

VELUC: UN MODELO DE ESTIMACION DE VELOCIDADES LIBRES EN ARCOS

Juan Enrique Coeymans A.
María Teresa Hudson U.
Pontificia Universidad Católica de Chile
Casilla 306, Santiago 22, Chile

RESUMEN

A partir de una investigación para validar y calibrar el modelo TRANSYT en el entorno de un país en desarrollo, donde la componente de buses es muy grande en los flujos vehiculares de los ejes arteriales, se vio la necesidad de investigar las definiciones operacionales de varios parámetros de tráfico que alimentan normalmente a muchos modelos de tráfico. Una de las variables investigadas fue la denominada velocidad libre sobre los arcos.

El trabajo describe la investigación realizada acerca de las velocidades libres sobre los arcos en vías en las cuales se encuentra una gran interferencia de buses al desplazamiento de los vehículos, así como el modelo computacional diseñado e implementado para poder estimar semiautomáticamente las velocidades libres, de acuerdo a las nuevas definiciones.

En primer lugar se analiza el telón de fondo del problema planteado, describiendo la definición tradicional así como la nueva definición propuesta. Luego se entrega una descripción del algoritmo propuesto para la estimación de las velocidades libres, a través de la recolección semiautomática con un registrador de eventos.

Se adjunta asimismo una descripción del programa computacional diseñado (VELUC), el cual tiene muchas características de un modelo del tipo de sistemas expertos desarrollados recientemente en el área de tráfico. A continuación se muestran algunos resultados obtenidos con el programa VELUC en comparación con los resultados que se obtienen de un procesamiento manual y tedioso de los datos recogidos, obteniéndose resultados sumamente parecidos que no difieren más allá de un 3 por ciento, lo cual es absolutamente aceptable en este tipo de parámetros.

Finalmente se entregan las principales conclusiones obtenidas con toda la investigación.

1. INTRODUCCION

1.1 Objetivos y Alcances del Trabajo

Los objetivos del trabajo son entregar una nueva definición de la velocidad de flujo libre en arcos, proponer una metodología de recolección de datos, y caracterizar el programa VELUC para procesar los datos, el cual permite automáticamente obtener resultados, que de otra forma sólo un experto podría producir.

No se entregan ni los programas ni los detalles computacionales, y se insiste en el trabajo más bien en las consideraciones metodológicas y en las hipótesis y supuestos subyacentes.

1.2 Contenido

Aparte de esta introducción, el trabajo comprende otros cinco puntos. En el punto 2 se describe el telón de fondo del problema de medir velocidades de flujo libre. En el punto 3 se entrega el esquema general del método propuesto. El programa computacional VELUC se describe en el punto 4. Algunos resultados y sensibilidades realizadas para verificar la robustez de VELUC se entregan en el punto 5, y finalmente en el punto 6 se listan las conclusiones más relevantes.

2. TELON DE FONDO

2.1 Preliminares

El concepto de "velocidad de flujo libre", ha sido empleado por diferentes autores para diversos modelos de simulación de tráfico (Robertson, 1969; Brilon, 1970; Logie and Sawson, 1983; Robertson, 1975; Pierce and Wood, 1977).

Aunque su definición es sencilla como veremos más adelante, no es sin embargo fácil conseguir una estimación ajustada a través de mediciones en terreno.

Mientras se realizaba un estudio para calibrar TRANYST en situaciones donde había mucha interferencia de buses en los flujos sobre los enlaces, se vio que el empleo de la definición tradicional de velocidad de flujo libre, así como la forma de estimarla a partir de mediciones, presentaba serias deficiencias y numerosas complicaciones. Aún más, se vio que al calibrar las velocidades de flujo libre, los valores calibrados se parecían extraordinariamente a los valores que se habrían obtenido de los datos recogidos, siempre que se hubiera adoptado otra definición de qué es velocidad de flujo libre en flujos con mucho transporte público.

La experiencia anterior llevó a realizar, implementar computacionalmente y verificar la efectividad, de una herramienta computacional, que sin ser un sistema experto, se le asimilaba bastante, y que permitiera, a través de un sistema sencillo de recolección de datos con un registrador de eventos (Journey Event Recorder), estimar en forma razonable la velocidad de flujo libre en arcos, para ser empleada en los diferentes modelos de simulación de tráfico.

2.2 Definición de Velocidad de Flujo Libre Tradicional

La velocidad de flujo libre tradicionalmente ha sido definida como la velocidad promedio que alcanza un vehículo después de la aceleración inicial y sin la interferencia de otros semáforos.

