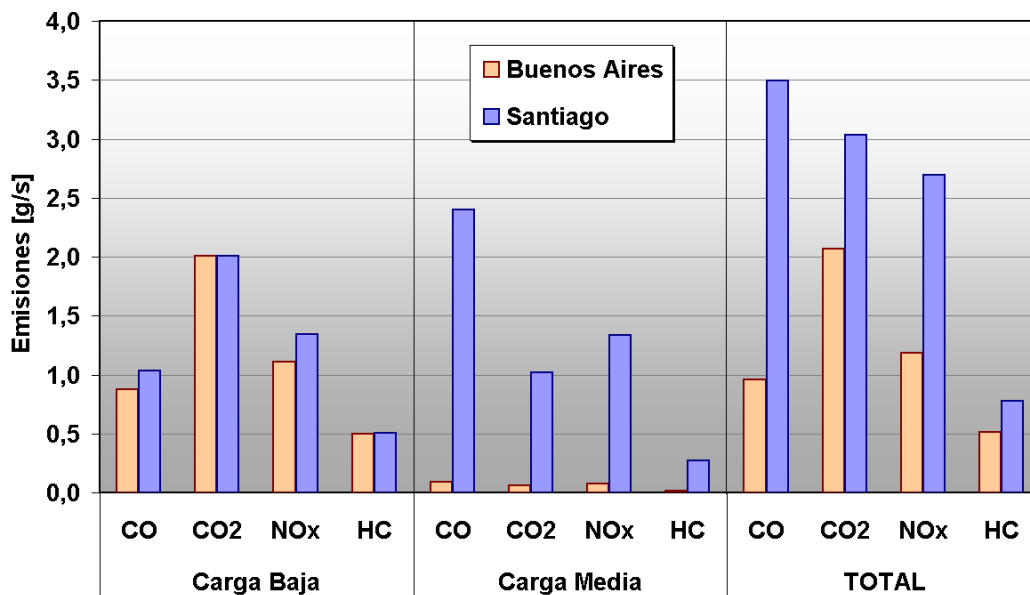


Figura 4.17: Emisiones en autopistas.

Santiago domina en todas las categorías. Tanto en carga baja como en carga media Santiago posee emisiones mayores que las de Buenos Aires. Sin embargo, las emisiones de la carga media resaltan la diferencia. Aun teniendo Santiago un tiempo total de permanencia en carga baja menor al de Buenos Aires, las emisiones en carga baja de Santiago son mayores. En la figura 4.11 se ve como Santiago domina en fracción de tiempo en los BINS sobre el 14. A pesar de que las autopistas de Buenos Aires superan a Santiago en los BINS del 11 al 14, el mayor nivel de emisiones asociado a los BINS más elevados le permiten a Santiago

lograr una leve superioridad.

En cambio, en carga media, la superioridad de Santiago es mucho más notoria debido al doble efecto mencionado en el análisis de la sección 4.2.2. No solo está emitiendo más en carga media que Buenos Aires porque su tiempo de permanencia en ese sector es mayor, sino que también se suma el efecto de que las emisiones en carga media son más elevadas que en carga baja para cada BIN.

El particular comportamiento de los vehículos en las autopistas de Santiago generan emisiones superiores a las que se observan en Buenos Aires; 4 veces mayor en CO , 1.5 veces en CO_2 , 2.2 veces en NO_x y 1.6 veces mayor en HC .

4.3.4. Emisiones de una avenida en dos horarios distintos

Tal como era de esperarse (después de mirar la figura 4.12) en la figura 4.18 se muestra una clara superioridad en todas las emisiones para el caso de la avenida Vitacura a las 15 horas. El fenómeno observado es prácticamente el mismo que para el caso de la comparación entre las autopistas de Santiago y Buenos Aires. Al contrastar las figuras 4.11 y 4.12 se observan los mismos comportamientos tanto a baja carga como a media carga en cada una de los recorridos. Con una menor fracción de tiempo en carga baja, pero con una mayor concentración sobre los BINS más elevados, el recorrido de la avenida Vitacura a las 15 horas supera en emisiones al recorrido de las 16 horas en todos los contaminantes.

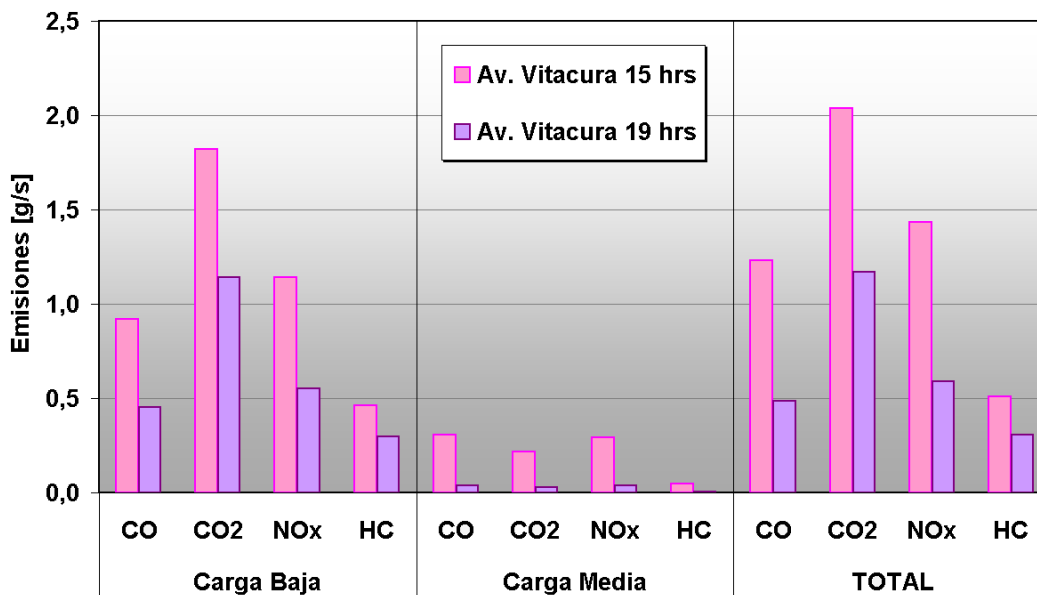


Figura 4.18: Emisiones en avenida Vitacura 15 y 19 horas.

La permanencia de una breve fracción de tiempo en carga media para el caso de las 15 horas, versus una permanencia prácticamente nula para el caso de las 19 horas, provocan las diferencias en emisiones observadas.

El efecto final se muestra en la comparación de emisiones totales, donde la hora fuera de punta de la tarde duplica casi, en todos los contaminantes, las emisiones vehiculares que se obtienen en el horario punta de la tarde.

4.3.5. Comparación de emisiones unitarias de ambos centros urbanos

En la figura 4.19 se muestra el resumen de las emisiones obtenidas para cada recorrido en ambos centros urbanos. En las autopistas la superioridad de Santiago es clara. Las residenciales de Santiago también dominan sobre las de Buenos Aires debido a que los circuitos residenciales de Santiago son levemente superiores en fracción de tiempo de conducción para los BINS más elevados. A pesar de que esta diferencia es muy leve en términos particulares, las emisiones totales se ven afectadas por un efecto acumulativo.

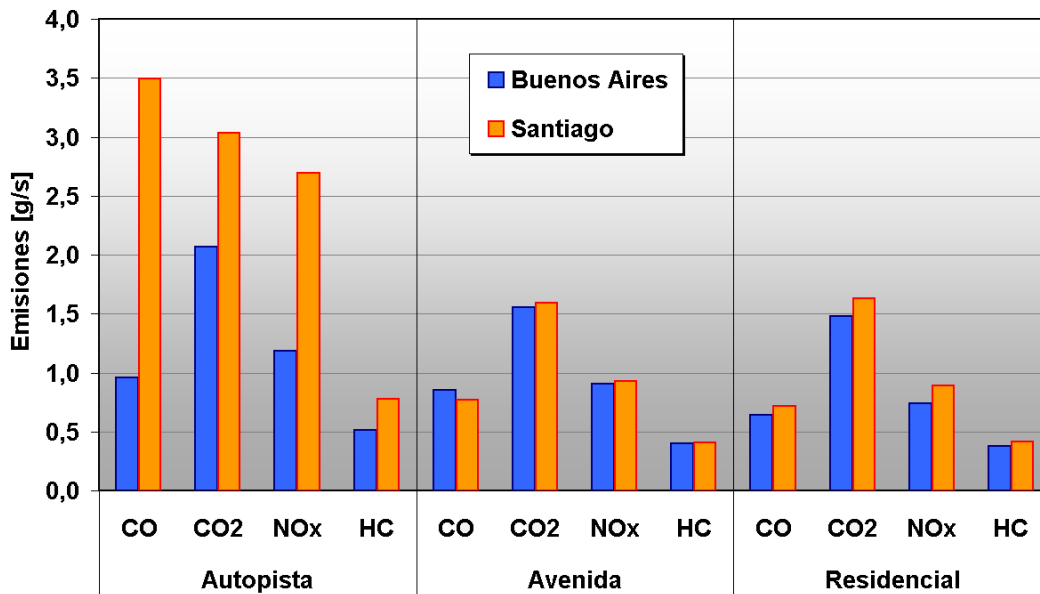


Figura 4.19: Detalle de emisiones por recorrido.

En el caso de las avenidas, nuevamente la diferencia en emisiones es muy leve. Las figuras 4.9 y 4.10 acusan un comportamiento prácticamente imposible de diferenciar, pero para el caso de Santiago la distribución es levemente más baja en el BIN 12 (2 % menor) y levemente más ancha en carga baja. Esto provoca una permanencia mayor de las avenidas de Santiago sobre los BINS más altos, lo que se traduce en mayo-

res emisiones. Para el CO se produce el resultado contrario, ya que la curva de emisiones por BIN del CO está levemente cargada hacia los BINS centrales de cada sección de carga.

