

# *Aplicación y calibración del Highway Capacity Manual versión 2000 (HCM 2000) en una autopista chilena*

## *Case study for the application of the Highway Capacity Manual (HCM 2000) the first chilean highway*

Guillermo Thenoux\*, Soledad Lastra F\*

*\*Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, CHILE  
gthenoux@ing.puc.cl*

*Fecha de recepción: 01/02/2004  
Fecha de aceptación: 15/03/2004*

### *Resumen*

*En el trabajo se presentan los resultados de un estudio de la operación de una autopista interurbana (Autopista del Sol) utilizando la nueva edición del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2000). Los resultados del estudio permitieron desarrollar herramientas de calibración y obtener un primer modelo de comportamiento para el análisis de operación de autopistas chilenas, así como comparar éstas con el modelo propuesto por HCM 2000. Los resultados del trabajo indican que para segmentos de autopistas chilenas diseñados acorde a estándares internacionales pueden ser evaluadas por empleando la metodología del Manual de Capacidad de Carreteras (versión 2000) sin embargo, se recomienda realizar los correspondientes ajustes al modelo velocidad-intensidad.*

*Palabras Claves: Autopistas, nivel de servicio, capacidad de autopistas, velocidad*

### *Abstract*

*This paper presents the results of the application of the new edition of the Highway Capacity Manual (HCM 2000) to a Chilean Highway (Autopista del Sol). The results of the study permitted the development of both calibration tools and an adjusted speed-flow model for the analysis of the operation of chilean freeways, and to compare them to the model proposed in HCM 2000. The results of the work show that a chilean freeway designed to the international standards may be study and evaluated using the methodology proposed by the new Highway Capacity Manual (version 2000) although a djustment to the speed - flow models are recommended.*

*Keywords: Highway, level of service, Highway capacity, speed*

---

## *1. Introducción*

*A partir del año 2000 se ha podido observar un sostenido auge en la construcción de autopistas de Chile. Se estima que a partir del año 2005 estarán en operación más de 2000 km de autopistas tanto interurbanas como urbanas (MOPTI, 2002). Todas estas vías poseen en una importante proporción de su trazado en accesos controlados, enlaces en desnivel y dos o más pistas por sentido además de una serie de otras características geométricas las cuales permiten clasificar importantes segmentos de estas carreteras como autopistas.*

*Por esta razón, se crea la necesidad de incorporar herramientas que permitan evaluar la operación de las autopistas de similar forma a como se realizan hoy en los países desarrollados. El Manual de Capacidad de Carreteras 2000 (Highway Capacity Manual HCM 2000), en su cuarta edición, es una de las herramientas más usadas a*

*nivel mundial en el diseño y gestión de operación de instalaciones viales tales como autopistas, multicarriles y en general todos los tipos de instalaciones viales. De origen estadounidense, su uso en la última década se ha extendido en forma importante hacia otros países que lo han incorporado en sus políticas de elaboración y gestión de proyectos de infraestructura de transporte. Sin embargo, los parámetros de los modelos propuestos en el manual, provienen de Estados Unidos, y por lo tanto estos reflejan principalmente las características de dicho país. Por esta razón su uso en otros países, debe venir respaldado por estudios de las condiciones locales y de calibraciones de los modelos propuestos, de manera de ajustar los diseños a la idiosincrasia de cada región.*

*En el presente trabajo se presentan los resultados de un estudio de la operación de una autopista interurbana*



(Autopista del Sol) utilizando la nueva edición del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2000). La Autopista del Sol une la ciudad de Santiago con el Litoral Central y posee una longitud de 102 km. Su velocidad de diseño es de 120 [km/h] y posee dos carriles por sentido en casi toda su extensión. La excepción la constituyen los 7 primeros kilómetros a la salida de Santiago en donde cuenta con dos carriles por sentido.