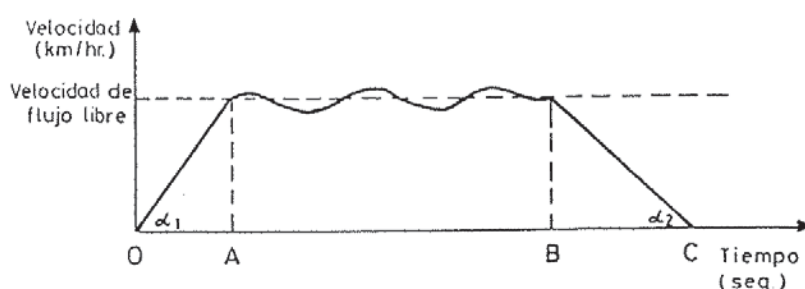


Figura 1: Perfil Velocidad - Tiempo

En la Figura 1 se observa que luego de una aceleración inicial $a_1 = \text{tg } \alpha_1$ a partir de 0, el vehículo alcanza una velocidad de flujo libre en el punto A. Esta se mantiene hasta el punto B, donde luego el vehículo frena con una desaceleración $a_2 = \text{tg } \alpha_2$ hasta el punto C donde se detiene.

La velocidad promedio desarrollada entre los puntos A y B se denomina velocidad de flujo libre. Para obtener su valor, se definen en un enlace los puntos A y B geográficamente y luego se hacen mediciones del tiempo que demoran los vehículos en recorrer esta distancia. La distancia entre los puntos A y B se divide por el tiempo de cada medición y se obtiene la velocidad. Luego se promedian todos los valores de velocidad obtenidos en las distintas mediciones y se obtiene un valor promedio de la velocidad de flujo libre sobre el arco respectivo.

Sin embargo esa definición tan clara en la Figura 1, no es tal cuando el problema se traslada al caso de los buses en vías con alta proporción de transporte público.

En la Figura 2, podemos ilustrar en forma sencilla una situación típica que puede experimentar un bus en un eje arterial de la ciudad de Santiago.

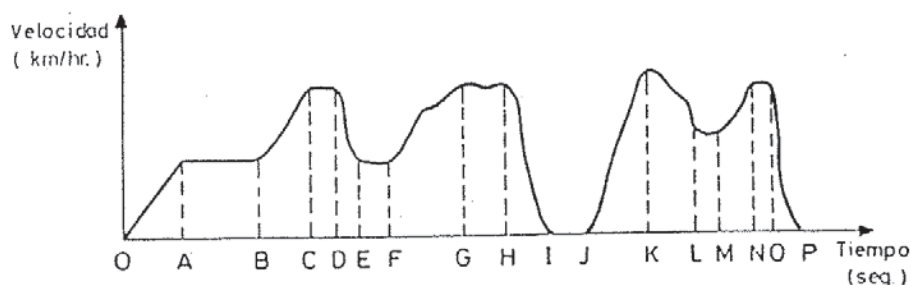


Figura 2: Perfil Velocidad - Tiempo

En la Figura 2 el vehículo (un bus) parte en 0 y acelera hasta A, continúa a velocidad constante hasta B ya que es interferido por otros buses, adelanta a esos buses que le interfieren en B, lo que produce una aceleración hasta el punto C. De C a D mantiene constante la velocidad por algunos segundos. El vehículo se enfrenta nuevamente a interferencia de buses pero esta vez debe frenar hasta el punto E. Mantiene su velocidad hasta F donde logra adelantar a los buses acelerando hasta G, por pocos instantes mantiene una velocidad pareja hasta H. Debe recoger un pasajero por lo que desacelera hasta I y permanece detenido hasta J, donde su recorrido comienza nuevamente.

El aplicar la definición tradicional a este tipo de perfiles lleva a cometer errores muy significativos, ya que al simular con TRANSYT por ejemplo, aparecen subestimaciones de la velocidad, al menos cuando se trata de calibrar a través de los histogramas de flujo cíclico.

2.3 Nueva Definición de Velocidad de Flujo Libre

La definición que se ha propuesto es la siguiente:

"La velocidad de flujo libre para buses (autos), en enlaces con zonas de alta fricción de transporte público, es la velocidad promedio alcanzada por un vehículo, sin contar los efectos de la aceleración inicial o frenado debido a semáforos y paraderos".

Para explicar lo anterior, en la Figura 3 (al final de este trabajo) se muestra en la parte superior los tramos en tiempo t_i que se consideran en el método tradicional a fin de calcular la velocidad de flujo libre (es decir sólo las mesetas superiores). En la parte inferior se ven los tramos t_i tomados en cuenta para la determinación de la velocidad de flujo libre. En este caso se ha incorporado a las interferencias y también a la aceleración de frenado de paradas cortas, incluyéndose, debido a los requerimientos de TRANSYT una sola detención a la cual se suman los tiempos de otras detenciones. La velocidad a obtener es obviamente menor en el caso de la definición nueva en comparación con la tradicional.

