

DETERMINACION DE UN MODELO DE ELECCION DE PISTA PARA EL BUS DIRECTO EN PRESENCIA DE FLUJO MIXTO

Claudio Sepúlveda C., Juan Enrique Coeymans A.

Pontificia Universidad Católica de Chile, Departamento de Ingeniería de Transporte.

Vicuña Mackenna N° 4860, Santiago, Chile.

Fono: (+56-2) 686-4818, E-mail: csepulve@ing.puc.cl, jec@ing.puc.cl

RESUMEN

El trabajo tiene por objetivo entregar los estudios y análisis realizados para generar modelos de elección de pista para los buses que siguen derecho en presencia de flujo mixto. En particular este trabajo se centra en el estudio de los fenómenos producidos por la interacción entre automóviles y buses en intersecciones semaforizadas.

El fenómeno de elección de pista es de gran importancia, ya que se ha determinado que la capacidad de las vías depende de la composición del flujo vehicular que circula por cada una de las pistas de un acceso semaforizado. Sin embargo, cuando se quiere determinar los parámetros de capacidad en vías y pistas nuevas, al no disponerse de mediciones que cuantifiquen el porcentaje de transporte público en cada pista, no podría realizarse la estimación si no se ha hecho una asignación racional previa de buses a cada pista.

Este estudio se centra en el análisis de modelos de elección en accesos semaforizados de dos y tres pistas, con presencia de flujo directo de transporte público. Se estudió los casos con los tres movimientos permitidos. La unidad de medición utilizada correspondió a la descarga producida en cada ciclo de semáforo, siendo la variable dependiente el porcentaje de buses que utiliza cada pista.

Se comprobó que a medida que aumenta el porcentaje de vehículos que viran desde cierta pista, disminuye la elección de buses que la eligen. En segundo lugar, la elección de pista se ve condicionada por el porcentaje de transporte público presente en la descarga. En tercer lugar, la pista derecha es siempre la que tiene el mayor porcentaje de transporte público. Finalmente, se encontraron relaciones matemáticas que explican el comportamiento para los casos de dos y tres pistas obteniéndose resultados satisfactorios. Los modelos producidos podrán emplearse en ingeniería de transporte en áreas como gestión y diseño de intersecciones semaforizadas.

1.- INTRODUCCION

1.1 Objetivos y Alcances

Los objetivos del presente trabajo son diseñar modelos de comportamiento para la elección de pistas de buses directos, (aquellos buses que no se ven influenciados por maniobras de viraje en su elección de pista de circulación) en pistas múltiples con presencia de flujo mixto. En el caso de los autos en flujo mixto, la elección de pista se hace casi siempre por igualdad de saturación. Este esquema no es válido para el caso de los buses.

En particular, esta investigación se concentra en el estudio de los fenómenos producidos por la interacción entre automóviles (vehículos livianos) y buses (vehículos pesados) en la elección de pistas que realizan los buses en las intersecciones semaforizadas. No se analizan todos los casos sino que se concentra en los buses que fluyen directo, los cuales son la gran parte de los buses que enfrentan una intersección. El caso de los buses que viran obviamente es el de buses que necesariamente en la mayor parte de las ocasiones escogerán la pista derecha o izquierda respectivamente, por razones del movimiento a realizar.

En lo que respecta a los factores que condicionan el comportamiento de los buses en la elección de pista, se incorporó en esta investigación los siguientes factores de interés: ancho de pista, porcentajes de viraje y proporción de transporte público en el flujo, dejándose fuera del alcance de esta investigación por motivos de costos y tiempo requerido para obtener un volumen de datos adecuado, la presencia de paraderos cercanos al acceso analizado, período de medición, buses que efectúan maniobras de viraje izquierda y derecha, y el efecto producido en la elección de pista en la descarga anterior.

1.2 Contenido

Aparte de este primer capítulo, que entrega los objetivos, alcances y contenido, el trabajo comprende otros cuatro capítulos.