Los resultados del estudio permitieron desarrollar herramientas de calibración y obtener un modelo ajustado para el análisis de operación de autopistas chilenas, así como comparar éstas con el modelo propuesto por HCM 2000.

## 2. Objetivos

El objetivo del estudio fue calibrar el modelo de capacidad de autopistas propuesto en la versión del año 2000 del HCM, a las condiciones de circulación y operación que existen en Chile.

Los objetivos del estudio fueron:

- Aplicar el Manual de Capacidad de Carreteras 2000 para el análisis de operación de una autopista chilena.
- Calibrar el modelo de capacidad de autopistas propuesto en la versión del año 2000 del HCM, a las condiciones de circulación y operación que existen en Chile.
- Comparar el comportamiento de una autopista Chilena (Autopista del Sol) con los modelos propuestos por el Manual de Capacidad de Carreteras en sus versiones 1985 y 2000.

## 3. Metodología de Trabajo

La metodología de trabajo utilizada en este estudio consistió en una primera etapa en la toma de datos en terreno en dos segmentos de Autopista del Sol. Se realizaron mediciones de velocidad de los vehículos y conteo de autos, camiones y buses. Las mediciones de velocidad se realizaron con dos velocímetros manuales tipo LaserPatrol. El conteo de vehículos fue manual con el apoyo de una cámara de video que registraba los flujos vehiculares por pista.

Las mediciones de volumen y velocidad se realizaron en una primera etapa, en el km 34 entre Talagante y el Monte, sector que se denominó Talagante (Figura 1), y en una segunda etapa en el km 5, a la salida de Santiago, sector que se denominó General Velásquez

(Figura 2). En ambos sectores las mediciones se llevaron a cabo sobre una pasarela peatonal. Los muestreos se realizaron en intervalos de 15 minutos en los cuales además de registrar las velocidades y flujos vehiculares por pista, se llevó un catastro del número y tipo de vehículo, diferenciando los datos obtenidos por carril. Una vez obtenida las mediciones de velocidad y volumen, se realizó el análisis estadístico de los resultados.



Figura 1. Sector Talagante



Figura 2. Sector General Velásquez

## 4. Estudio de la Velocidad Libre e Intensidad de Circulación

Para la calibración del modelo se debe determinar la Velocidad Libre de Circulación y la Intensidad ("Volumen de Circulación para el período de 15 min. corregido por PHF y otros factores).

### 4.1 Cálculo Velocidad Libre de Circulación (FFS)

La Velocidad Libre de Circulación FFS (Free Flow Speed) es la velocidad promedio que se puede dar

en una autopista cuando el flujo es bajo a moderado (hasta 1300 [veh/h/pista]). Puede determinarse mediante mediciones realizadas directamente en terreno, o bien estimarse a partir de las condiciones geométricas existentes en el tramo de vía estudiado. En el presente estudio se midió la Velocidad Media Temporal, ya que en vías con circulación continua que no están operando a un Nivel de Servicio superior a "D", la Velocidad Media Temporal es igual a la Velocidad Media de Recorrido (Hurdle y Datta, 1983) la cual para flujos menores a 1300 [veh/h/pista] se puede considerar como el valor FFS

Las mediciones de velocidad del sector de Talagante se presentan en Figura 3, Las mediciones de velocidad del sector de General Velásquez se presentan en Figura 4. Para el sector Talagante, la  $FFS_{terreno}$  calculado fue de 94 [km/h] y para el sector de General Velásquez el valor de  $FFS_{terreno}$  calculado fue de 95 [km/h].