La figura 4.20 muestra el resumen total de emisiones para cada centro urbano. Como se observa en la figura 4.19 y en análisis de la figura 4.13 el principal aporte de las emisiones en Santiago es derivado del comportamiento en autopistas. Ese recorrido aporta emisiones superiores en ambas cargas, pero la diferencia más notable se produce a cargas medias. A pesar de que la carga media representa una fracción de tiempo muy inferior a la que existe en carga baja, el efecto de emisiones más elevadas a cargas medias produce un impacto no despreciable sobre las emisiones totales.

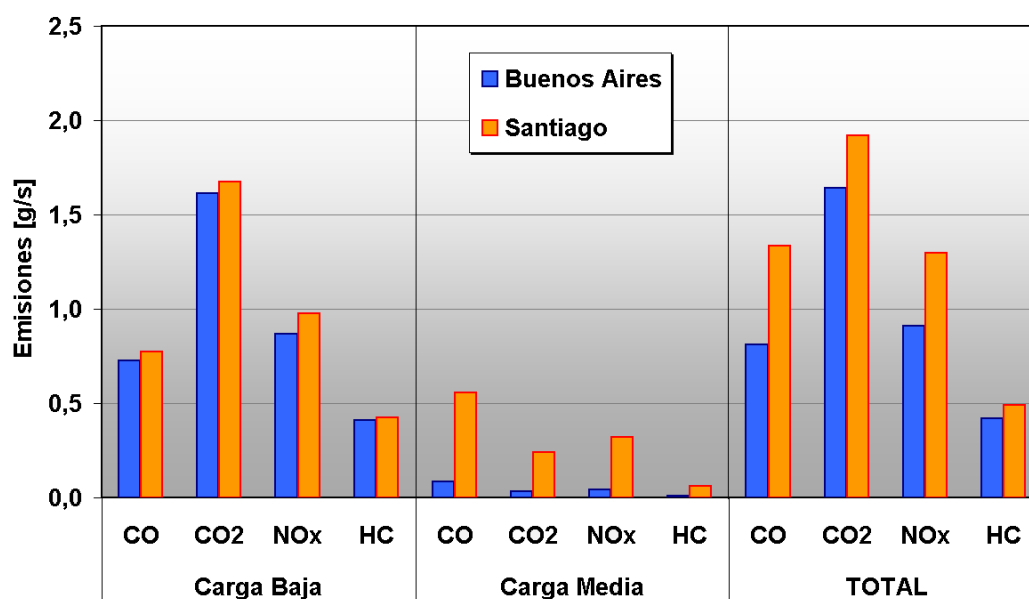


Figura 4.20: Resumen de emisiones globales.

Sin embargo, también se deben considerar los pequeños aportes para los recorridos de avenidas y residenciales. La superioridad en emisiones de estos casos, lograron que en Santiago se apreciaran emisiones levemente mayores a las de Buenos Aires en carga baja.

El efecto resultante total indica que Santiago supera a Buenos Aires en todos los contaminantes: 1.6 veces en CO , 1.2 veces en CO_2 , 1.5 veces en NO_x y 1.3 veces en HC .

Es importante mencionar que los valores de emisiones obtenidos en estos casos son en [g/s], lo que a gran escala y considerando el tiempo total de los recorridos lo más probable es que las disimilitudes leves se conviertan en grandes diferencias. Sin embargo, como los valores en [g/s] son un promedio experimental,

comparar estas leves diferencias sin la información de la varianza de los datos no tiene mucho sentido.

4.4. Rol de la altura en la fórmula de PSV y reformulación de la metodología de cálculo de esta

La figura 4.21 muestra una foto satelital con el recorrido arterial en la zona de bajo ingreso de Buenos Aires a las 11 de la mañana. Los puntos de colores corresponden a las coordenadas que segundo a segundo graba el procesador del GPS. La imagen y los colores de los puntos fueron incorporados a través de un programa en Matlab 6.5 (ver Anexo E.2) para mostrar las distintas velocidades que se alcanzan en una vuelta del recorrido.

Las velocidades altas se plasmaron con puntos amarillos y las bajas con puntos rojos. Como la frecuencia de adquisición de datos es constante (1Hz) se observa que en tramos largos, donde la velocidad es elevada, la distancia entre los puntos consecutivos crece. En las esquinas sin embargo, se observa que la distancia entre punto y punto desaparece y una mancha roja se muestra indicando que en ese sector el vehículo está detenido y registrando velocidad 0 segundo a segundo.



Figura 4.21: Modo de conducción en circuito de Buenos Aires.

En la figura 4.22 se muestran las evoluciones de la velocidad y la altura (respecto al nivel del mar) del vehículo en el circuito de la figura 4.21. La cantidad de veces que el vehículo está detenido (velocidad

= 0 km/h) coincide con la cantidad de regiones de color rojo intenso de la figura 4.21, y el cambio de velocidades presenta un comportamiento normal, manteniéndose entre los rangos esperados. Sin embargo, al mirar la altura, se observan anomalías peligrosas, que pueden incidir sobre el cálculo de la pendiente real de un recorrido. A pesar de que se muestra relativamente continua, la altura presenta un comportamiento distinto al esperado, como se puede observar en las instancias en que el vehículo está detenido. Como el vehículo no está en movimiento, es de esperarse que la altura se mantenga constante durante ese periodo, sin embargo, la altura puede variar hasta en 10 metros en esos pocos segundos.

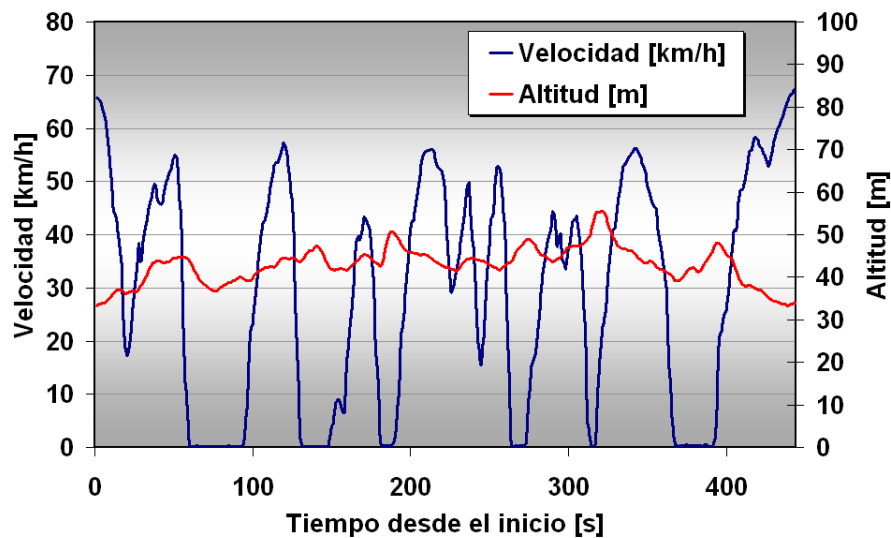


Figura 4.22: Velocidad y altitud en circuito de Buenos Aires.

A partir de estas observaciones se desprende que los datos que se obtienen del GPS no son 100 % certeros, por lo que se realizará una reformulación de la ecuación 2.3 para utilizar la altura directamente en la ecuación. Además se propondrá un cambio en las restricciones recomendadas en la sección 2.2.1, para lograr un mejor filtro sobre los datos menos confiables.

Nuevo enfoque sobre la fórmula de PSV

En la sección 2.2.1 se desarrolló un cálculo aproximado del valor de la potencia específica basado en una fórmula teórica de potencias. En la ecuación 2.1 se expresan los 4 términos en la forma más pura posible. Durante el desarrollo existen aproximaciones y simplificaciones para cada uno de estos términos, permitiendo que estos dependan sólo de dos parámetros: la velocidad y la altitud en función del tiempo (ecuación 2.3). El término de la energía cinética está desarrollado correctamente y los coeficientes asociados a la fuerza de rodadura y fuerza aerodinámica varían débilmente al cambiar las condiciones de conducción. Sin embargo, la simplificación asociada al término de la energía potencial está sujeta fuertemente a la metodología de

medición, obtención y procesamiento de los datos (de altura y velocidad específicamente), ya que dichos valores pueden alterar fuertemente el término.

El desarrollo lógico del término de la energía potencial es el siguiente:

$$\frac{\partial(U)}{\partial t} = \frac{\partial(mgh)}{\partial t} = \frac{\partial h}{\partial t} \cdot mg = \frac{\partial h}{\partial t} \cdot g \quad (4.1)$$

Sin embargo, el término de la energía potencial se encuentra desarrollado como:

$$\frac{\partial(U)}{\partial t} = v(\text{sen}(\arctan(\text{pendiente}))) \cdot g \quad (4.2)$$

La razón principal de esta diferencia es el método de medición. Originalmente Jiménez Palacios [15] utilizó esta fórmula para medir la potencia específica instantánea de vehículos que pasaban por un punto específico de la carretera. De esta forma podía obtener la velocidad y aceleración de los vehículos mediante un sensor láser situado en un punto fijo de la carretera. Junto con esto, de forma muy cómoda determinaba la pendiente de la carretera con bastante precisión.

Es por esto que la energía potencial de la ecuación 2.3 está expresada en función de la pendiente y la velocidad, ya que Jiménez Palacios podía determinar estos parámetros con una precisión elevada, no así la altura.

Por este motivo se replantea la ecuación de PSV en este capítulo, reemplazando el término de la ecuación 4.2 por el de la 4.1, ya que al medir con GPS, el dato que se obtiene en forma inmediata es el de la altura. Con este replanteamiento es posible ahorrar pasos de cálculo y evitar la introducción de errores numéricos.