El segundo capítulo, contiene el telón de fondo de lo investigado sobre este tema y fundamenta las preguntas quiere contestar el trabajo.

El tercer capítulo, comprende el diseño del experimento y las hipótesis que se pretende demostrar a lo largo del estudio, describiéndose las principales características del experimento.

Los resultados de los ajustes realizados a los datos con los modelos matemáticos correspondientes se entregan en el capítulo cuarto.

Por último en el quinto capítulo, se encuentran las principales conclusiones y recomendaciones.

2.- TELON DE FONDO

El tema que nos ocupa, tiene dos vertientes como telón de fondo: por una parte la elección de pista por parte de los vehículos en el caso de dos o mas pistas disponibles para la descarga, y por otro lado, los

aportes que se hicieron sobre flujos de saturación y vehículos equivalentes en condiciones de tráfico mixto.

En las investigaciones realizadas por Bartel et al (1997), se vio la necesidad de saber como se distribuyen los buses en las pistas frente a un semáforo: Los flujos de saturación así como los factores de equivalencia de vehículos salieron dependientes del porcentaje de transporte público presente en cada pista.

Para el caso de un cruce semaforizado existente, simplemente se mide la proporción de buses presentes y el problema se resuelve fácilmente. Para el caso de calles nuevas, o de nuevos semáforos que se instalen, se requiere una predicción de los buses que ocuparán cada pista, a fin de estimar los parámetros de capacidad debidamente. De ahí la importancia de predecir la elección de pista por parte de los buses.

La mayoría de los modelos de simulación de tráfico tienen algún tipo de sistema que permite la representación de esquemas de exclusividad o prioridad, en el uso de las pistas por algún tipo de vehículos. Algunos de ellos necesitan la definición de pista de bus, como un arco separado paralelo a los arcos en los que los otros vehículos se encuentran asignados (Robinson, 1972), otros son más explícitos, MITSIM, por ejemplo, tiene un recurso en el que se privilegia el uso de la pista, el cual especifica los tipos de vehículos que pueden circular por ella. (Yang and Koutsopoulos, 1996, 116).

El modelo SIBULA puede representar buses en pistas exclusivas o en tráfico mixto y evaluar una variedad de técnicas aplicables a situaciones con alto nivel de flujo (Lindau, 1984). Sin embargo, las situaciones en las cuales las pistas de buses son usadas por vehículos no autorizados a hacerlo son mucho más frecuentes de lo esperado. En un contexto de un alto porcentaje de buses, lo cual es el caso de muchas ciudades en países en vías de desarrollo, los flujos de buses pueden usar una o más pistas para su uso exclusivo, aún sin que se trate de pistas exclusivas (Gibson, 1989; et al; 1989, 1997).

Respecto a la decisión de cambios de pista, Gipps (1981) plantea un modelo microscópico de comportamiento para vehículos privados. Dicho modelo se basa principalmente en la respuesta a tres interrogantes: ¿ Es posible cambiarse de pista? ¿ Es necesario cambiarse de pista ? ¿ Es deseable cambiarse de pista?.

Bartel et al (1997), postulan que los vehículos en general realizan la elección de pista, de acuerdo a dos principios básicos: el primero de ellos corresponde al requerimiento de destino del viaje realizado; el segundo principio responde a la percepción de la demora sufrida en cada pista, hecho que se refleja en el largo de la cola existente en la pista, así como en otras características ambientales.

El criterio de elección y utilización de pistas se puede resumir en un solo concepto, denominado: "equisaturación", el cual supone que los vehículos realizan dicha elección de manera de igualar el grado de saturación existente en cada pista (Akcelik, 1981), pero de verdad, solo los vehículos livianos o automóviles que siguen directo así como los camiones en una intersección, realizan el proceso de elección de pistas de acuerdo al criterio de comportamiento explicado anteriormente.