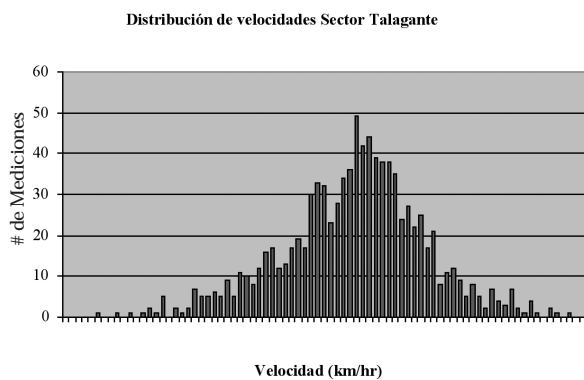


Figura 3. Distribución velocidades sector Talagante

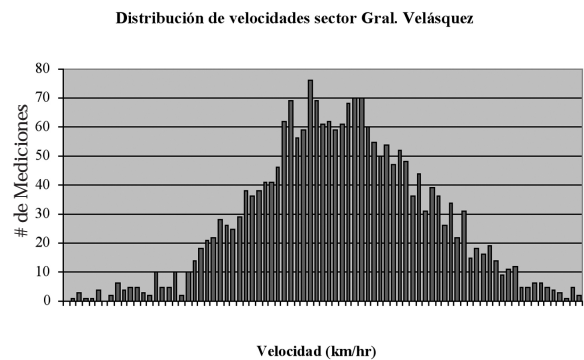


Figura 4. Distribución velocidades sector General Velásquez

Si la medición directa en terreno no es posible, la velocidad se puede estimar de acuerdo a las características físicas de la autopista. Para ello se ajusta la Velocidad Libre Base (Base Free Flow Speed, BFFS) por las condiciones geométricas y de operación específicas

del tramo. En este caso la Velocidad Libre de circulación (FFS), se calcula de acuerdo a la Ecuación (1) y considera los siguientes factores de ajuste:

$$FFS = BFFS - f_{lw} - f_{lc} - f_N - f_{id} \quad (1)$$

Donde:

$FFS$  = Velocidad libre de circulación

$BFFS$  = Velocidad libre estimada para condiciones ideales

$f_{lw}$  = factor de ajuste por ancho de carril (tabla 23-4, HCM 2000)

$f_{lc}$  = factor de ajuste por despeje lateral (tabla 23-5, HCM 2000)

$f_N$  = factor de ajuste por número de pistas (tabla 23-6, HCM 2000)

$f_{id}$  = factor de ajuste por frecuencia de enlaces (tabla 23-7, HCM 2000)

En este estudio se utilizaron los factores de ajuste tabulados en el HCM 2000. No se consideró calibrar estos valores a las condiciones chilenas, ya que implicaba realizar un gran número de investigaciones adicionales y se estima que no deberían ser muy diferentes a los rangos propuestos por HCM. Los factores de ajuste utilizados para cada sector se presentan en Tabla 1.

Tabla 1. Factores de ajuste de velocidad Autopista del Sol

Factores	Sector	
	Talagante	Gral. Velásquez
BFFS [km/h]	110	110
$f_{lw}$ [km/h]	5,6	5,6
$f_{lc}$ [km/h]	1,0	3,2
$f_{id}$ [km/h]	0	0
$f_N$ [km/h]	7,3	4,8
FFS teórico [km/h]	96,1	96,4

En ambos sectores, la  $FFS_{terreno}$  fue levemente menor que el valor calculado teóricamente. Para el sector de Talagante la diferencia fue de 2,1 [km/h], en cambio para el sector Gral. Velásquez, el valor de  $FFS_{terreno}$  fue de 1,4 [km/h].

Estos resultados confirman parcialmente que la utilización de los factores propuestos por HCM para la estimación de la velocidad libre teórica ( $FFS_{teórica}$ ) entrega un resultado similar a las mediciones de terreno e indica que para el nivel de exactitud que se requiere la variación entre el resultado medido y el cálculo teórico es poco significativa.



