

APLICACION Y CALIBRACION DEL HCM 2000 EN UNA AUTOPISTA CHILENA

Guillermo Thenoux Z., Soledad Lastra F.
Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción
Universidad Católica de Chile
Vicuña Mackenna 4860
Fax:6864806
e-mail: gthenoux@ing.puc.cl, mllastra@puc.cl

RESUMEN

El trabajo presenta los resultados de la aplicación de la nueva edición del Manual de Capacidad de Carreteras de AASHTO (Highway Capacity Manual, HCM 2000) a una autopista Chilena (Autopista del Sol). 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 estas con el modelo propuesto por HCM 2000.

Los resultados del trabajo muestran que el modelo calibrado para la Autopista del Sol podría clasificarse como un modelo que se ajusta entre los modelos propuestos por las versiones 1985 y 2000 del HCM, aunque podría considerarse que el modelo chileno se encuentra más cercano a los propuestos en la versión 2000 del HCM. La diferencia en los valores encontrados respecto a los propuestos en el Manual son menores, pero demuestra que existe un comportamiento levemente distinto en los conductores chilenos en comparación a lo registrado internacionalmente.

1. INTRODUCCION

Con la llegada del nuevo siglo en Chile, se ha podido observar un auge en la construcción de autopistas. Ejemplo de ello son la Autopista del Sol, la Ruta 5 y la Ruta 68 entre otras, todas estas vías poseen en una importante proporción de su trazado accesos controlados, enlaces en desnivel y dos o más pistas por sentido además de una serie de otras características geométricas las cuales permiten clasificar estas carreteras como autopista. Existen además varios otros mega proyectos de construcción de autopistas urbanas en la ciudad de Santiago y autopistas interurbanas en varias regiones del país lo que llevara a Chile a contar, antes del año 2005, con más de 2000 km de caminos con característica de autopistas (MOPTT, 2002).

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 estudio se presentan los resultados de un análisis e investigación de la operación de una autopista interurbana (Autopista Del Sol) y una multicarril urbana (Av. Kennedy) haciendo uso de la nueva edición del Manual de Capacidad de Carreteras de AASHTO (HCM 2000). 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 estas 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.

Objetivos Específicos:

- Aplicar el Manual de Capacidad de Carreteras 2000 en Chile para el análisis de operación de autopistas chilenas.
- Desarrollar una metodología para la calibración de las condiciones de operación de una autopista.
- Comparar el comportamiento de una autopista Chilena con los modelos propuestos por el Manual de Capacidad de Carreteras en sus versiones 1985 y 2000.

3. METODOLOGIA DE TRABAJO

La metodología de trabajo utilizada en este estudio consistió en una primera etapa en la toma de datos en terreno. Para ello se escogieron dos caminos diferentes, en las cuales se realizaron mediciones de velocidad de los vehículos y conteo de autos, camiones y buses. Las vías elegidas fueron Avenida Kennedy y la Autopista del Sol. Ambos casos fueron tratados de forma independiente por tratarse de dos vías de características diferentes.

Avenida Kennedy fue considerada para efectos del estudio como una autopista urbana pero, más adelante en el estudio se le considero como una multicarril urbana. Su elección se basó fundamentalmente por la existencia de velocímetros fijos en el sentido oriente poniente de circulación, los que fueron instalados el año 2000. En esta avenida las mediciones se llevaron a cabo en los dos sectores donde se ubican los velocímetros fijos, lo que ayudó y simplificó la tarea de controlar la velocidad de los vehículos. Además se conto con la información que ha recopilado el Municipio que tiene a cargo la administración de este sistema (Municipalidad de Vitacura). Por su parte, en la Autopista del Sol también se midió velocidad y volumen vehicular pero las mediciones de velocidad se realizaron con dos velocímetros manuales tipo LaserPatrol. En ambas vías el conteo de vehículos fue manual con el apoyo de una cámara de video que registraba los flujos vehiculares por pista.

Una vez obtenida las mediciones de velocidad y volumen, se realizó el análisis de los resultados. A través de un análisis estadístico fue posible definir los modelos de capacidad de las vías, establecer los rangos de intensidad para cada nivel de servicio y calcular la capacidad de las autopistas.

En el presente trabajo, sólo se expondrán los resultados de la Autopista del Sol, ya que el estudio llevado a cabo en Avenida Kennedy sirvió como guía y apoyo de lo que posteriormente se realizó en la Autopista del Sol. Además se determino que Av. Kennedy no presenta el comportamiento de autopista en las condiciones actuales de operación.