El comportamiento de los buses está condicionado principalmente, por el hecho de tomar y dejar pasajeros no sólo en las paradas formales o paraderos, sino que, prácticamente en todas las esquinas semaforizadas de sus recorridos. Lo anterior lleva a que los buses opten preferentemente por las pistas

derechas, mientras que las pistas centrales y/o izquierdas son utilizadas, mayoritariamente, para realizar maniobras de adelantamiento.

En Bartel et al (1997), se realizaron dos experimentos con el objeto de determinar algún tipo de criterio de elección de pistas por buses, el primero consistió en determinar el porcentaje de buses que efectivamente hace uso de cada una de las pistas que forman un acceso. Dichos experimentos dieron claras luces frente a los siguientes puntos:

- a) La elección de pistas realizada por este tipo de vehículos está orientada preferentemente hacia la pista derecha.
- b) El comportamiento de los buses no es igual en accesos de dos o tres pistas.
- c) La presencia de vehículos que realizan maniobras de viraje en el flujo del acceso es de gran importancia: el uso de las pistas derechas disminuye en promedio de un 20 a un 25 por ciento aproximadamente, dependiendo si el acceso posee tres o dos pistas respectivamente.

Con estos antecedentes como telón de fondo, se decidió hacer la investigación que a continuación se describe.

3.- DISEÑO DE EXPERIMENTOS

3.1 Preliminares

El diseño y realización de experimentos, consistió en la elección de lugares de medición, la recolección y validación de los datos, el procesamiento de la información y la determinación del modelo de elección de pista por buses.

3.2 Características de los Accesos Estudiados

Los accesos considerados en este estudio, tienen las siguientes características:

- Flujo de buses sólo directo (es decir sin presencia de buses que viren).
- Pavimento en buen estado, a fin de evitar posibles elecciones de pista por evitar algún desperfecto en la carpeta de circulación.
- No existencia de paraderos formales de transporte público, ya que estos influyen evidentemente en la elección de pista por parte de los buses. No se consideraron las descargas en las cuales existían buses tomando o dejando pasajeros.
- El viraje izquierda no debe bloquear la pista de circulación, de esta forma se pretende evitar situaciones de restricción de capacidad tanto de ejes de tres pistas, los cuales se comportarían como si tuvieran dos pistas, como de ejes de dos pistas, en los cuales se terminaría toda elección posible, debiendo los buses circular por la pista que permanece operativa.
- Debe ser factible realizar las mediciones en todos los períodos en el acceso escogido, por lo que ejes de tránsito variable o reversible quedaron excluidos.

Con las consideraciones anteriores, se procedió a agrupar los diferentes accesos en los siguientes ocho casos:

Cuadro N° 3.1
Casos Analizados

	Características
1	Dos pistas, sólo movimientos directos
2	Dos pistas, movimientos directo y derecha
3	Dos pistas, movimientos directo e izquierda
4	Dos pistas, movimientos directo, derecha e izquierda
5	Tres pistas, sólo movimientos directos
6	Tres pistas, movimientos directo y derecha
7	Tres pistas, movimientos directo e izquierda
8	Tres pistas, movimientos directo, derecha e izquierda

3.3 Recolección de Información en Terreno

Se decidió el uso de la videograbación en los experimentos realizados, principalmente porque registra el fenómeno mismo y no sólo la información recogida por observadores acerca de él. Esto permite luego recuperar más y mejores datos sobre el fenómeno estudiado.

Los datos obtenidos de las filmaciones son las que a continuación se señalan:

- N° de buses por cada pista
- N° de veh. livianos virando a la derecha en la pista 1
- N° de veh. livianos directos en la pista 1
- N° de veh. livianos directos en la pista 2
- N° de veh. livianos virando a la izquierda en la pista 2 (si no existe pista 3)
- N° de veh. livianos directos en la pista 3
- N° de veh. livianos virando a la izquierda en la pista 3

Junto con lo anterior, se midieron los anchos de cada pista para todos los accesos analizados.