#### 4.2 Estudio de la Intensidad de Tránsito (vp)

El siguiente paso en el estudio fue determinar la intensidad registrada en cada medición. El cálculo de Intensidad propuesto por el HCM 2000 considera la aplicación de factores de ajuste al volumen medido para obtener un valor que refleje las características de la vía y de la circulación. La intensidad se calcula de acuerdo a la Ecuación (2).

$$\text{Intensidad}[\text{veh} / \text{h} / \text{pista}] = \text{vp} = \frac{\text{Volumen}[\text{veh} / \text{h}]}{\text{PHF} * N * f_{hv} * f_p}$$

Donde:

PHF= factor hora punta (Peak Hour Factor)

N= número de carriles por sentido de análisis.

$f_{hv}$ = factor de ajuste por vehículos pesado (heavy vehicles)

$f_p$ = factor de ajuste por tipo de conductor.

Del mismo modo, el factor de ajuste por vehículos pesados se calcula según la Ecuación (3)

$$f_{hv} = \frac{1}{1 + P_t * (E_t - 1) + P_r * (E_r - 1)}$$

Donde:

$E_t$ = factor de equivalencia de vehículos livianos para camiones (trucks and buses) (tablas 23- 9, 23-10 y 23-11, HCM 2000)

$E_r$ = factor de equivalencia de vehículos livianos para vehículos de recreo (recreational vehicles) (tablas 23- 9, 23-10 y 23-11, HCM 2000)

$P_t$ = porcentaje de camiones y  $P_r$ = porcentaje de vehículos de recreo.

En el sector Talagante se registró un 20% de camiones y buses y en General Velásquez un 17%. Para ambos sectores el factor  $E_t$  aplicado fue 1,5 al tratarse de segmentos de terreno llano. No hubo registros de vehículos de recreo en ningún sector.

Respecto al tipo de conductor, se consideró conductor pendular para ambos sectores de estudio. El número de pistas considerado fue 1, ya que los volúmenes fueron registrados por pista.

Los factores de ajuste correspondientes a cada sector se presentan en Tabla 2.

Tabla 2: Factores de ajuste de intensidad Autopista del Sol

Factores	Sector	
	Talagante	Gral. Velásquez
PHF	0,73	0,82
$f_{hv}$	0,91	0,93
$f_p$	1	1
N	1	1

La Figura 5, muestra un resumen de los datos medidos en terreno para ambos sectores en estudio. Se puede observar que se produce una tendencia similar al modelo clásico propuesto por HCM para la representación gráfica entre la intensidad de tránsito (vp) y la velocidad de circulación (FFS).

#### 4.3 Regresión de Datos y Cálculo de Curva de Ajuste

Al llevar a cabo los respectivos ajuste por regresión, para las variables Velocidad e Intensidad, se obtuvo curvas con muy baja correlación, con valores bastante bajos e inapropiados para determinar si existía o no relación entre las variables. Se probó también ajustar los logaritmos y los recíprocos de ambas variables, lo que tampoco entregó valores de correlación muy altos. Debido a lo bajo del factor de determinación encontrado, se planteó la opción de realizar transformaciones a las variables. Se decidió usar la Densidad, variable que se calcula de acuerdo a la Ecuación (4) en donde la Densidad determina por definición los Niveles de Servicio.

$$\text{Densidad}[\text{veh} / \text{km}] = \frac{\text{Intensidad}[\text{veh} / \text{h}]}{\text{Velocidad}[\text{km} / \text{h}]} \quad (4)$$