4. TOMA Y ANALISIS DE DATOS

La Autopista del Sol o Ruta 78 une Santiago con el Litoral Central y posee una longitud de 102 km. Su velocidad de diseño es de 120 [km/h] y posee dos pistas por sentido en casi toda su extensión. La excepción la constituyen los siete primeros kilómetros a la salida de Santiago en donde cuenta con tres pistas por sentido (Feller-Rate, 2002).

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, y en una segunda etapa en el km 5, a la salida de Santiago, sector que se denominó General Velásquez. En ambos sectores las mediciones se llevaron a cabo sobre una pasarela peatonal. La elección de la pasarela se debió a la posibilidad de medir las velocidades sin ser vistos por los automovilistas.

Los muestreos se realizaron cada 15 minutos en los cuales además de registrar las velocidades, se llevó un catastro del número y tipo de vehículo, diferenciando los datos obtenidos por pista. El

conteo de autos, camiones y buses se realizó en forma visual y con la ayuda de una cámara de video.

5. ESTUDIO DE LA VELOCIDAD LIBRE E INTENSIDAD DE CIRCULACION

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”).

5.1. Velocidad Libre de Circulación (FFS)

La Velocidad Libre de Circulación FFS (Free Flow Speed) es la velocidad promedio que existe 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. Para el estudio se utilizó la Velocidad Media Temporal, ya que en vías con circulación continua que no están operando a un Nivel de Servicio “F”, la Velocidad Media temporal es igual a la Velocidad Media de Recorrido (Hurdle and Datta, 1983)

Las mediciones de velocidad del sector de Talagante (Figura 1), presentaron una distribución donde la mayor concentración de registros estuvo entre los 89 [km/h] y los 106 [km/h], equivalente a un 65% de las mediciones. La velocidad más registrada fue 95 [km/h] correspondiente a un 5% de las mediciones y la velocidad promedio fue de 94,8 [km/h].

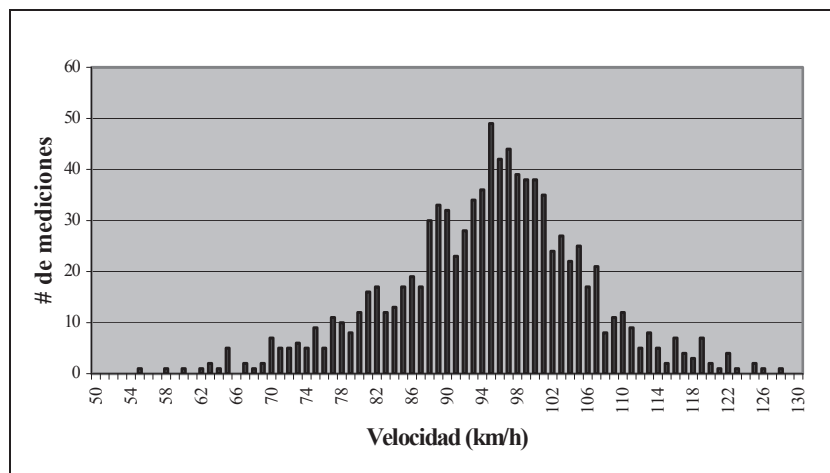


Figura 1: Distribución Velocidades Sector Talagante

En el sector General Velásquez (Figura 2), se obtuvo una distribución donde la mayor concentración de registros se observó entre los 84 [km/h] y los 108 [km/h], correspondiente a un 64% de los registros. La velocidad más registrada fue 88 [km/h] con un 3% de las mediciones y la media de los vehículos fue de 93 [km/h].

Para el sector Talagante, la FFS_{terreno} fue de 94 [km/h] y para el sector de General Velásquez el valor de FFS_{terreno} fue de 95 [km/h].