3.4 Validación de la Base de Datos

Esta tarea consistió en la eliminación de todas aquellas descargas que tuvieran algún tipo de distorsión en cuanto al comportamiento en el uso de pistas tales como buses detenidos una vez que se ha dado la luz verde, descargas en las cuales algún tipo de vehículo se detenía a un costado de la calzada durante el período de verde correspondiente, obstruyendo dicha pista de circulación, descargas en las cuales peatones imprudentes la cruzaban en lugares no autorizados durante el período de verde, también fueron descartadas aquellas descargas en las cuales se producían detenciones de los vehículos que viraban para cederle paso a peatones que cruzaban.

3.5 Procesamiento de la Información

Una vez que la base de datos estuvo validada, eliminándose aquellas descargas con problemas, se procedió a definir las variables a partir de los datos obtenidos de terreno.

Una observación representa el flujo total descargado a lo largo de un período de verde de semáforo. De la base de datos validada se obtuvo un total de 622 observaciones

3.6 Hipótesis

Las hipótesis que se plantearon durante el desarrollo de este estudio son las que se describen a continuación.

- El comportamiento de los autos y camiones en la elección de pista, está condicionado por la minimización de su tiempo de viaje, mientras que la elección de pista por buses, se ve condicionada por otros factores tales como el hecho de tomar y dejar pasajeros, esto último lleva a que los buses normalmente circulen por la pista derecha (pista 1) ya que en dicha pista es donde se produce la transferencia de pasajeros y donde es menos complicada dicha maniobra. Por la razón explicada anteriormente, se esperaría que el mayor porcentaje de buses utilice la pista derecha, y este porcentaje disminuya hacia las pistas adyacentes.
- La elección de pista por buses, se ve también condicionada por el efecto producido por las maniobras de viraje que existan en dicha pista: al aumentar las maniobras de viraje, los buses tendrán que disminuir su velocidad de circulación, por lo que elegirán pistas adyacentes con mayor velocidad de circulación.
- Una variable importante en la elección de pistas por buses es el número de pistas presentes en el acceso: debiera esperarse que en la medida que aumente la capacidad del acceso, disminuirá el porcentaje de transporte público que elige la pista derecha.
- Finalmente otro factor importante en la elección de pista por buses, es el ancho de las pista de circulación. En la medida que aumente el ancho de pista, la proporción de buses que elige dicha pista aumentará, ya que se facilita la circulación de los buses.

4.- RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 Preliminares

Se formularon varios modelos multivariados lineales y no lineales, a través de un método o algoritmo iterativo de regresión múltiple no lineal. Por la dificultad en los modelos no lineales, se decidió recurrir al paquete estadístico E-Views 3.0, el cual posee diversos procedimientos de análisis de regresión. Este programa estima los parámetros de un modelo multivariado mediante la búsqueda de mínimos cuadrados.

4.2 Modelo General

En primer lugar se intentó un modelo lineal en los parámetros que fuese capaz de predecir la elección de pistas por buses considerando la totalidad de la muestra, es decir las 622 observaciones, el modelo planteado fue el siguiente para la primera pista (borde derecho).

$$Y_1 = \alpha + \beta \cdot porder + \gamma \cdot porizq + \delta \cdot tp + \xi \cdot ancho_1 + \Omega \cdot ancho_2 + \varphi \cdot pistas$$

- Y_1 : porcentaje de buses que escoge la pista 1

- $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \xi, \Omega, \varphi$: son los parámetros a estimar.
- **porder**: porcentaje de virajes a la derecha con respecto al flujo total de la pista 1
- **porizq**: porcentaje de virajes a la izquierda con respecto al flujo total de la pista de viraje izquierda.
- **tp**: porcentaje de transporte público con respecto al flujo total de la descarga
- **ancho1, ancho2**: ancho de pista 1 2 respectivamente.
- **pistas**: corresponde a una variable dummy que toma el valor 1 si el acceso tiene tres pista y 0 en otro caso.