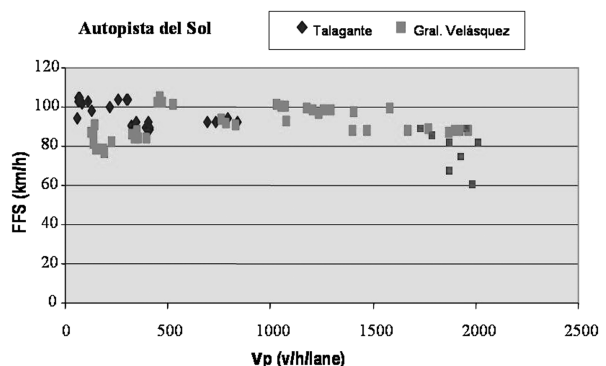


Figura 5. Distribución de intensidad y velocidad Autopista del Sol



## 5. Construcción Modelo de Capacidad Autopista del Sol

Las curvas de ajuste entre Densidad e Intensidad mostraron una mayor correlación que las obtenidas entre Densidad y Velocidad. A su vez, se llevaron a cabo ajustes sobre los logaritmos y los recíprocos de las variables, siendo este último análisis el que mejores resultados arrojó, con valores de  $R^2$  superiores a 0,95. Esto llevó a determinar que la relación  $Densidad^{-1}$  v/s  $Intensidad^{-1}$  sería la que se utilizaría para encontrar la curva de ajuste.

Lo que interesa determinar es el comportamiento de la velocidad cuando los volúmenes son moderados a altos y hay congestión en la vía, asumiendo que cuando existen volúmenes más bajos, los conductores no se ven influenciados por los demás. (Hurdle y Datta, 1983). Se asume entonces, que para intensidades bajas, la velocidad de circulación se mantiene constante. Por esta razón, se decidió no incluir los registros con intensidades menores a 700 [veh/h/pista] para realizar el análisis.

Al graficar los datos de  $Densidad^{-1}$  e  $Intensidad^{-1}$  y buscar la correlación, se obtiene una curva de ajuste exponencial con  $R^2 = 0,9824$  y Ecuación (5) (Figura 6).

$$y = 0,0003 * e^{12,217 * x} \quad (5)$$

Donde:

$$x = densidad^{-1}$$

$$y = intensidad^{-1}$$

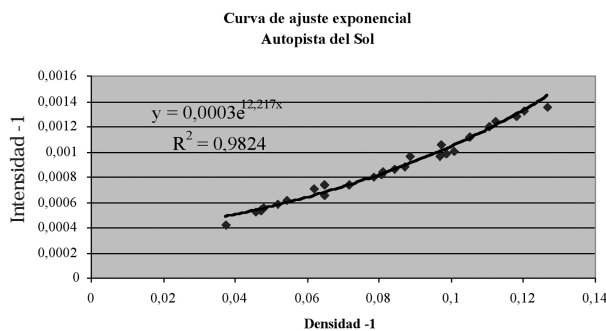


Figura 6. Curva de ajuste exponencial recíprocos densidad e intensidad

Eventualmente se podría utilizar una línea recta para la correlación pero, dado que no produce ninguna dificultad el emplear una ecuación exponencial se mantiene la correlación propuesta.

Una vez comprobada la validez de la curva de ajuste, se buscó la relación existente entre la velocidad y la intensidad. Para ello se tomaron valores fijos de densidad y se reemplazaron sus recíprocos en la Ecuación (5) de la curva de ajuste, obteniéndose valores de  $Intensidad^{-1}$ . La velocidad se determinó a través de la relación existente entre la densidad, la velocidad y la intensidad, Ecuación (6).

$$Velocidad[km/hr] = \frac{Intensidad[veh/h]}{Densidad[veh/km]}$$

El siguiente paso, una vez obtenida la curva de ajuste, fue determinar la velocidad para las intensidades menores a 700 [veh/h/pista]. La condición de constancia que se había supuesto al comenzar el ajuste debía mantenerse, por lo que simplemente se mantuvo la velocidad máxima obtenida, produciendo que la velocidad comenzara a descender alrededor de los 1100 [veh/h/pista].

Una vez obtenido el modelo para un valor FFS se procedió a construir el modelo para velocidades de 120, 110, 100 y 90 [km/h], siguiendo el mismo principio de "paralelismo" utilizado por HCM - 2000 y versiones anteriores del HCM. La Figura 7, muestra la propuesta de lo que correspondería al modelo de comportamiento de Autopista del Sol. La Figura 8, muestra el modelo general para autopistas propuesto por HCM-2000. La Tabla 3 muestra los resultados tabulados del estudio de Autopista del Sol del mismo modo que se presentan en el manual HCM. La Tabla 4, muestra los resultados tabulados correspondientes al manual HCM versión 2000.