3. ESQUEMA GENERAL DEL METODO PROPUESTO

3.1 Preliminares

El método de medición y estimación de los datos se basa en la recolección de la información relevante sobre los vehículos en las calles a ser estudiadas, a través de un Registrador de Eventos a fin de descartar las aceleraciones iniciales y desaceleraciones finales y también el tiempo total parado debido a múltiples paradas ajenas a los efectos de un semáforo.

Se puede distinguir las siguientes etapas en el método computacional que se diseñó:

- a) definición de eventos influyentes en la velocidad desarrollada
- b) recolección de la información relevante a lo largo de un enlace

- c) determinación de los parámetros de aceleración y frenado característicos de una calle o ciudad.
- d) determinación de la velocidad de flujo libre.

3.2 Definición de los Eventos

Se han definido los eventos relevantes que producen alteraciones en la velocidad desarrollada por los vehículos. A cada uno de ellos se le ha asociado un número. Esta información es necesaria para poder discriminar las variaciones de la velocidad que lleva un vehículo y poder descartar aquellas que producen distorsiones.

Los eventos que se han distinguido corresponden a:

- línea de parada inicial del enlace
- línea de parada final del enlace
- partida de luz verde
- frenado por luz roja
- detención por pasajeros (buses)
- situación inesperada

3.3 Método de Recolección de la Información

Para obtener la velocidad que desarrollan los vehículos a lo largo de un enlace, se instala en un vehículo un registrador de eventos debidamente calibrado. Para tipificar la velocidad promedio se utiliza el método de 'seguimiento del vehículo' propuesto por Wardrop y Charlesworth (1954) modificado. Se han introducido ciertas modificaciones a este método ya que debido al corto espaciamiento entre las intersecciones, se pueden producir confusiones en la determinación de los puntos inicial y final que determinan el tramo sobre el cual se define la velocidad de flujo libre (mesetas) (ver Coeymans, 1991).

El instrumento instalado en el vehículo (Journey Event Recorder) lleva el registro del tiempo y la distancia cada segundo y entrega la velocidad instantánea de los vehículos. También se pueden registrar adicionalmente eventos especiales que ocurran en determinados momentos. Este instrumento no tiene mayor problema para su calibración, ya que ésta se hace en función del diámetro de las ruedas del vehículo en el cual es montado para realizar las mediciones.

Un elemento necesario a considerar es el tener los parámetros de aceleración y frenado. A partir de los perfiles de flujo obtenidos en calles normales o características, que puedan representar la realidad observada se obtienen los parámetros de tiempo de aceleración inicial hasta alcanzar la velocidad de flujo libre I_1 y de desaceleración final antes de detenerse frente a una luz roja I_2 .

3.4 Procesamiento de Datos

Una vez obtenido el perfil de velocidades de un determinado vehículo se deben distinguir los intervalos de tiempo t_i que serán tomados en cuenta. Para ésto se debe definir el tiempo de las aceleraciones y las desaceleraciones, así como los tiempos de detención de paradas no relacionadas con un semáforo. Luego se obtendrá la velocidad libre sumando todas las distancias relevantes y dividiéndolas por la suma de los tiempos relevantes. Cabe recordar que la velocidad de flujo libre que se quiere determinar es la velocidad media espacial.

Esto es, si se han realizado m perfiles de velocidades, en un perfil j de ellos, la velocidad libre V_j dados los segmentos de tiempo incluidos en el cálculo t_{ij} y las respectivas distancias d_{ij} será:

$$V_j = \frac{\sum_{i=1}^n d_{ij}}{\sum_{i=1}^n t_{ij}} \quad (1)$$

y la velocidad libre promedio para ese enlace será:

$$\bar{V} = \frac{\sum_{j=1}^m v_j}{m} \quad (2)$$

La desviación estándar estará dada por

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (\bar{V} - V_j)^2}{m-1}} \quad (3)$$

Para llegar a determinar la velocidad libre para una enlace se deben hacer varias mediciones sobre el mismo y calcular para cada una de ellas. El número de mediciones dependerá del intervalo de confianza que se desee.