El ancho de la pista 3, no aparece en la especificación, eso se debió a que si se incluía dicho ancho, el programa acusaba problemas de matriz singular.

Los valores obtenidos se encuentran en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 4.1
Estimadores de los Parámetros del Modelo
(Estadígrafo t-Student)

Parámetro	Valor	T-Student
α	0.088325	5.353834
β	-0.037008	-4.942110
γ	0.006931	0.888009
δ	0.542077	30.57516
ξ	0.013558	2.301457
Ω	-0.027405	-4.266550
φ	-0.038131	-11.42962
R^2 ajustado	0.679962	
F	220	

De los valores obtenidos para esta regresión, es importante destacar lo siguiente: el valor de bondad de ajuste para este modelo, es de un 68%, lo cual no es suficientemente satisfactorio; el Test de Fisher entregó un valor aceptable; β y γ , corresponden a los coeficientes que acompañan a la proporción de virajes a la derecha e izquierda respectivamente, dichos valores tienen distinto signo, esto indica que al aumentar el porcentaje de virajes a la derecha, los buses disminuirán la elección de la pista derecha, en el caso de los virajes izquierda sucede exactamente lo contrario, sin embargo el coeficiente de virajes izquierda no salió estadísticamente significativo. El porcentaje de transporte público fue la variable explicatoria más significativa de todas. Los coeficientes de ancho de pistas tienen los signos correctos y son significativos, el coeficiente φ corresponde al coeficiente que acompaña a la variable dummy ancho de pista, y es significativamente distinta de cero.

Dado que el porcentaje de virajes izquierda salió poco significativa, se optó por eliminar dicha variable del modelo, quedando el modelo, cuyos resultados se presentan en el siguiente cuadro.

$$Y_1 = \alpha + \beta \cdot porder + \delta \cdot tp + \xi \cdot ancho_1 + \Omega \cdot ancho_2 + \varphi \cdot pistas$$

Cuadro N° 4.2
Estimadores de los Parámetros del Modelo
(Estadígrafo t-Student)

Parámetro	Valor	T-Student
α	0.087061	5.297878
β	-0.037165	-4.965351
δ	0.545520	31.53838
ξ	0.011113	2.134189
Ω	-0.024492	-4.435823
φ	-0.036783	-12.38346
R ² ajustado	0.680072	
F	265	

Los resultados anteriores confirman lo explicado anteriormente respecto a los signos de los coeficientes: se puede apreciar que el transporte público es la variable explicativa con mayor nivel de significancia junto con la variable dummy número de pistas; el valor de R² disminuyó pero eso se debe a la eliminación de una de las variable que es el porcentaje de viraje a la izquierda.

A continuación se presenta el modelo de elección de pista por buses para la segunda pista y los valores de coeficientes respectivos.

$$Y_2 = \alpha + \beta \cdot porder + \gamma \cdot porizq + \delta \cdot tp + \xi \cdot ancho_1 + \Omega \cdot ancho_2 + \varphi \cdot pistas$$

Cuadro N° 4.3
Estimadores de los Parámetros del Modelo
(Estadígrafo t-Student)

Parámetro	Valor	T-Student
α	-0.086905	-5.569145
β	0.026126	3.688572
γ	0.002460	0.333190
δ	0.401279	23.92877
ξ	-0.005882	-1.055702
Ω	0.021448	3.530193
φ	0.030152	9.555018
R ² ajustado	0.562931	
F	134	

De los resultados obtenidos, se puede ver que la bondad de ajuste empeoró con respecto al modelo de elección para la pista 1. Las variables porcentaje de virajes izquierda y ancho de la pista 1, no dieron significativas, por lo que se eliminaron del modelo.