El principal error de calcular la pendiente a partir de la ecuación 4.2 es que, tal como se mencionó en los antecedentes, la pendiente se calcula como el cociente entre la diferencia de altura y la velocidad media entre dos puntos consecutivos 2.4.

Este procedimiento no arroja el mismo resultado que el del término de la ecuación 4.1 ya que la velocidad media es una aproximación de la velocidad real del automóvil entre los instantes $t=-1$ y $t=0$. Esta distorsión afecta aún más el término de la energía potencial cuando se considera que la velocidad que aparece multiplicando explícitamente (en la ecuación 4.2) es la velocidad en $t=0$ y no el promedio tal como se consideró para el cálculo de la pendiente. Esto introduce errores numéricos ya que la frecuencia de adquisición de datos es solo de 1 Hz y los cambios bruscos en velocidad producen diferencias muy altas entre la velocidad en $t=0$ y la velocidad media calculada para la pendiente.

A esto se le suma la simplificación de considerar que el vehículo solo estará sometido a pendientes pequeñas. Como la ecuación 4.2 toma la pendiente como el cociente entre Δy y $L = v \cdot t$ (ver figura 4.23), se está suponiendo que θ es pequeño. Lo correcto sería considerar la pendiente como Δy sobre Δx , para todo θ . Al suponer θ pequeño $\cos(\theta)$ es aproximadamente 1 y por lo tanto la igualdad $L \cdot \cos(\theta) = \Delta x$ termina siendo $L = \Delta x$. Sin embargo, para θ grande no se cumple dicha condición, lo que perjudica la precisión del término de la energía potencial en casos extremos ($\theta \geq 30^\circ$).

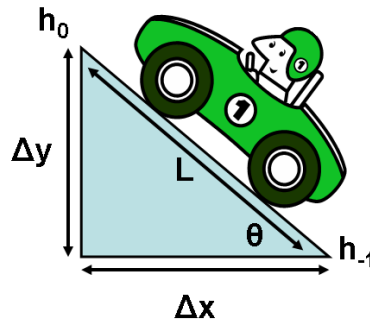


Figura 4.23: Diagrama para cálculo de la pendiente.

La fórmula 4.2 también posee otra desventaja en su planteamiento, ya que si la frecuencia de adquisición de datos del GPS es distinta a 1 Hz, se debe introducir el salto temporal en el cálculo de la pendiente, lo que nuevamente induce a una acumulación de errores numéricos.

Finalmente, el aspecto crítico de este planteamiento tiene que ver con las recomendaciones a considerar al momento de filtrar los datos cuando estos se obtienen vía GPS. En la sección 2.2.1 se menciona que para pendientes mayores a un 14 % y velocidades menores a 1 km/h, lo mejor es no considerar el dato ya que probablemente se trate de un error en la medición. El problema de este criterio es que el valor elegido para la velocidad de corte es crítico. En la figura 4.24 se puede apreciar el valor de las ecuaciones 4.2 y 4.1. La línea verde oscuro representa la ecuación 4.2 con una velocidad de corte igual a 1 km/h. Si la velocidad de corte aumenta, más pendientes serán filtradas, lo que distorsionará los resultados para las detenciones y partidas en calles donde la pendiente sea superior a un 14 %. Si la velocidad de corte disminuye hay riesgo de tomar alturas muy irreales.

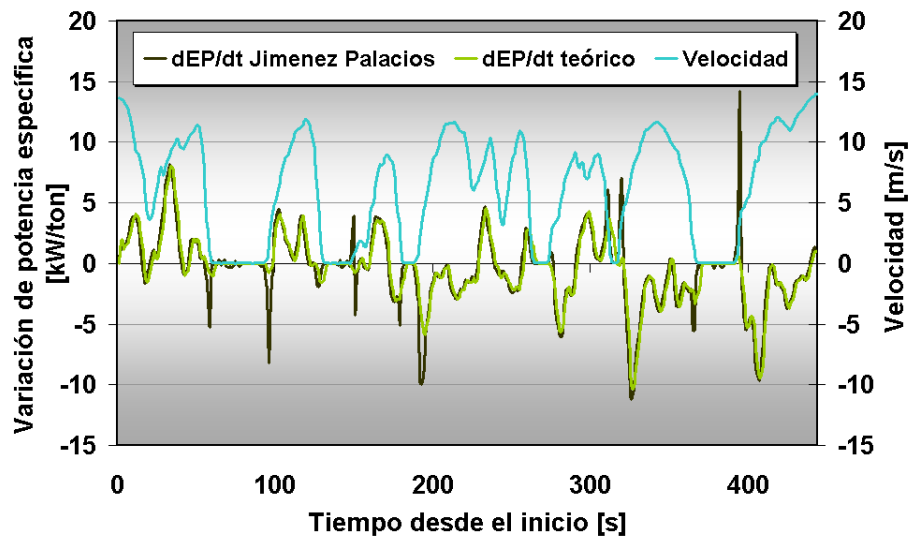


Figura 4.24: Influencia de la metodología de cálculo sobre el término de la energía potencial.

En esta figura se aprecian los dos métodos para calcular $\frac{\partial(U)}{\partial t}$ de los datos de la figura 4.21. En verde claro se muestra la ecuación 4.1 y en celeste la velocidad. Los criterios utilizados para calcular la curva verde claro fueron:

- Considerar $\frac{\partial h}{\partial t} = 0$ para velocidades menores a 1 km/h.
- Considerar el valor de $\frac{\partial h}{\partial t}$ en cada instante como el promedio de la diferencia de altura del camino determinada por 5 segundos de conducción.

Las diferencias para el recorrido en general son leves, sin embargo para las situaciones inmediatamente previas y posteriores a las detenciones, junto con los eventos de cambios bruscos de velocidad, las diferencias son considerables. Tal como se discutió anteriormente, para diferencias bruscas de velocidad (segundo 390) las dos fórmulas arrojan valores muy distintos. Lo mismo sucede para situaciones justo antes y después del reposo (segundos 60 y 95 respectivamente).

Dependiendo de la forma en que se adquieran los datos es importante ocupar una fórmula coherente que relacione el valor de la medición con el término de la variación de energía potencial del vehículo. Si la adquisición es a través de la pendiente, la ecuación que se recomienda utilizar para calcular la potencia específica vehicular es la 4.2. En cambio, si el dato que se recata segundo a segundo es la altura, se recomienda reemplazar el término asociado a la energía potencial de la ecuación 2.3 por el de la ecuación 4.1, quedando finalmente como:

$$PSV = v \cdot 1,1 \cdot a + 9,81 \cdot \frac{\partial h}{\partial t} + 0,132 \cdot v + 0,000302 \cdot v^3 \quad (4.3)$$

Capítulo 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En el capítulo de resultados se logró comprender cómo los modos de conducción influyen sobre la potencia específica del vehículo. También se observó como influyen los distintos estados de potencia sobre las emisiones que presentan los vehículos segundo a segundo. Se determinó además como los distintos tipos de calles, horarios y conductas de conducción afectan directa o indirectamente las emisiones vehiculares. Todo esto se concretó para los centros urbanos de Buenos Aires y Santiago, donde se analizaron modos de conducción en tres áreas de la ciudad (sector de alto ingreso socioeconómico, bajo ingreso y comercial) y en tres distintos tipos de calles (autopistas, avenidas y residenciales).

5.1.1. Hábitos de conducción

- Existe una diferencia importante entre los modos de conducción de Santiago y Buenos Aires. Las velocidades medias son superiores en Santiago para los tres recorridos (avenida, residencial y autopista), pero es en el recorrido de autopista donde más amplia se torna la diferencia. La infraestructura vial es la principal responsable de esta situación. Las residenciales y avenidas de Buenos Aires están congestionadas constantemente debido al numeroso parque automotriz y las autopistas son prácticamente avenidas largas, lo que contrasta fuertemente con las autopistas de Santiago, que son vías exclusivas para alta velocidad. Esta situación en autopistas y la menor congestión en horarios fuera de punta para las residenciales y avenidas permite una conducta de conducción más agresiva en Santiago, alcanzándose velocidades máximas mayores que en Buenos Aires para todos los recorridos.
- En Santiago los horarios punta están marcados en forma clara. A las 8 se presenta el horario de punta mañana, a las 13 horas el horario punta del medio día y a las 19 el horario punta de la tarde. La diferencia entre autopistas y los demás recorridos es notoria, triplicando en ocasiones la velocidad media de la autopista a la residencial. Para las avenidas y residenciales casi no se presentan diferencias en la velocidad media promedio (17 y 15 km/h respectivamente), pero en avenidas se da la posibilidad

de efectuar aceleraciones más prolongadas, generando características de conducción que requieren una mayor potencia del motor (velocidades máximas promedio de 62km/h vs 51km/h de las residenciales).

- Buenos Aires presenta valores inferiores a Santiago en los tres tipos de recorridos. En las autopistas el valor es sustancialmente inferior ya que el tipo de autopistas que existen en Buenos Aires no son autopistas de alta velocidad, sino más bien avenidas más largas de lo común. Los tres recorridos presentan velocidades inferiores básicamente debido al elevado grado de congestión vehicular que presenta la ciudad de Buenos Aires. Esto contribuye también a que Buenos Aires no muestre una diferenciación clara entre horas punta y fuera de punta, solo se logra ver un comportamiento de punta mañana y punta tarde para las avenidas (9 y 16 horas respectivamente).