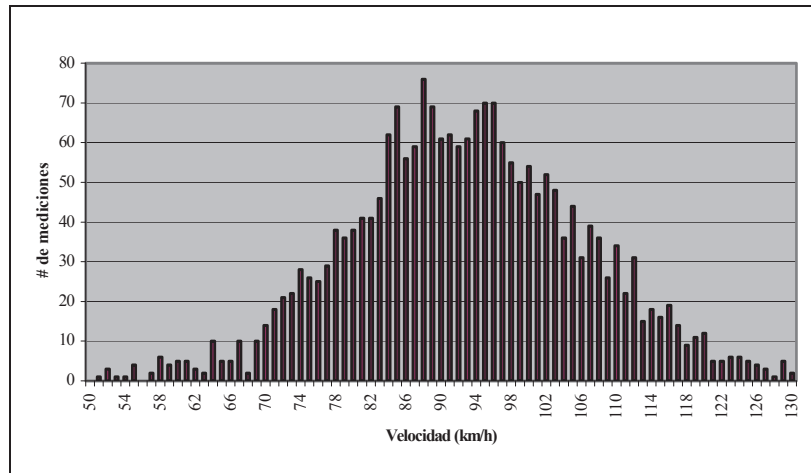


Figura 2: Distribución de Velocidades Sector Gral. Velásquez

Si la medición directa en terreno no es posible, la velocidad se puede estimar de acuerdo a las características físicas de la autopista (TRB, 2000). 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:

$$FFS = BFFS - f_{lw} - f_{lc} - f_N - f_{id} \tag{1}$$

Donde:

FFS = Velocidad libre de circulación

BFFS= Velocidad libre estimada para condiciones ideales

f_{lw} = factor de ajuste por ancho de pista (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 y no se consideró el calibrar también estos valores a las condiciones chilenas, ya que implicaba realizar un gran número de investigaciones adicionales. Los factores de ajuste utilizados para cada sector se presentan en Tabla 1.

En ambos sectores, la FFS_{terreno} fue levemente menor que la calculada 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].

Los resultados obtenidos de FFS_{terreno} en ambos sectores reflejan un comportamiento de autopista, el que se encuentra en un nivel un poco más bajo de lo observado a nivel internacional. Las velocidades medidas reflejan que es posible clasificar los segmentos en estudio de la Autopista del Sol como tal.

Tabla 1
Factores de Ajuste de Velocidad Autopista del Sol

Factores	Sector	
	Talagante	Gral. Velásquez
BFFS [km/h]	110	110
flw [km/h]	5,6	5,6
flc [km/h]	1,0	3,2
fid [km/h]	0	0
fN [km/h]	7,3	4,8
FFS teórico [km/h]	96,1	96,4

Fuente: Elaboración propia

5.2. 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).

$$Intensidad [veh / h / pista] = vp = \frac{Volumen [veh / h]}{PHF * N * f_{hv} * f_p} \quad (2)$$

Donde:

PHF = factor hora punta (**Peak Hour Factor**).

N = número de pistas 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).

$$f_{hv} = \frac{1}{1 + P_t * (E_t - 1) + P_r * (E_r - 1)} \quad (3)$$

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
fhv	0,91	0,93
fp	1	1
N	1	1

Fuente: Elaboración propia

5.3. Regresión de datos y cálculo de curva de ajuste

Un modelo de capacidad representa gráficamente la relación que existe entre la intensidad de tránsito y la velocidad de circulación. La Figura 3 muestra una simplificación de los datos medidos en terreno para ambos sectores en estudio.

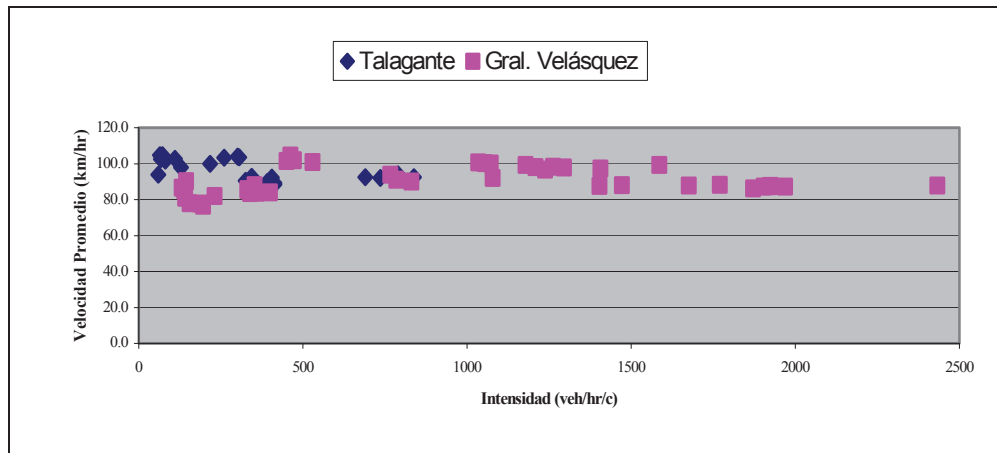


Figura 3: Distribución de Intensidad y Velocidad Autopista del Sol

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). La Densidad además define los Niveles de Servicio valores que en teoría no deberían ser modificados por el ajuste de los parámetros del modelo Velocidad/Intensidad.