A continuación se presenta el modelo de elección de pista 2, considerando sólo aquellas variables significativas.

$$Y_2 = \alpha + \beta \cdot porder + \delta \cdot tp + \Omega \cdot ancho_2 + \varphi \cdot pistas$$

Cuadro N° 4.4
Estimadores de los Parámetros del Modelo
(Estadígrafo t-Student)

Parámetro	Valor	T-Student
α	-0.094682	-6.486283
β	0.023218	3.430519
δ	0.399606	24.62669
Ω	0.017930	4.447573
φ	0.029866	10.84402
R^2 ajustado	0.565754	
F	201	

Todos las variables son significativas al 95% de nivel de confianza, todos los coeficientes excepto la constante tienen signo positivo. El valor del coeficiente de transporte público es el más alto como también su nivel de significancia, con lo cual se cumple para ambos modelos, elección de pista 1 y elección de pista 2, que la variable más importante en la elección de pista por buses depende de la composición del tráfico (porcentaje de transporte público).

Con los modelos de elección expuestos, la determinación del porcentaje de buses que elige la tercera pista, se puede obtener realizando la diferencia entre el porcentaje de transporte público menos la proporción de buses que elige pista 1 y pista 2.

Dado que los valores de R^2 ajustado en ambos modelos no fueron satisfactorios, se decidió realizar un análisis para accesos de dos y tres pistas por separado.

4.3 Modelo para Accesos de Dos Pistas

La base de datos completa se subdividió en dos bases de datos, una con todas las descargas de dos pistas y la otra con las descargas en el caso de tres pistas de circulación.

En los accesos con dos pistas basta con encontrar un modelo de elección de la pista 1 (pista derecha), y se puede obtener por diferencia el porcentaje de buses que elige la pista 2

En primer lugar se corrió un modelo con todas las variables involucradas, es decir porcentajes de virajes izquierda y derecha, anchos de pista y porcentaje de transporte público, el modelo que se probó fue el siguiente:

$$Y_1 = \alpha + \beta \cdot porder + \gamma \cdot porizq + \delta \cdot tp + \xi \cdot ancho_1 + \Omega \cdot ancho_2$$

Cuadro N° 4.5
Estimadores de los Parámetros del Modelo
(Estadígrafo t-Student)

Parámetro	Valor	T-Student
α	-0.02411	-1.283657
β	-0.037635	-3.863068
γ	0.032073	2.879456
δ	0.787581	35.00554
ξ	0.022539	0.860533
Ω	-0.013689	-0.558666
R^2 ajustado	0.847642	
F	339	

De los resultados obtenidos se puede apreciar que la bondad de ajuste mejoró notablemente con respecto al modelo general, lo mismo ocurre con el test F (test de Fisher), sin embargo en este modelo los coeficientes de ancho de pistas no son significativos, pero su signo es el correcto; los coeficientes que acompañan a la proporción de virajes derecha e izquierda son parecidos entre sí en valor absoluto, pero con signo cambiado, aunque el parámetro acompañante a la proporción de virajes a la derecha es más significativo que los virajes izquierda. El porcentaje de transporte público al igual que en el modelo general tiene signo positivo y es la variable con mayor significancia estadística.

A continuación se adjunta un modelo de elección de pista (pista 1), considerando sólo aquellas variables con un nivel de significancia superior al 95%, es decir sin las variables de ancho de pista.

$$Y_1 = \alpha + \beta \cdot porder + \gamma \cdot porizq + \delta \cdot tp$$

Cuadro N° 4.6
Estimadores de los Parámetros del Modelo
(Estadígrafo t-Student)

Parámetro	Valor	T-Student
α	0.008763	2.332673
β	-0.029963	-3.423932
γ	0.030046	2.982104
δ	0.775665	36.07835
R^2 ajustado	0.847035	
F	562	