5.1.2. Potencia Específica Vehicular

- Al analizar la influencia global de todos los recorridos sobre el histograma final de cada centro urbano, se observa que tanto en forma como en magnitud los histogramas de Santiago y Buenos Aires son muy similares. Esto quiere decir que si se traslada el análisis de los modos de conducción al campo de las PSV, los comportamientos de ambos centros urbanos comienzan a parecerse más. Esto se debe a que el espacio de análisis de la PSV está basado en frecuencia, y como el 50 % de las PSV ya están en el BIN del ralenti (los vehículos pasan detenidos casi un 50 % de sus recorridos debido a la morfología vial de la ciudad), sólo una baja fracción está disponible para reflejar cambios importantes en la conducción. A pesar de que es difícil discriminar las diferencias a simple vista, estas existen y son responsabilidad de los modos de conducción característicos de cada ciudad. El cambio de escala (el pasar al espacio de la PSV) hace parecer que las diferencias son muy pequeñas, sin embargo, estas variaciones minúsculas se transforman en tremendas diferencias al nivel de emisiones vehiculares, donde los modos de conducción más agresivos de Santiago hacen que este supere a Buenos Aires en emisiones.
- Las avenidas y residenciales de Santiago poseen el dominio de estadía en carga baja gracias a las constantes intersecciones presentes en las rutas. Esto provoca mayores detenciones y que el vehículo se encuentre a muy bajas velocidades durante una considerable fracción de tiempo. Ambas poseen un comportamiento similar para carga baja, sin embargo, las avenidas poseen permanencia levemente superior en carga media debido a las aceleraciones más bruscas y prolongadas. Las autopistas de Santiago poseen una permanencia elevada en carga media, y su distribución en carga baja abarca BINS más elevados que las residenciales y las avenidas. Esto es principalmente porque prácticamente no existen detenciones, las velocidades y aceleraciones alcanzadas son mucho más elevadas y la pendiente promedio, junto con las diferencias de altura locales, es mayor en autopistas.
- Para carga baja y media, los comportamientos de avenidas y residenciales son prácticamente iguales en

Santiago y en Buenos Aires. Para la autopista de Buenos Aires no se observa una disminución fuerte en la fracción de tiempo del ralenti (en comparación con los otros dos recorridos) y en carga media la permanencia de las autopistas de Buenos Aires es bajísima (en comparación con la de Santiago).

- Debido a la morfología de las autopistas de Buenos Aires, estas presentan muchas diferencias con respecto a las autopistas de Santiago. Al ser más transitadas y al tener una mayor comunicación con las calles contiguas, las autopistas de Buenos Aires son más propensas a la congestión vehicular y por lo tanto poseen muy baja permanencia en carga media. A esto se le suma el factor de la pendiente y las diferencias de altura. En Santiago, la pendiente promedio para las autopistas es 1,7 [%] con un alto nivel de diferencias de altura, mientras que para Buenos Aires la pendiente promedio para las autopistas es 0,4 [%] y el nivel de diferencias de altura es medio. Esto permite a las autopistas de Santiago alcanzar PSV más elevadas.
- Para un mismo recorrido, tanto las velocidades medias como las máximas son mayores en horarios fuera de punta. Esto provoca un impacto importante sobre los modos de conducción ya que las potencias alcanzadas por el motor son mayores. En horario de punta el vehículo puede estar detenido hasta un 80 % del tiempo de duración del recorrido, dejando sólo un 20 % potencial para aceleraciones y desaceleraciones bruscas. Sin embargo, las velocidades que se pueden alcanzar son muy bajas, por lo que no se logran esfuerzos considerables sobre el motor.
- En un enfoque global, los histogramas completos de Santiago y Buenos Aires (incluyendo todos los recorridos) arrojan una forma y magnitud muy similar. En ambos casos la fracción de tiempo que permanecen en ralenti es cercana al 50 % y las distribuciones en carga baja tienden a trasladarse hacia las potencias específicas positivas. Sin embargo, para cargas medias el dominio de Santiago es superior debido al aporte de las autopistas, donde se alcanzan potencias más elevadas que en Buenos Aires. A esto se le suma el efecto asociado a un promedio de pendientes mayor en los recorridos de Santiago, lo que en términos globales, influye en una tendencia a que Santiago genere potencias específicas mayores que Buenos Aires (ciudad geográficamente plana).

5.1.3. Emisiones vehiculares unitarias

- Como se anticipó anteriormente, pequeños cambios a nivel de PSV se traducen en grandes diferencias a nivel de emisiones vehiculares unitarias (g/s). La diferencia entre el histograma global de ambas ciudades es leve, pero las emisiones que se producen en Santiago superan casi en un 50 % a las que se producen en Buenos Aires para el *CO* y el *NOx*, y más de un 10 % en los contaminantes restantes. Esto se debe tanto a la posibilidad de generar hábitos de conducción más agresivos, como a las pendientes más pronunciadas y diferencias de altura locales presentes en las rutas de la ciudad de Santiago. Estos factores, junto a la importante diferencia que existe entre la forma de las autopistas de Santiago y las

de Buenos Aires, son la influencia principal en la aparición de potencias específicas más elevadas y por ende en la generación de un nivel superior de emisiones vehiculares unitarias en la ciudad de Santiago.

- En Santiago, la autopista es el recorrido que mayor masa de emisiones por segundo produce. Las emisiones llegan a ser más del doble que las de las avenidas y residenciales para los cuatro contaminantes analizados (CO , CO_2 , HC y NOx). Esto se debe a las elevadas potencias específicas alcanzadas en las autopistas, tanto para la carga baja como para la carga media. En carga media se produce un doble efecto que provoca un nivel de emisiones notablemente superior al de los otros dos recorridos. Por un lado las autopistas poseen una permanencia sustancialmente mayor en carga media y por otra parte las emisiones asociadas a esta carga son más elevadas. Las avenidas y residenciales poseen prácticamente el mismo nivel de emisiones debido a las similitudes en el comportamiento de conducción y por ende en los histogramas de BINS.
- En Buenos Aires se observa una correspondencia similar a la de Santiago sobre las emisiones unitarias para los distintos recorridos. Las emisiones en autopistas son mayores a las de residenciales y avenidas, pero no muestran una diferencia tan amplia como sucede en Santiago. Esto se debe a la morfología de las autopistas de Buenos Aires. La diferencia que provoca que las avenidas emitan más que las residenciales es la manera de conducir. Velocidades medias más elevadas y velocidades máximas superiores permiten a las avenidas alcanzar niveles de aceleración importantes, provocando la diferencia principal con las residenciales.
- Para las autopistas, la superioridad de Santiago sobre Buenos Aires a nivel de emisiones es importante. A pesar de poseer una menor permanencia en carga baja, Santiago posee emisiones superiores debido a que logra potencias específicas mayores que Buenos Aires, y en carga media surge el doble efecto mencionado anteriormente. No solo hay mayor permanencia de Santiago sobre este tramo, sino que además las emisiones en carga alta son más elevadas.
- Para un mismo recorrido, a hora punta se observa un nivel de emisiones mucho menor que para un horario fuera de punta. En horario fuera de punta una avenida puede llegar a comportarse incluso como una autopista, emitiendo casi el doble que en un horario de punta. La influencia mayor se debe a la enorme fracción de tiempo en que el vehículo está detenido en horario de punta y a las elevadas velocidades que se logran en horario fuera de punta.
- La diferencia principal entre las emisiones de Santiago y Buenos Aires se encuentra en las autopistas. Mientras los niveles entre residenciales y avenidas son muy similares, las autopistas de Santiago realizan el aporte suficiente para que, considerando el centro urbano en su totalidad, Santiago emita más que Buenos Aires.

5.1.4. Metodología de cálculo de la PSV

- La medición de potencia específica del vehículo mediante GPS se ha consolidado gracias a su practicidad y facilidad de adaptación. Sin embargo, se ha estado adoptando la metodología de cálculo planteada por Jiménez Palacios (ecuación 2.3), quien realizó sus mediciones en forma indirecta, utilizando la pendiente de la ruta para calcular el término de la energía potencial asociado a la PSV. Este término no es el más adecuado para la medición con GPS ya que se introducen errores numéricos y simplificaciones que no emulan correctamente la realidad. Por esta razón se desarrolló la ecuación del balance de potencias del vehículo desde la raíz y se corrigió el término de la energía potencial, dejándolo en función de la altitud, valor que es medido en forma directa por el GPS.
- Dependiendo de la forma en que se adquieran los datos, es importante ocupar una fórmula coherente que relacione el valor de la medición con el término de la variación de energía potencial del vehículo. Si la adquisición es a través de la pendiente, la ecuación que se recomienda utilizar para calcular la potencia específica vehicular es la ecuación 2.3. En cambio, si el dato rescatado segundo a segundo es la altura, se recomienda utilizar la ecuación 4.3.
- Al escoger una fórmula, también se deben seleccionar los filtros de datos adecuados que fueron recomendados en la sección 4.4. De esta forma se minimizará el posible error adquirido a través del método utilizado.

5.2. Recomendaciones

- Tal como se presentó en la sección 4.4, los errores asociados a la medición de altura con GPS pueden ser muy elevados en algunos casos. Validar dicha medición con alguna metodología alternativa sería muy importante para el modelo. Así se podrían considerar distintos tipos de filtros de datos, o directamente cambiar el método de medición de altura. Con el mismo objetivo, también sería importante validar la medición de velocidad.
- En el proceso de validación de estas mediciones, es importante realizar un análisis de sensibilidad de ambos factores. Se debe analizar la influencia de estos sobre los histogramas de BINS y sobre las emisiones totales del recorrido.
- Este análisis de sensibilidad también se puede efectuar a través de simulación (utilizando el programa ARENA por ejemplo). Sería interesante programar un recorrido y asignarle una varianza a los datos de velocidad y altura, lo que representaría el error asociado al instrumento de medición. Luego se podría analizar el impacto sobre las emisiones de numerosas corridas del programa y determinar una precisión aceptable para los instrumentos con que se desea trabajar.

- Sería interesante también agregar los términos simplificados y eliminados de la ecuación 2.2. Se podría instrumentar un automóvil con sensores que permitan obtener la velocidad relativa del aire y se podrían estimar los gastos de potencia de aire acondicionado y otros elementos eléctricos. Además se podrían considerar distintos valores para las constantes utilizadas en la ecuación 2.2, realizando los análisis de sensibilidad respectivos. Todas estas variaciones se realizarían con el fin de medir el impacto de estas sobre la potencia específica del automóvil y las emisiones totales. Así se podrían determinar condiciones críticas, donde estas variables sean más importantes que las consideradas típicamente (velocidad y altura del vehículo).