(4)

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 and Datta, 1983). Se podría asumir 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, teniendo en cuenta que al obtener la curva esta suposición de constancia debía cumplirse.

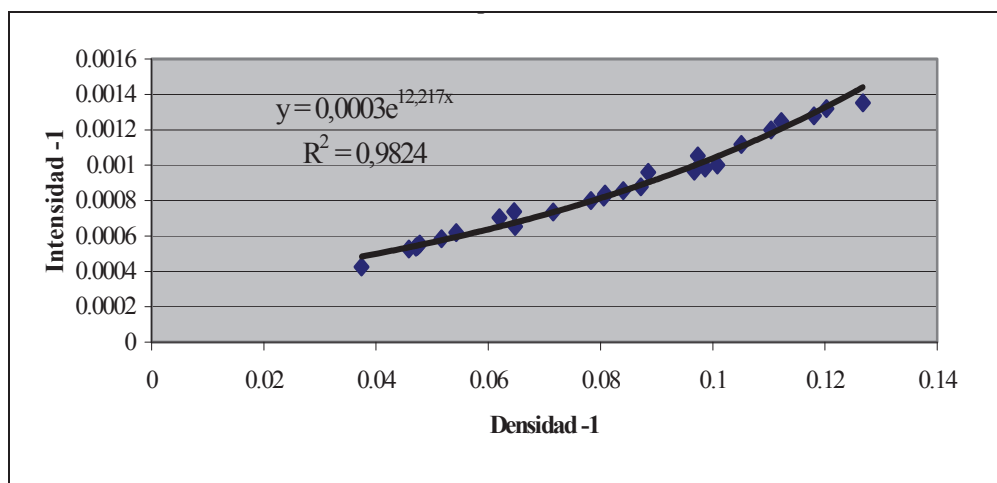


Figura 4: Curva de Ajuste Exponencial Recíprocos Densidad e Intensidad Autopista del Sol

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 4).

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

Donde:

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

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

6. MODELO DE CAPACIDAD AUTOPISTA DEL SOL

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).

$$Velocidad [km / hr] = \frac{Intensidad [veh / h]}{Densidad [veh / km]} \tag{6}$$

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].