A fin de lograr una modelación mas ajustada, con las variables explicativas del modelo lineal anterior, se procedió a buscar el mejor modelo que se ajuste a los datos para accesos de dos pistas. Se probaron funciones logarítmicas, cuadráticas, polinomiales y logísticas. El resultado encontrado fue una función en que la proporción de transporte público se comporta como una función logística como se muestra a continuación.

$$Y_i = \alpha + \beta \cdot porder + \gamma \cdot porizq + \frac{\delta}{1 + \exp^{(\xi + \varphi \cdot tp)}}$$

Cuadro N° 4.7
Estimadores de los Parámetros del Modelo
(Estadígrafo t-Student)

Parámetro	Valor	T-Student
α	-0.045478	-1.056233
β	-0.028960	-3.316932
γ	0.027546	2.728487
δ	0.404043	4.415568
ξ	1.614463	3.861204
φ	-8.522975	-3.755878
R^2 ajustado	0.848624	
F	341	

4.4 Modelos para Accesos de Tres Pistas

De igual forma que para los accesos de dos pistas, se procedió en primer lugar a generar un modelo general con todas las variables explicativas, dicho modelo es el que se muestra a continuación:

$$Y_i = \alpha + \beta \cdot porder + \gamma \cdot porizq + \delta \cdot tp + \xi \cdot ancho_1 + \Omega \cdot ancho_2$$

Cuadro N° 4.8
Estimadores de los Parámetros del Modelo
(Estadígrafo t-Student)

Parámetro	Valor	T-Student
α	0.004671	0.094825
β	-0.030386	-2.391966
γ	0.007381	0.790170
δ	0.374457	15.57133
ξ	0.027318	3.835441
Ω	-0.020833	-1.651041
R^2 ajustado	0.571777	
F	83	

Este modelo con respecto al modelo general de dos y tres pistas mejoró su bondad de ajuste y al igual que en dicho modelo el porcentaje de virajes izquierda no es significativo, pero el signo de este coeficiente es correcto. Esta variable ha perdido significancia debido a que al haber un aumento en la capacidad del acceso, las opciones de uso de pista por los buses aumenta, de manera que lo que ocurre en la tercera pista ya no es tan relevante. Se debe recordar que los buses normalmente circulan por la pista derecha. La constante salió poco significativa, sin embargo para efectos de correr el paquete estadístico, no se puede eliminar, ya que en dicha constante se encuentran los errores residuales que no se pueden explicar con las variables aquí definidas.

A continuación se entrega el modelo sin considerar el porcentaje de virajes a la izquierda.

$$Y_1 = \alpha + \beta \cdot porder + \delta \cdot tp + \xi \cdot ancho_1$$

Cuadro N° 4.9
Estimadores de los Parámetros del Modelo
(Estadígrafo t-Student)

Parámetro	Valor	T-Student
α	-0.063877	-2.995270
β	-0.016952	-1.866149
δ	0.369336	16.27601
ξ	0.027854	4.412483
R^2 ajustado	0.563853	
F	137	

Después de realizar una gran cantidad de especificaciones se logró finalmente calibrar un modelo de elección de pista 1 y pista 2 para accesos de tres pistas, en dichos modelos dejó de ser significativo el ancho de pista, por lo que la elección de pistas por buses, sólo depende de la composición del tráfico en términos de proporción de transporte público y del porcentaje de virajes.

A continuación se encuentran los modelos definitivos encontrados para el caso de tres pistas.

$$Y_1 = \alpha + \beta \cdot porder + \gamma \cdot porder^2 + \varphi \cdot tp + \delta \cdot tp^2 + \xi \cdot porder \cdot tp$$

Cuadro N° 4.10
Estimadores de los Parámetros del Modelo para la Pista 1 en el caso de Tres Pistas
(Estadígrafo t-Student)