Bibliografia

- [1] ISSCR "IVE Model Users Manual Version 1.1.1 Summer, 2004"<http://www.issrc.org>
- [2] André M., Hickman A.J., Hassel D., Joumard R. (1995) "Driving Cycles for Emission Measurements under European Conditions."SAE technical paper series 950926. USA.
- [3] André M., Pronello C. (1996a) "Speed and Acceleration Impact on Pollutant Emissions."SAE technical paper series 961113. USA.
- [4] Lyons T.J., Kenworthy J.R. and Newman P.W.G. (1989) "Urban structure and air pollution", Atmospheric Environment Vol. 24B, pp. 43-48.
- [5] Ericsson E. (1999) "Variability in Urban Driving Patterns."8th International Symposium Transport and Air Pollution; May-31, June-2, Vol 76. Graz; Austria.
- [6] Ericsson E. (1999) "Variability in exhaust emission and fuel consumption in urban driving", in proceedings of the conference on Urban Transport System, Lund.
- [7] TRB (1995) "Three traffic flow characteristics in Expanding Metropolitan Highways: Implications for Air Quality and Energy Use", Transport Research Board, Washington.
- [8] De Vlieger I., De Keukeleere D., Kretschmar J.G. (1999) "Driving Behaviour and Congestion: Environmental Effects by Passenger Cars."8th International Symposium Transport and Air Pollution; May-31, June-2, Vol 76. Graz; Austria.
- [9] Vojtisek-Lom M., Lambert D.C., Wilson P.J. (2002) "Reproducing Driving Cycles on the Road Using Portable, On-Board Emissions Monitoring Systems."12th CRC On-Road Vehicle Emissions Workshop; April 15-17. San Diego, California; USA.
- [10] Ergeneman M., Sorousbay C. and Goktan A. (1997) "Development of a driving cycle for the prediction of pollutant emissions and fuel consumption", Int.J.Vehicle Des., Vol. 18 (3/4), pp. 391-399.
- [11] Sivacoumar R., (2005) "Development of on-road vehicle emission factors and modeling of automobile pollution for chennai city", Anna University Doctoral Thesis, December.

- [12] De Vlieger I., De Keukeleere D. and Kretzschmar J.G. (2000) "Environmental effects of driving behaviour and congestion related to passenger cars", Atmospheric Environment, Vol.34,pp. 4649-4655.
- [13] California Air Resources Board (CARB) (2002) "EMFAC2001/EMFAC2002. Calculating emissions inventories for vehicles in California: User's Guide"<http://www.arb.ca.gov/msei/on-road/latestversion.htm>
- [14] Environmental Protection Agency (EPA) (2002), "Draft Design and Implementation Plan for EPA's Multi-Scale Motor Vehicle and Equipment Emission System (MOVES)", (EPA420-P-02-006)
- [15] Jimenez-Palacios J., (1999) "Understanding and Quantifying Motor Vehicle Emissions and Vehicle Specific Power and TILDAS Remote Sensing", MIT Doctoral Thesis, February.

Anexo A

Rangos para el cálculo de BINS

Cuadro A.1: Rangos utilizados en el cálculo de *Indice_{RPM}*

Rango de Velocidades (m/s)		Rango de Potencias Específicas (kW/ton)		CoefVelocidad (s/m)
Min	Max	Min	Max	
0.0	5.4	-20	400	3
5.4	8.5	-20	16	5
5.4	8.5	16	400	3
8.5	12.5	-20	16	7
8.5	12.5	16	400	5
12.5	50	-20	16	13
12.5	50	16	400	5

Cuadro A.2: Rangos de VSP y ES para cada BIN (1-20).

BIN	PSV (kW/Ton)		ES	
	Inferior	Superior	Inferior	Superior
1	-80.0	-44.0	-1.6	3.1
2	-44.0	-39.9	-1.6	3.1
3	-39.9	-35.8	-1.6	3.1
4	-35.8	-31.7	-1.6	3.1
5	-31.7	-27.6	-1.6	3.1
6	-27.6	-23.4	-1.6	3.1
7	-23.4	-19.3	-1.6	3.1
8	-19.3	-15.2	-1.6	3.1
9	-15.2	-11.1	-1.6	3.1
10	-11.1	-7.0	-1.6	3.1
11	-7.0	-2.9	-1.6	3.1
12	-2.9	1.2	-1.6	3.1
13	1.2	5.3	-1.6	3.1
14	5.3	9.4	-1.6	3.1
15	9.4	13.6	-1.6	3.1
16	13.6	17.7	-1.6	3.1
17	17.7	21.8	-1.6	3.1
18	21.8	25.9	-1.6	3.1
19	25.9	30.0	-1.6	3.1
20	30.0	1000.0	-1.6	3.1

Cuadro A.3: Rangos de VSP y ES para cada BIN (21-40).

BIN	PSV (kW/Ton)		ES	
	Inferior	Superior	Inferior	Superior
21	-80.0	-44.0	3.1	7.8
22	-44.0	-39.9	3.1	7.8
23	-39.9	-35.8	3.1	7.8
24	-35.8	-31.7	3.1	7.8
25	-31.7	-27.6	3.1	7.8
26	-27.6	-23.4	3.1	7.8
27	-23.4	-19.3	3.1	7.8
28	-19.3	-15.2	3.1	7.8
29	-15.2	-11.1	3.1	7.8
30	-11.1	-7.0	3.1	7.8
31	-7.0	-2.9	3.1	7.8
32	-2.9	1.2	3.1	7.8
33	1.2	5.3	3.1	7.8
34	5.3	9.4	3.1	7.8
35	9.4	13.6	3.1	7.8
36	13.6	17.7	3.1	7.8
37	17.7	21.8	3.1	7.8
38	21.8	25.9	3.1	7.8
39	25.9	30.0	3.1	7.8
40	30.0	1000.0	3.1	7.8

Cuadro A.4: Rangos de VSP y ES para cada BIN (41-60).

BIN	PSV (kW/Ton)		ES	
	Inferior	Superior	Inferior	Superior
41	-80.0	-44.0	7.8	12.6
42	-44.0	-39.9	7.8	12.6
43	-39.9	-35.8	7.8	12.6
44	-35.8	-31.7	7.8	12.6
45	-31.7	-27.6	7.8	12.6
46	-27.6	-23.4	7.8	12.6
47	-23.4	-19.3	7.8	12.6
48	-19.3	-15.2	7.8	12.6
49	-15.2	-11.1	7.8	12.6
50	-11.1	-7.0	7.8	12.6
51	-7.0	-2.9	7.8	12.6
52	-2.9	1.2	7.8	12.6
53	1.2	5.3	7.8	12.6
54	5.3	9.4	7.8	12.6
55	9.4	13.6	7.8	12.6
56	13.6	17.7	7.8	12.6
57	17.7	21.8	7.8	12.6
58	21.8	25.9	7.8	12.6
59	25.9	30.0	7.8	12.6
60	30.0	1000.0	7.8	12.6

Anexo B

Secuencia de conducción

Cuadro B.1: Circuitos para vehículos de pasajeros.

Día 1				
Inicio	Fin	Vehículo 1	Vehículo 2	Vehículo 3
6:00	7:00	Área-RecorridoA.1	Área-RecorridoB.1	Área-RecorridoC.1
7:00	8:00	Área-RecorridoA.2	Área-RecorridoB.2	Área-RecorridoC.2
8:00	9:00	Área-RecorridoA.3	Área-RecorridoB.3	Área-RecorridoC.3
9:00	10:00	Área-RecorridoA.1	Área-RecorridoB.1	Área-RecorridoC.1
10:00	11:00	Área-RecorridoA.2	Área-RecorridoB.2	Área-RecorridoC.2
11:00	12:00	Área-RecorridoA.3	Área-RecorridoB.3	Área-RecorridoC.3
12:00	13:00	Área-RecorridoA.1	Área-RecorridoB.1	Área-RecorridoC.1
Día 2				
6:00	7:00	Área-RecorridoB.2	Área-RecorridoC.2	Área-RecorridoA.2
7:00	8:00	Área-RecorridoB.3	Área-RecorridoC.3	Área-RecorridoA.3
8:00	9:00	Área-RecorridoB.1	Área-RecorridoC.1	Área-RecorridoA.1
9:00	10:00	Área-RecorridoB.2	Área-RecorridoC.2	Área-RecorridoA.2
10:00	11:00	Área-RecorridoB.3	Área-RecorridoC.3	Área-RecorridoA.3
11:00	12:00	Área-RecorridoB.1	Área-RecorridoC.1	Área-RecorridoA.1
12:00	13:00	Área-RecorridoB.2	Área-RecorridoC.2	Área-RecorridoA.2
Día 3				
13:00	14:00	Área-RecorridoA.1	Área-RecorridoB.1	Área-RecorridoC.1
14:00	15:00	Área-RecorridoA.2	Área-RecorridoB.2	Área-RecorridoC.2
15:00	16:00	Área-RecorridoA.3	Área-RecorridoB.3	Área-RecorridoC.3
16:00	17:00	Área-RecorridoA.1	Área-RecorridoB.1	Área-RecorridoC.1
17:00	18:00	Área-RecorridoA.2	Área-RecorridoB.2	Área-RecorridoC.2
18:00	19:00	Área-RecorridoA.3	Área-RecorridoB.3	Área-RecorridoC.3
19:00	20:00	Área-RecorridoA.1	Área-RecorridoB.1	Área-RecorridoC.1