El modelo encontrado para la Autopista del Sol presenta pequeñas diferencias respecto al modelo propuesto por el HCM 2000. Primero, existe una menor capacidad máxima para la Autopista del Sol, con 2375 [veh/h/pista] a diferencia de los 2400 [veh/h/pista] admisibles en el HCM 2000. Este valor encontrado en el estudio no es totalmente correcto, ya que los datos medidos en terreno reflejaron lo que sucede en la autopista hasta intensidades de 2000 [veh/h/pista]. Por esta razón, las curvas del modelo de capacidad propuesto, una vez superado los 2000 [veh/h/pista] de intensidad son solo líneas segmentadas, dando a entender que son la proyección de la curva y que el comportamiento en la vía con intensidades superiores puede ser distinto. Para verificar esto sería necesario medir volúmenes altos, situación que no se presentó durante el estudio.



Existen, a su vez, valores límites para los niveles de servicio más estrictos que los establecidos en el Manual de Capacidad 2000. Así para la curva de los 100 [km/h], se tiene que la intensidad máxima para un Nivel D es de 1908 [veh/h/pista] en el modelo chileno y de 2065 [veh/h/pista] en el modelo internacional.

Respecto al modelo propuesto en la versión del año 1985, el modelo de la Autopista del Sol difiere en mayor forma que lo analizado respecto al año 2000. La capacidad máxima en el modelo 1985 era solo de 2000 [veh/h/pista], valor superado ampliamente por los 2375

[veh/h/pista] encontrados para el modelo chileno. La pérdida de nivel de servicio y la caída de velocidad del modelo 1985 es a su vez mayor que lo determinado en el modelo de los tramos medidos de Autopista del Sol. La curva de los 112 [km/h] descendía frente al aumento de intensidad hasta alcanzar los 56 [km/h] para la capacidad máxima de 2000 [veh/h/pista].

Así, el modelo encontrado para la Autopista del Sol podría clasificarse como en un modelo intermedio entre los modelos 1985 y 2000 del HCM.