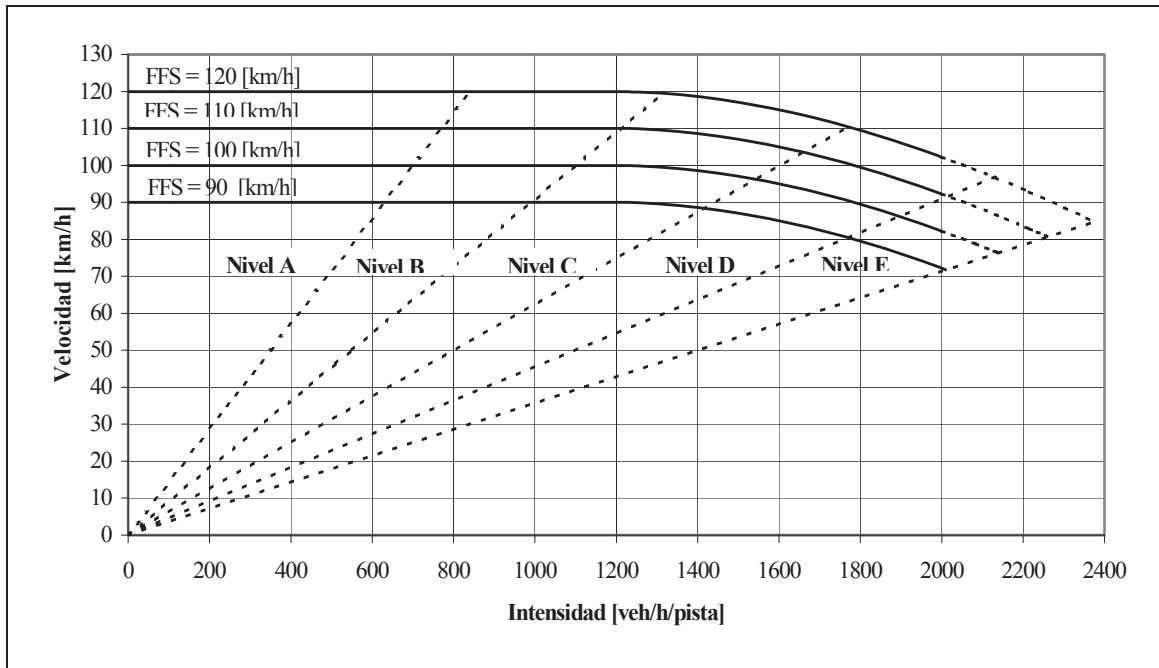


Figura 5: Modelo de Capacidad Propuesto para la Autopista del Sol

Una vez graficada la curva completa (Figura 5), se procedió a buscar el modelo de capacidad de la Autopista del Sol. El modelo de comportamiento para esta vía debía contener curvas para diferentes velocidades, que mostraran la tendencia a descender a medida que aumenta la intensidad. Estas curvas debían graficarse para velocidades de 120, 110, 100 y 90 [km/h], en el caso de autopistas interurbanas (TRB, 2000).

Para encontrar dichas curvas, simplemente se trasladó verticalmente la curva encontrada, de manera de hacer coincidir la parte recta de cada curva con los valores requeridos de velocidad. Además se graficaron las líneas de densidad para determinar los niveles de servicio y las intensidades límites correspondientes a cada nivel. Las densidades máximas determinantes para cada nivel de servicio fueron las mismas que las propuestas en el Manual de Capacidad HCM 2000. Así finalmente se calibró el modelo Velocidad versus Intensidad de Autopista del Sol (Figura 5 y Tabla 3).

Tabla 3
Criterios de Determinación para Niveles de Servicio Autopista del Sol

Criterio	NIVEL DE SERVICIO				
	A	B	C	D	E
FFS = 120 [km/h]					
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
FFS = 110 [km/h]					
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
FFS=100 [km/h]					
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
FFS=90 [km/h]					
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

Fuente: Elaboración propia

7. INTERPRETACION Y COMPARACION DE RESULTADOS

Para comparación de resultados se presenta en Anexo del trabajo la figura y tabla correspondiente al HCM 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.

Una segunda diferencia es la caída de velocidad y la pérdida de nivel de servicio que se obtuvo en el modelo propuesto, respecto al del HCM 2000. La velocidad de circulación se mantiene constante, para todas las curvas de velocidad, hasta los 1200 [veh/h/pista] y luego comienza a decaer. Distinto es lo que ocurre en el modelo internacional, donde existen diferentes límites de intensidad para las diversas curvas, siendo la intensidad de 1300 [veh/h/pista] la que marca la caída de velocidad para la curva de los 120 [km/h], 1450 [veh/h/pista] para los 110 [km/h], 1600 [veh/h/pista] para los 100 [km/h] y 1750 [veh/h/pista] para la curva de los 90 [km/h]. Esto se debió principalmente a que se asumió la misma pérdida de velocidad para todas las curvas, sin hacer diferencia entre velocidades libres más altas o más bajas.

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 la 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].