Cuadro B.2: Campañas

Día 4				
6:00	7:00	Área-RecorridoC.3	Área-RecorridoA.3	Área-RecorridoB.3
7:00	8:00	Área-RecorridoC.1	Área-RecorridoA.1	Área-RecorridoB.1
8:00	9:00	Área-RecorridoC.2	Área-RecorridoA.2	Área-RecorridoB.2
9:00	10:00	Área-RecorridoC.3	Área-RecorridoA.3	Área-RecorridoB.3
10:00	11:00	Área-RecorridoC.1	Área-RecorridoA.1	Área-RecorridoB.1
11:00	12:00	Área-RecorridoC.2	Área-RecorridoA.2	Área-RecorridoB.2
12:00	13:00	Área-RecorridoC.3	Área-RecorridoA.3	Área-RecorridoB.3
Día 5				
13:00	14:00	Área-RecorridoB.2	Área-RecorridoC.2	Área-RecorridoA.2
14:00	15:00	Área-RecorridoB.3	Área-RecorridoC.3	Área-RecorridoA.3
15:00	16:00	Área-RecorridoB.1	Área-RecorridoC.1	Área-RecorridoA.1
16:00	17:00	Área-RecorridoB.2	Área-RecorridoC.2	Área-RecorridoA.2
17:00	18:00	Área-RecorridoB.3	Área-RecorridoC.3	Área-RecorridoA.3
18:00	19:00	Área-RecorridoB.1	Área-RecorridoC.1	Área-RecorridoA.1
19:00	20:00	Área-RecorridoB.2	Área-RecorridoC.2	Área-RecorridoA.2
Día 6				
13:00	14:00	Área-RecorridoC.3	Área-RecorridoA.3	Área-RecorridoB.3
14:00	15:00	Área-RecorridoC.1	Área-RecorridoA.1	Área-RecorridoB.1
15:00	16:00	Área-RecorridoC.2	Área-RecorridoA.2	Área-RecorridoB.2
16:00	17:00	Área-RecorridoC.3	Área-RecorridoA.3	Área-RecorridoB.3
17:00	18:00	Área-RecorridoC.1	Área-RecorridoA.1	Área-RecorridoB.1
18:00	19:00	Área-RecorridoC.2	Área-RecorridoA.2	Área-RecorridoB.2
19:00	20:00	Área-RecorridoC.3	Área-RecorridoA.3	Área-RecorridoB.3

Anexo C

Circuitos

C.1. Circuitos de Santiago

Cuadro C.1: Recorridos del sector de bajo ingreso socioeconómico.

Maipú		
Residencial	Arterial	Autopista
Maipú	Pajaritos	Vespucio
San Martín	Alberto Llona	Salida Lonquén
Libertad	Vicente Reyes	Vespucio
Feliz Aldao	5 de Abril	Salida Pajaritos



Figura C.1: Recorrido residencial



Figura C.2: Recorrido arterial



Figura C.3: Recorrido autopista

Cuadro C.2: Recorridos del sector de alto ingreso socioeconómico.

Vitacura		
Residencial	Arterial	Autopista
Espoz	Manquehue	Kennedy
Joaquin Cerda	Vitacura	Manquehue
Candelaria G.	Pérez Zujovic	Kennedy
Bartolomé C.	Vitacura	Estoril



Figura C.6: Recorrido autopista

Cuadro C.3: Recorridos del sector comercial.

Centro		
Residencial	Arterial	Autopista
Toesca	Alameda	M. Rodríguez
Vergara	Amunategui	Catedral
Gorbea	Alameda	M. Rodríguez
San Alfonso	Exposición	Toesca



Figura C.7: Recorrido residencial



Figura C.8: Recorrido avenida 1



Figura C.9: Recorrido avenida 2

C.2. Circuitos de Buenos Aires

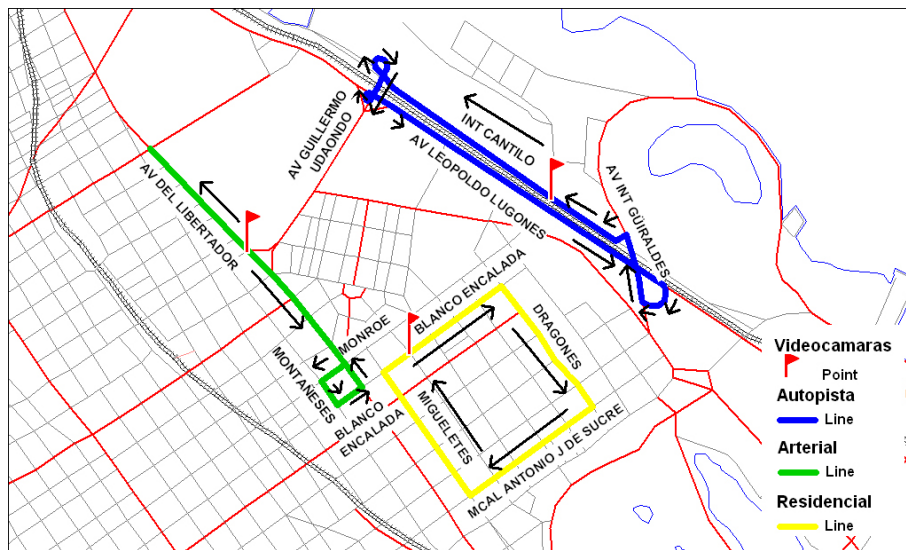


Figura C.10: Recorridos de la zona de alto ingreso de la ciudad de Buenos Aires

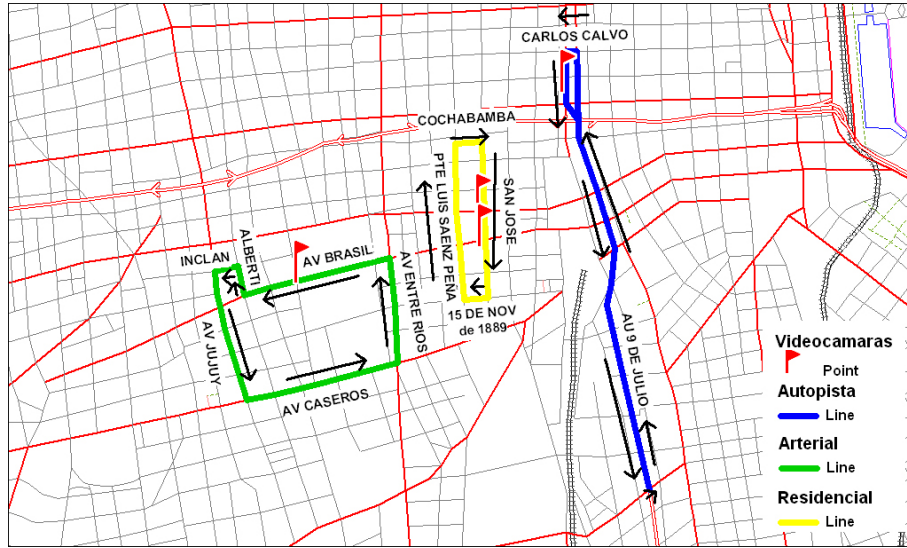


Figura C.11: Recorridos de la zona de bajo ingreso de la ciudad de Buenos Aires

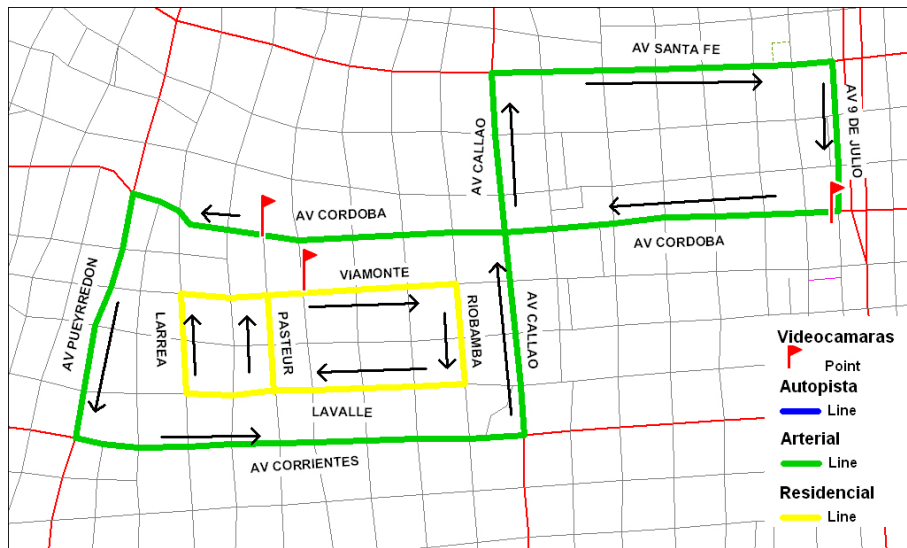


Figura C.12: Recorridos de la zona comercial de la ciudad de Buenos Aires

Anexo D

Resumen de datos recopilados

D.1. Santiago

Cuadro D.1: Santiago sector alto ingreso

Sector	ALTO INGRESO								
	AUTOPISTA			AVENIDA			RESIDENCIAL		
Recorrido	Vel.	Vel.	Nº	Vel.	Vel.	Nº	Vel.	Vel.	Nº
Hora	Media	Max	seg.	Media	Max	seg.	Media	Max	seg.
	[km/h]	[km/h]		[km/h]	[km/h]		[km/h]	[km/h]	
7:00	62,8	108,7	2467	33,5	72,9	2050	24,4	44,6	2417
8:00	34,5	103,3	2200	19,6	63,2	2416	26,9	58,6	2344
9:00	67,1	106,3	1703	20,1	59,3	2420	26,1	56,7	2398
10:00	63,4	110,4	2408	23,3	66,6	2230	26,6	48,0	2403
11:00	65,4	107,9	2337	21,3	63,5	2216	27,6	63,7	1700
12:00	67,1	103,4	1372	21,0	51,4	2348	25,7	56,4	2354
13:00	63,6	110,8	1910	18,8	68,2	2448	16,7	45,5	2167
14:00	65,3	111,0	2044	26,8	74,9	2546	25,3	50,7	1833
15:00	68,0	113,5	2368	28,7	74,4	2113	25,7	54,6	2396
16:00	60,2	103,0	2522	18,9	62,7	2358	27,4	65,1	2483
17:00	63,9	109,6	2538	21,0	48,7	2089	24,6	49,6	3138
18:00	51,4	99,2	2235	21,9	62,7	2566	21,9	43,8	2348
19:00	41,4	96,8	2356	8,7	64,6	2508	27,8	54,0	2281
20:00	59,3	114,8	2491	26,2	65,8	2379	26,9	51,9	2308
Prom.	59,3	106,9	2211	22,1	64,2	2335	25,3	53,1	2326