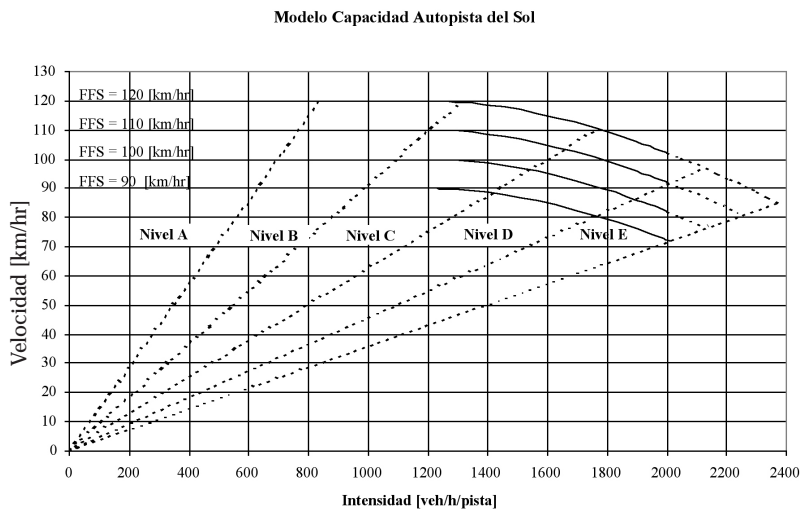


Figura 7. Modelo de Capacidad propuesto para la Autopista del Sol

Exhibit 23-3. speed-Flow curves and los for basic freeway segments

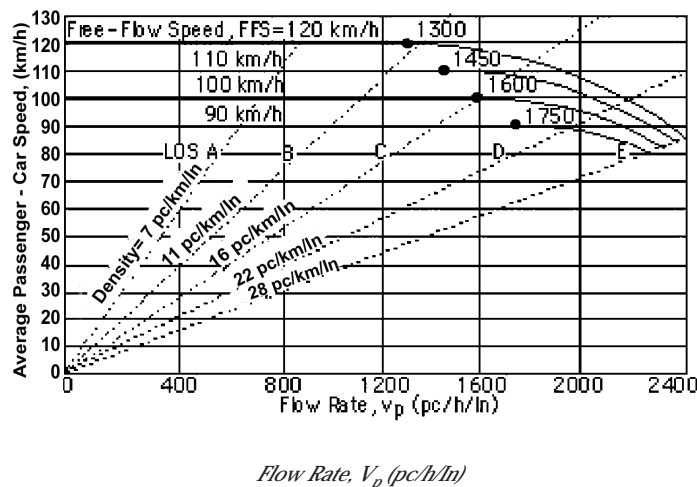


Figura 8. Modelo de Capacidad Highway Capacity Manual HCM -- 2000

Tabla 3. Criterios de determinación para niveles de servicio Autopista del Sol

Criterio	NIVEL DE SERVICIO				
	A	B	C	D	E
<b>FFS = 120 [km/h]</b>					
Densidad máxima [veh/km/pista]	7	11	16	22	28
Velocidad mínima [km/h]	120	120	111,1	97,3	85,1
Máximo v/c	0,35	0,55	0,75	0,90	1
Máxima Intensidad de Servicio [veh/h/pista]	840	1320	1777	2140	2382
<b>FFS = 110 [km/h]</b>					
Densidad máxima [veh/km/pista]	7	11	16	22	28
Velocidad mínima [km/h]	110	110	104,2	92,1	81,1
Máximo v/c	0,34	0,53	0,73	0,89	1
Máxima Intensidad de Servicio [veh/h/pista]	770	1210	1667	2027	2270
<b>FFS=100 [km/h]</b>					
Densidad máxima [veh/km/pista]	7	11	16	22	28
Velocidad mínima [km/h]	100	100	96,8	86,7	76,8
Máximo v/c	0,33	0,51	0,72	0,89	1
Máxima Intensidad de Servicio [veh/h/pista]	700	1100	1549	1908	2150
<b>FFS=90 [km/h]</b>					
Densidad máxima [veh/km/pista]	7	11	16	22	28
Velocidad mínima [km/h]	90	80	88,8	81,0	72,3
Máximo v/c	0,31	0,43	0,70	0,88	1
Máxima Intensidad de Servicio [veh/h/pista]	630	880	1420	1781	2023

Tabla 4. Criterios de determinación para niveles de servicio HCM-2000

EXHIBIT 23-4 LOS CRITERIA FOR FREEWAY SEGMENTS					
CRITERIA	LOS				
	A	B	C	D	E
<b>FFS = 120 km/h</b>					
Maximum density (pc/km/ln)	7	11	16	22	28
Minimum speed(km/h)	120,0	120,0	114,6	99,6	85,7
Maximum v/c	0,35	0,55	0,77	0,92	1,00
Maximum service flow rate (pc/h/ln)	840	1320	1840	2200	2400
<b>FFS = 110 km/h</b>					
Maximum density (pc/km/ln)	7	11	16	22	28
Minimum speed(km/h)	110,0	110,0	108,5	97,2	83,9
Maximum v/c	0,33	0,51	0,74	0,91	1,00
Maximum service flow rate (pc/h/ln)	770	1210	1740	2135	2350
<b>FFS = 100 km/h</b>					
Maximum density (pc/km/ln)	7	11	16	22	28
Minimum speed(km/h)	100,0	100,0	100,0	93,8	82,1
Maximum v/c	0,30	0,48	0,70	0,90	1,00
Maximum service flow rate (pc/h/ln)	700	1100	1600	2065	2300
<b>FFS = 90 km/h</b>					
Maximum density (pc/km/ln)	7	11	16	22	28
Minimum speed(km/h)	90,0	90,0	90,0	89,1	80,4
Maximum v/c	0,28	0,44	0,64	0,87	1,00
Maximum service flow rate (pc/h/ln)	630	990	1440	1955	2250
<small>Nota: The exact mathematical relationship between density and v/c has not always been maintained at LOS boundaries because of the use of rounded values. Density is the primary determinant of LOS. The speed criterion is the speed at maximum density for a given LOS.</small>					