Parámetro	Valor	T-Student
α	-0.001570	-0.228190
β	0.083779	2.952908
γ	-0.136433	-3.359742
φ	0.778244	10.60848
δ	-0.940224	-5.450546
ξ	-0.241317	-1.998319
R^2 ajustado	0.588412	
F	312	

$$Y_2 = \alpha + \gamma \cdot porizq + \delta \cdot tp + \xi \cdot tp^2$$

Cuadro N° 4.11
Estimadores de los Parámetros del Modelo para la Pista 2 en el caso de Tres Pistas
(Estadígrafo t-Student)

Parámetro	Valor	T-Student
α	-0.008288	-1.547506
γ	0.017465	2.463225
δ	0.296018	4.795542
ξ	0.562806	3.543562
R^2 ajustado	0.677434	
F	222	

6.- CONCLUSIONES

Las principales conclusiones son las siguientes:

- a) Con respecto al objetivo de determinar modelos el proceso de elección de pistas por buses en presencia de tráfico mixto, dada la influencia de tráfico mixto y otros factores distorsionadores de las condiciones de normalidad del comportamiento del flujo vehicular, se logró determinar un modelo para el caso de accesos de dos pistas y otros para el caso de accesos de tres pistas, los que incorporan todos los factores analizados en este trabajo: ancho de pista, tipo de pista, porcentaje de virajes y proporción de buses en el flujo.

Así, los resultados obtenidos en esta investigación pueden ser directamente ocupados en las formulas de Bartel et al (1997), para determinar el intervalo de descarga y de esa manera el flujo de saturación de intersecciones semaforizadas para el caso en que no se conozcan los flujos actuales.

- b) Se pudo comprobar que en todas las descargas analizadas de dos y tres pistas, el porcentaje de buses que elige pista derecha (pista 1), es mucho mayor que el porcentaje de buses que elige las pistas adyacentes (pistas 2 y 3).
- c) Se pudo comprobar que efectivamente la elección de pistas se ve afectada por las maniobras de viraje, ya que dicha variable fue significativa al 95% de nivel de confianza y con el signo del coeficiente esperado.
- d) También se pudo constatar que al aumentar el número de pistas del acceso, la proporción de buses que circula por la pista derecha tiende a disminuir.
- e) En todos los modelos calibrados tanto para accesos de dos y tres pistas, resultó ser el porcentaje de transporte público la variable explicatoria más significativa.
- f) Del estudio realizado, se obtuvieron modelos diferentes para el caso de dos y el caso de tres pistas. En efecto para los accesos de dos pistas el mejor modelo obtenido comprende una función de tipo logística para la proporción de transporte público. Para los accesos de tres pistas, los resultados obtenidos no fueron tan satisfactorios como en el caso anterior, sin embargo el modelo que describe la elección de pista 2, entregó valores estadísticos aceptables.

BIBLIOGRAFIA

Akcelik, R. (1981) Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis. ARRB, Research Report ARR N°123. Australian Road Research Board.

Bartel G., J. E. Coeymans y J. Gibson (1997) Reformulación del método de regresión sincrónico para la estimación de parámetros de capacidad en una intersección semaforizada bajo condiciones de tráfico mixto. Actas VIII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte, Octubre 1995.

Gibson J, G. Bartel, J.E. Coeymans (1997) Redefinición de los parámetros de capacidad en intersecciones semaforizadas. Actas VIII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte, Octubre 1995.
Gibson, J (1989) Principios para la modelación de flujo de buses en redes de tráfico urbano. Actas del V Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte. Mayaguez, Julio 1989.

Gibson, J, I. Baeza y L. Willumsen (1989) Paradero de buses en situaciones de congestión. Traffic Engineering + Control 30 (6), 291-302.

Gipps, P G (1981) A behavioural car following model for computer simulation. Transportation Research, 15B (2), 105-111.

Lindau, L. A. (1984) Um modelo microscópico de tráfego urbano. Actas del III Congresso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte. Sao Paulo Septiembre 1984.

Qi Yang and Harris Koutsopoulos (1996) A microscopic traffic simulator for evaluation of dynamic traffic management system. Transportation Research, 4C(3),113-129.