Cuadro D.2: Santiago sector bajo ingreso

Sector	BAJO INGRESO								
Recorrido	AUTOPISTA			AVENIDA			RESIDENCIAL		
Hora	Vel. Media [km/h]	Vel. Max [km/h]	Nº seg.	Vel. Media [km/h]	Vel. Max [km/h]	Nº seg.	Vel. Media [km/h]	Vel. Max [km/h]	Nº seg.
7:00	63,4	104,7	2485	24,6	62,5	2584	20,5	46,7	2419
8:00	59,3	101,9	2318	23,3	62,4	2206	11,5	50,2	2415
9:00	67,5	103,2	2401	29,6	66,6	2391	21,4	48,7	2131
10:00	66,4	101,6	2366	25,8	67,0	2420	19,7	51,2	2376
11:00	63,9	102,2	2174	20,4	65,0	2392	19,4	50,0	2192
12:00	63,6	111,8	1586	25,8	58,3	2268	16,0	48,9	2472
13:00	62,4	102,7	2424	23,2	60,5	2407	12,3	46,4	2394
14:00	67,2	106,9	2386	24,8	59,9	2209	19,8	49,3	1912
15:00	61,9	103,7	2445	23,4	63,2	2265	20,3	47,9	1738
16:00	62,2	98,0	2427	25,0	62,4	2269	20,5	47,6	1738
17:00	59,5	104,7	2245	22,3	64,0	2453	18,2	48,8	2380
18:00	55,4	102,6	2261	17,3	64,4	2000	12,5	52,1	2392
19:00	55,6	100,6	2408	19,5	58,2	2446	14,3	42,2	2224
20:00	63,9	99,7	2543	24,8	66,7	2289	19,4	42,6	2395
Prom.	62,3	103,2	2319	23,6	62,9	2329	17,6	48,0	2227

Cuadro D.3: Santiago sector comercial

Sector	COMERCIAL								
Recorrido	AUTOPISTA			AVENIDA			RESIDENCIAL		
Hora	Vel. Media [km/h]	Vel. Max [km/h]	Nº seg.	Vel. Media [km/h]	Vel. Max [km/h]	Nº seg.	Vel. Media [km/h]	Vel. Max [km/h]	Nº seg.
7:00	24,9	59,0	2291	16,6	69,9	2403	16,8	49,8	2336
8:00	12,1	62,7	2267	10,7	55,3	2444	12,0	58,3	2360
9:00	13,1	67,2	1938	13,7	63,9	2304	15,5	50,5	2328
10:00	19,0	71,5	2294	16,3	59,8	2410	17,1	60,1	2277
11:00	19,2	74,3	2646	17,0	52,8	2413	15,7	53,2	2470
12:00	18,8	66,2	2314	12,8	58,1	2349	15,6	49,8	2374
13:00	18,2	61,5	2315	10,4	56,3	1523	14,8	49,6	2114
14:00	23,6	71,0	1781	14,6	65,7	1872	18,0	53,0	2307
15:00	18,6	67,4	2383	14,6	59,6	2165	16,6	52,2	1680
16:00	21,6	74,0	2218	18,0	61,2	2338	15,6	59,8	2348
17:00	18,2	64,9	2106	12,7	57,8	2446	15,8	56,2	1829
18:00	14,4	60,0	1657	9,1	51,2	1627	8,7	49,1	2410
19:00	8,9	63,6	2169	9,8	55,1	2321	14,0	43,0	2194
20:00	19,7	61,6	2216	18,3	57,6	2237	14,8	49,1	2142
Prom.	17,9	66,1	2185	13,9	58,9	2204	15,1	52,4	2226

D.2. Buenos Aires

Cuadro D.4: Buenos Aires sector alto ingreso

Sector	ALTO INGRESO								
Recorrido	AUTOPISTA			AVENIDA			RESIDENCIAL		
Hora	Vel.	Vel.	Nº	Vel.	Vel.	Nº	Vel.	Vel.	Nº
	Media [km/h]	Max [km/h]	seg.	Media [km/h]	Max [km/h]	seg.	Media [km/h]	Max [km/h]	seg.
7:00				18,1	52,6	813	21,4	42,6	1629
8:00	37,4	63,6	2402	20,8	60,1	742	21,6	42,8	2153
9:00	38,7	70,3	1938	14,4	62,7	2498	23,0	38,4	1992
10:00	44,7	79,8	2147	17,9	62,4	2037	24,0	40,4	1932
11:00	48,0	68,9	2271	19,1	57,2	2451	22,7	45,2	2361
12:00	47,0	70,0	1966	20,4	52,4	2341	22,1	42,2	2227
13:00	50,3	77,1	2265	18,5	51,5	2257	21,6	40,6	2474
14:00	56,8	83,1	1787	20,1	63,9	2405	21,6	37,1	2430
15:00	51,3	80,6	2444	19,6	60,5	2382	23,2	46,4	2347
16:00	55,6	89,4	2457	19,2	52,0	2411	22,5	43,2	1955
17:00	49,7	83,3	2130	20,7	60,8	2279	21,8	36,6	2461
18:00	49,2	71,3	2252	16,7	56,1	2264	23,6	48,3	2360
19:00	40,6	92,9	2416				24,2	48,0	2403
20:00	39,6	81,6	2155	21,7	60,4	2491			
Prom.	46,8	77,8	2202	19,0	57,9	2105	22,6	42,5	2210

Cuadro D.5: Buenos Aires sector bajo ingreso

Sector	BAJO INGRESO								
Recorrido	AUTOPISTA			AVENIDA			RESIDENCIAL		
Hora	Vel. Media [km/h]	Vel. Max [km/h]	Nº seg.	Vel. Media [km/h]	Vel. Max [km/h]	Nº seg.	Vel. Media [km/h]	Vel. Max [km/h]	Nº seg.
7:00	37,4	77,1	1557	22,2	59,5	2382			
8:00				19,3	56,8	1662	18,6	23,6	2167
9:00	35,9	60,9	2167				22,5	34,9	2219
10:00	31,8	80,0	2213	20,6	38,7	952			
11:00	23,3	61,1	293	20,6	54,6	1979			
12:00	35,5	64,5	2234				18,9	34,2	2249
13:00	35,7	91,7	2367	15,6	41,3	1888			
14:00	33,3	83,1	2250	15,6	42,0	2432	19,3	30,4	2259
15:00				20,3	49,6	2002	19,3	24,6	2396
16:00	23,3	62,7	2061				20,3	33,9	2210
17:00	42,1	79,4	2272				19,2	35,4	2237
18:00	28,5	58,7	2311	13,5	43,3	2198			
19:00				21,7	52,4	2452	19,7	31,0	2390
20:00	36,8	77,6	2265	18,8	40,4	1700	19,4	31,5	2016
Prom.	33,1	72,4	1999	18,8	47,9	1965	19,7	31,1	2238

Cuadro D.6: Buenos Aires sector comercial

Sector	COMERCIAL								
Recorrido	AUTOPISTA			AVENIDA			RESIDENCIAL		
Hora	Vel. Media [km/h]	Vel. Max [km/h]	Nº seg.	Vel. Media [km/h]	Vel. Max [km/h]	Nº seg.	Vel. Media [km/h]	Vel. Max [km/h]	Nº seg.
7:00	21,1	42,5	1890	20,6	47,6	2362	13,5	39,4	2058
8:00	13,7	40,4	1700	18,7	46,3	2282	8,6	38,7	2310
9:00	11,6	38,6	2205	9,6	43,6	1741	12,0	38,6	2013
10:00	7,4	39,4	2168	15,5	43,2	2151	9,1	41,0	2311
11:00	10,4	42,4	2160	8,9	41,9	2331	11,3	34,0	2187
12:00	9,4	35,8	2086	13,6	43,9	1794	12,3	40,7	2043
13:00	14,5	43,0	955	20,0	52,0	1783	10,1	38,7	2147
14:00	6,4	36,0	1946	21,0	49,3	1930	11,3	42,5	2277
15:00	12,4	41,6	2610	17,3	48,3	1989	11,2	36,4	2230
16:00	6,7	44,0	1357	12,6	44,5	2394	13,6	39,4	2141
17:00	5,9	42,6	2440	19,1	41,9	2365	7,8	37,1	2040
18:00	11,2	41,0	1608	9,9	43,9	2281	8,5	36,8	2369
19:00	5,6	42,7	1841	14,8	44,2	2149	11,5	31,0	2472
20:00	13,9	51,1	2592				13,7	42,0	1947
Prom.	10,7	41,5	1968	15,5	45,4	2119	11,0	38,3	2182