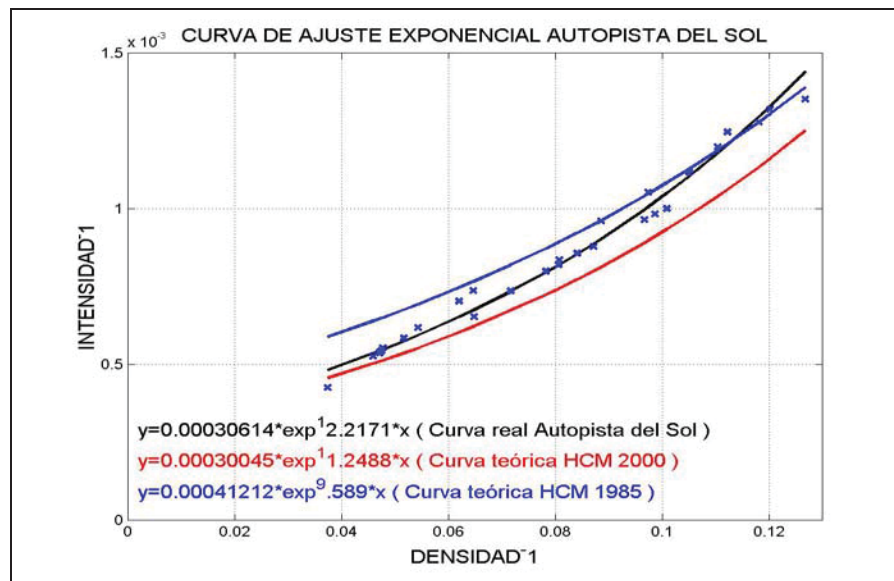


Figura 6: Comparación Curvas de Ajuste Autopista del Sol y HCM

Así, el modelo encontrado para la Autopista del Sol podría clasificarse como en un modelo intermedio entre los modelos 1985 y 2000 del HCM. Esto es posible visualizarlo en la Figura 6, donde se grafican las curvas de ajuste para los recíprocos de intensidad y densidad del modelo encontrado y de los propuesto en los Manuales de Capacidad 1985 y 2000.

Sin embargo, por los valores obtenidos y los análisis realizados el modelo chileno se encuentra más cercano al propuesto en la versión 2000 del HCM. La diferencia en los valores encontrados respecto a los propuestos en el Manual parece ser mínima, pero demuestra que existe un comportamiento distinto en los conductores chilenos en comparación a lo registrado internacionalmente. Esta diferencia es la que es necesario conocer para no cometer errores al diseñar y evaluar la calidad y nivel de servicio de las autopistas chilenas.

8. CONCLUSIONES

Basado en los estudios de terreno y posterior análisis, se pudo calibrar el modelo de capacidad para autopistas en Chile considerando dos secciones de Autopista del Sol. Para la calibración y ajuste de los modelos de autopistas se pueden utilizar varias fórmulas de regresión. Así fue como se eligió para Autopista del Sol un ajuste exponencial. Las ecuaciones de regresión pueden variar según la forma y la cantidad de datos que se obtengan en terreno.

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 en 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 dispuestos a tomar, heterogeneidad vehicular y distribución de velocidades, otros.

El tema de capacidad de las vías, tanto urbanas como interurbanas, se ha investigado muy poco en el país.

REFERENCIAS

Feller-Rate (2002), **Informe de Clasificación Sociedad Concesionaria Autopista del Sol S.A**, Marzo. Feller-Rate, Clasificadora de Riesgo.

Hurdle, V.F and Datta, P.K (1983) **Speeds and flows on urban Freeway: Some measurements and a Hipotesis**, Transportation Research Board, Washington D.C.

MOPTT (2002), www.moptt.cl página web del Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Telecomunicaciones, República de Chile.

TRB (2000), Transportation Research Board, **Highway Capacity Manual**, National Research Council Washington, D.C.

ANEXOS

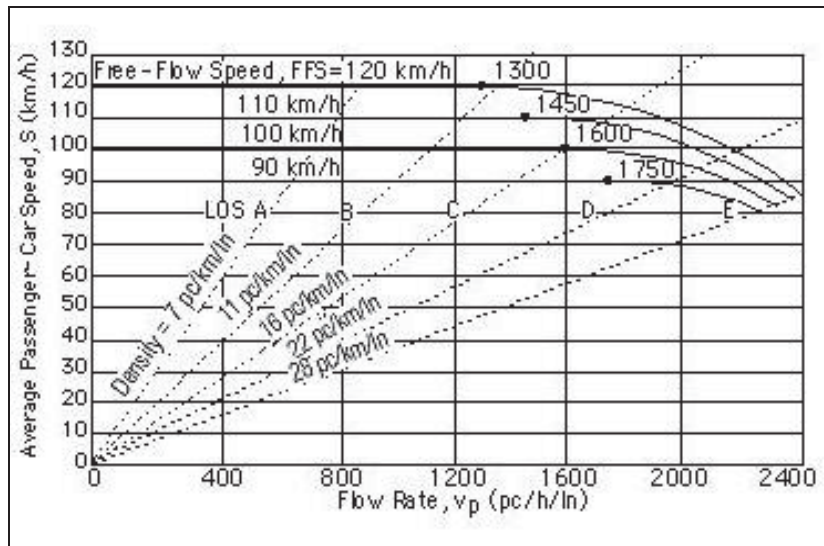


Figura A: Modelo de Capacidad de Autopistas HCM 2000

Tabla A
Niveles de Servicio para Autopistas según HCM 2000

EXHIBIT 23-2. LOS CRITERIA FOR BASIC FREEWAY SEGMENTS					
Criteria	LOS				
	A	B	C	D	E
FFS = 120 km/h					
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
FFS = 110 km/h					
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
FFS = 100 km/h					
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
FFS = 90 km/h					
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
Note: 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.					

Fuente: HCM 2000