## 8. Conclusiones

Basado en los estudios de terreno y posterior análisis, se pudo obtener un modelo de comportamiento para estudio de capacidad para segmentos específicos de Autopista del Sol. El estudio permite concluir que una autopista chilena correctamente diseñada, como lo fueron los tramos estudiados, tendría un comportamiento muy

similar al comportamiento de autopistas internacionales. Esto último hace factible realizar estudios operacionales de autopistas chilenas empleando las herramientas de análisis entregadas por el Highway Capacity Manual.

La calibración realizada en el presente estudio puede ser considerada muy preliminar, a pesar del



importante número de mediciones realizadas. Para calibrar el comportamiento de autopistas chilenas se requiere de más estudios y también esperar que los usuarios se familiaricen con las autopistas y por sobre todo adquiera los hábitos correctos de conducción.

Del estudio y observaciones realizadas en otros tramos de Autopista del Sol y otras autopistas chilenas también se concluye que existe una importante proporción de tramos o segmentos de autopistas que no cumplen con los estándares de diseño por lo cual, segmentos importantes de autopista no pueden ser analizadas como tal. También, una parte importante de los tramos no calificados como autopista interfieren con el comportamiento general de los tramos contiguos.

Respecto a la comparación realizada entre los modelos propuestos internacionalmente y los calibrados para Chile, las diferencias encontradas pueden deberse a la poca costumbre que tienen los usuarios de circular a velocidades altas, respetando las pistas rápidas y sintiéndose seguros en las vías. La velocidad máxima en autopistas es, desde julio del año 2002, 120 [km/h] para vehículos livianos y 100 [km/h] para camiones y buses. Es posible que con el tiempo, los usuarios comiencen a familiarizarse con esta nueva normativa y las velocidades promedio en estas vías aumenten, lo que producirá un cambio en el comportamiento de los conductores y generará modificaciones en los modelos de capacidad. Así, es posible que en un futuro no se deban calibrar los modelos a las características de la región y se pueda aplicar el modelo internacional directamente. Esto sólo podrá demostrarse a través de mediciones en terreno de velocidad, intensidad y de sus respectivos análisis.

Las diferencias encontradas la comparación realizada entre los modelos propuestos internacionalmente y los calibrados para Chile, también pueden tener otros orígenes los cuales no fueron estudiados en el presente trabajo. Entre estos: aspectos relacionados a los sistemas y reglamentaciones de control de velocidad, niveles de riesgo a los cuales los conductores de cada región están dispuesta a tomar, heterogeneidad vehicular y distribución de velocidades, otros.

## 9. Referencias

- Feller-Rate (2002), Informe de Clasificación Sociedad Concesionaria Autopista del Sol S.A, Marzo. Feller-Rate, Clasificadora de Riesgo.
- Hurdle, V.F y Datta, P.K. (1983), Speeds and flows on urban Freeway: Some measurements and a Hipotesis, Transportation Research Board, Washington D.C.
- MOP (1999), La década de la Infraestructura 1990- 1999, Memoria Ministerio de Obras Públicas, República de Chile.
- MOPTT (2002), página web del Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Telecomunicaciones, República de Chile.
- TRB, Transportation Research Board (2000), Highway Capacity Manual, National Research Council Washington, D.C.