Anexo E

Códigos de Programas realizados

E.1. Cálculo de BINS

T es tiempo con precision de segundos. S es numero de satélites. H es altura. V es velocidad. El instante t0 toma los puntos del instante t-1 para todos los calculos.

```
S=A(:,2); j=0;g=0; A(size(S,1)+1,1)=-1;

for k = 1:size(S,1)

j=j+1;

T(j,1)=A(k,1)*86400;

H(j,1)=A(k,3);

V(j,1)=A(k,4)*0.44704;

if(S(k,1);3 or A(k,1)==A(k+1,1)) j=j-1;g=g+1; end;

end;

N=size(S,1)-g;

for k = 2:N

if(V(k,1);1/3.6) H(k,1)=H(k-1,1); end;

end;

for k = 2:N

Dt(1,1)=1;

Dt(k,1)=T(k,1)-T(k-1,1);

Dh(k,1)=(H(k,1)-H(k-1,1))/Dt(k,1);
```



```

if(V(k,1) > 1/3.6) Dh(k,1)=0; end;

if(V(k-1,1) > 1/3.6 and V(k,1) < 1/3.6) Dh(k,1)=0; end;

end;

for k = 4:(N-3)

U=0;

for i = 1:7 U=U+Dh(k-4+i,1); end;

Du(k,1)=U/7;

end;

for k = 4:(N-3) Dh(k,1)=Du(k,1); end;

for i = 1:100 BIN(i,1)=0; end;

for k = 2:N

a(k,1)=(V(k,1)-V(k-1,1))/(Dt(k,1));

VSP(k,1)=V(k,1)*(1.1*a(k,1)+0.132)+9.8*Dh(k,1)+0.000302*V(k,1)*V(k,1)*V(k,1);

VSP(1,1)=VSP(2,1);

if(k < 26) q=0;

for j = 2:k q=q+VSP(j,1); end;

AverageVSP(k,1)=q/(k-1);

end;

if(k < 25) q=0;

for j = (k-25):(k-5) q=q+VSP(j,1); end;

AverageVSP(k,1)=q/21;

end;

PreaveragePower(k,1)=AverageVSP(k,1);

if(0 < V(k,1) and V(k,1) < 5.4)

if(-80 < VSP(k,1) and VSP(k,1) < 1000) SpeedDivider(k,1)=3; end;

end;

```

```

if(5.4 ≤ V(k,1) and V(k,1) ≤ 8.5)

if(-80 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ 16) SpeedDivider(k,1)=5; end;

if(16 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ 1000) SpeedDivider(k,1)=3; end;

end;

if(8.5 ≤ V(k,1) and V(k,1) ≤ 12.5)

if(-80 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ 16) SpeedDivider(k,1)=7; end;

if(16 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ 1000) SpeedDivider(k,1)=5; end;

end;

if(12.5 ≤ V(k,1) and V(k,1) ≤ 50)

if(-80 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ 16) SpeedDivider(k,1)=13; end;

if(16 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ 1000) SpeedDivider(k,1)=5; end;

end;

RPMIndex(k,1) = max(0.9,V(k,1)/SpeedDivider(k,1));

VSP(k,2) = RPMIndex(k,1) + 0.08*PreaveragePower(k,1);

if(-1.6 ≤ VSP(k,2) and VSP(k,2) ≤ 3.1)

if(-80.0 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ -44 ) BIN(100,1)=BIN(100,1)+1; end;

if(-44.0 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ -39.9) BIN(1,1)=BIN(1,1)+1; end;

if(-39.9 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ -35.8) BIN(2,1)=BIN(2,1)+1; end;

if(-35.8 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ -31.7) BIN(3,1)=BIN(3,1)+1; end;

if(-31.7 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ -27.6) BIN(4,1)=BIN(4,1)+1; end;

if(-27.6 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ -23.4) BIN(5,1)=BIN(5,1)+1; end;

if(-23.4 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ -19.3) BIN(6,1)=BIN(6,1)+1; end;

if(-19.3 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ -15.2) BIN(7,1)=BIN(7,1)+1; end;

if(-15.2 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ -11.1) BIN(8,1)=BIN(8,1)+1; end;

if(-11.1 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ -7 ) BIN(9,1)=BIN(9,1)+1; end;

if(-7.00 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ -2.9 ) BIN(10,1)=BIN(10,1)+1; end;

```

```

if(-2.90 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= 1.2 ) BIN(11,1)=BIN(11,1)+1; end;

if( 1.2 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= 5.3 ) BIN(12,1)=BIN(12,1)+1; end;

if( 5.3 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= 9.4 ) BIN(13,1)=BIN(13,1)+1; end;

if( 9.4 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= 13.6 ) BIN(14,1)=BIN(14,1)+1; end;

if( 13.6 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= 17.7 ) BIN(15,1)=BIN(15,1)+1; end;

if( 17.7 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= 21.8 ) BIN(16,1)=BIN(16,1)+1; end;

if( 21.8 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= 25.9 ) BIN(17,1)=BIN(17,1)+1; end;

if( 25.9 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= 30 ) BIN(18,1)=BIN(18,1)+1; end;

if( 30 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= 1000 ) BIN(19,1)=BIN(19,1)+1; end;

end;

if(3.1 ;VSP(k,2) and VSP(k,2)i= 7.8)

if(-80.0 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= -44 ) BIN(20,1)=BIN(20,1)+1; end;

if(-44.0 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= -39.9) BIN(21,1)=BIN(21,1)+1; end;

if(-39.9 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= -35.8) BIN(22,1)=BIN(22,1)+1; end;

if(-35.8 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= -31.7) BIN(23,1)=BIN(23,1)+1; end;

if(-31.7 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= -27.6) BIN(24,1)=BIN(24,1)+1; end;

if(-27.6 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= -23.4) BIN(25,1)=BIN(25,1)+1; end;

if(-23.4 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= -19.3) BIN(26,1)=BIN(26,1)+1; end;

if(-19.3 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= -15.2) BIN(27,1)=BIN(27,1)+1; end;

if(-15.2 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= -11.1) BIN(28,1)=BIN(28,1)+1; end;

if(-11.1 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= -7 ) BIN(29,1)=BIN(29,1)+1; end;

if(-7.00 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= -2.9 ) BIN(30,1)=BIN(30,1)+1; end;

if(-2.90 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= 1.2 ) BIN(31,1)=BIN(31,1)+1; end;

if( 1.2 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= 5.3 ) BIN(32,1)=BIN(32,1)+1; end;

if( 5.3 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= 9.4 ) BIN(33,1)=BIN(33,1)+1; end;

if( 9.4 ;VSP(k,1) and VSP(k,1)i= 13.6 ) BIN(34,1)=BIN(34,1)+1; end;

```

```

if( 13.6 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ 17.7 ) BIN(35,1)=BIN(35,1)+1; end;

if( 17.7 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ 21.8 ) BIN(36,1)=BIN(36,1)+1; end;

if( 21.8 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ 25.9 ) BIN(37,1)=BIN(37,1)+1; end;

if( 25.9 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ 30 ) BIN(38,1)=BIN(38,1)+1; end;

if( 30 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ 1000 ) BIN(39,1)=BIN(39,1)+1; end;

end;

if(7.8 ≤ VSP(k,2) and VSP(k,2) ≤ 12.6)

if(-80.0 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ -44 ) BIN(40,1)=BIN(40,1)+1; end;

if(-44.0 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ -39.9) BIN(41,1)=BIN(41,1)+1; end;

if(-39.9 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ -35.8) BIN(42,1)=BIN(42,1)+1; end;

if(-35.8 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ -31.7) BIN(43,1)=BIN(43,1)+1; end;

if(-31.7 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ -27.6) BIN(44,1)=BIN(44,1)+1; end;

if(-27.6 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ -23.4) BIN(45,1)=BIN(45,1)+1; end;

if(-23.4 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ -19.3) BIN(46,1)=BIN(46,1)+1; end;

if(-19.3 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ -15.2) BIN(47,1)=BIN(47,1)+1; end;

if(-15.2 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ -11.1) BIN(48,1)=BIN(48,1)+1; end;

if(-11.1 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ -7 ) BIN(49,1)=BIN(49,1)+1; end;

if(-7.00 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ -2.9 ) BIN(50,1)=BIN(50,1)+1; end;

if(-2.90 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ 1.2 ) BIN(51,1)=BIN(51,1)+1; end;

if( 1.2 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ 5.3 ) BIN(52,1)=BIN(52,1)+1; end;

if( 5.3 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ 9.4 ) BIN(53,1)=BIN(53,1)+1; end;

if( 9.4 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ 13.6 ) BIN(54,1)=BIN(54,1)+1; end;

if( 13.6 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ 17.7 ) BIN(55,1)=BIN(55,1)+1; end;

if( 17.7 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ 21.8 ) BIN(56,1)=BIN(56,1)+1; end;

if( 21.8 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ 25.9 ) BIN(57,1)=BIN(57,1)+1; end;

if( 25.9 ≤ VSP(k,1) and VSP(k,1) ≤ 30 ) BIN(58,1)=BIN(58,1)+1; end;

```

```

if( 30 < VSP(k,1) and VSP(k,1) <= 1000 ) BIN(59,1)=BIN(59,1)+1; end;

end;

end;

BINS(1,1)=1;

BINS(1,2)=BIN(100,1)/(N-1);

for i = 2:60 BINS(i,1)=i; BINS(i,2)=BIN(i-1,1)/(N-1); end;

```

E.2. Modos de conducción sobre imagen satelital

```

x = A(1,1); y = A(1,2);

hold on

scatter(A(:,1),A(:,2),10,B,'filled')

axis([-70.676 -70.658 -33.4565 -33.452])

axis equal

grid off

g = text(A(100,1),A(1,2),num2str(0),'Color',[0,0,0]);

set(g,'EraseMode','xor')

h = plot(x,y,'.');

set(h,'EraseMode','xor','MarkerSize',18)

for i= 1:699

for k = 1:10000;k=k+k;end;

drawnow

x = A(i,1); y = A(i,2);

set(h,'XData',x,'YData',y)

set(g,'string',['Velocidad [km/h]=',num2str(roundn(A(i,5),-2))]);

M(i) = getframe;

end

```

```
I = imread('xxxxx','jpg');
```

```
image(I)
```