Este método puede hacerse en forma manual, pero en general son tantos los enlaces sobre los que deben realizarse numerosísimas mediciones, además que deben emplearse criterios que no necesariamente pueden ser bien comprendidos por personas no expertas, que la necesidad de automatizar y por lo tanto facilitar el proceso con una correcta producción de resultados aparece como imperiosa. Ese es el motivo principal que llevó al diseño e implementación del programa VELUC que se describe a continuación. 352

4. PROGRAMA VELUC

4.1 Supuestos e Hipótesis

Es necesario, a fin de simplificar la programación y darle una cierta uniformidad al problema, hacer algunos supuestos.

Para determinar los intervalos a descontar por la aceleración inicial debido a luz verde y frenado debido a luz roja, se utilizan los parámetros entregados por el usuario. En caso de que éste no posea dicha información, los valores por defecto que asumirá el programa son los obtenidos por Coeymans (1991) para la Avenida Recoleta y para varias calles de Santiago. Estos valores son:

Tiempo de aceleración: 12 segundos

Tiempo de desaceleración: 8 segundos

Asimismo, según se explicó en el punto anterior se asumió la existencia de los siguientes eventos:

Evento 00: Cruce de una Línea de Parada que defina un enlace

Evento 11: Partida después de luz verde

Evento 22: Frenado debido a luz roja

Evento 33: Detención para recoger o dejar pasajeros (sólo buses)

Evento 77: Evento extraordinario

Los números asociados a los distintos eventos se definieron así para facilitar la tarea al operador del Journey Event Recorder. Los eventos se deberán marcar cuando alguna variación en la velocidad que lleva el vehículo sea condicionada por alguno de estos eventos. Por ejemplo el evento 11 (luz verde) deberá marcarse sólo cuando el auto comience a moverse.

Cada uno de estos eventos lleva asociado el tratamiento que se le dará a la información recogida antes, durante y después de ocurrido el evento.

En el caso de las paradas parciales o paradas menores sólo se descuenta el tiempo que el vehículo permanece detenido. Y en el caso de las detenciones o paradas mayores debido a pasajeros se deduce el tiempo detenido así como el tiempo por aceleración después de la detención y de frenado antes de la detención. Se asumirá este tiempo igual al tiempo de aceleración y frenado debido a semáforo.

En el caso en que no llegue a producirse una detención completa, esto es, que los vehículos no se detengan completamente en la línea de parada se modificó la definición del intervalo de tiempo a descontar por aceleración y frenado. Se asumió que la interferencia de un semáforo o detención afecta desde el punto en que se desciende al mismo valor de la velocidad a que se llega a partir de la aceleración inicial en el intervalo anterior.

Para la nueva meseta, simplemente se continúa con la cota de la meseta anterior. En la Figura 4 puede verse la situación descrita anteriormente.

De esta manera el tiempo efectivo entre líneas de parada queda determinado por:

- ΔT entre líneas de parada
- Δt de aceleración inicial por efecto de luz verde
- Δt de frenado final por efecto de luz roja
- Δt de tiempo detenido por cualquier motivo
- Δt de aceleración debido a parada a tomar o dejar pasajeros
- Δt de frenado debido a parada a tomar o dejar pasajeros

De la misma forma la distancia efectiva entre líneas de parada quedará determinada por:

- ΔD entre líneas de parada
- Δd de aceleración inicial por efecto de luz verde
- Δd de frenado final por efecto de luz roja
- Δd de tiempo detenido por cualquier motivo
- Δd de aceleración debido a parada a tomar o dejar pasajeros
- Δd de frenado debido a parada a tomar o dejar pasajeros

4.2 Estructura de la Información

Debido a que los datos de entrada están registrados segundo a segundo se diseñó una lista de registros con la información de cada intervalo de esa duración. Cada registro contiene la distancia recorrida en ese intervalo, el evento ocurrido en ese intervalo y una variable que indicará si este intervalo debe ser considerado o no en la determinación de la velocidad de flujo libre.

En la Tabla 1 se puede entender para dos casos diferentes lo explicado anteriormente

Tabla 1. Forma del listado de registros

	1	2	3	4	5	6		13
Distancia	2	3	4	5	5	6		10
Evento	11					00		
Activo	N	N	N	N	N	N		S

	11	12	13	14	15	16		23
Distancia	10	10	12	13	12	11	9	8
Evento	00							22
Activo	S	S	S	S	S	S	S	N

Para guardar las velocidades promedio de cada enlace por cada perfil se definió una matriz conteniendo para cada caso el valor de la velocidad de flujo libre obtenido, según se ve en la Tabla 2.

Tabla 2. Matriz con información de velocidades por corrida (perfil).

Número Perfil	Número de Enlace								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									
2									
3									
4									

4.3 Características Computacionales

El programa fue implementado en un microcomputador PC compatible IBM, debido a la portabilidad que se requería a fin de poder ser utilizado en lugares donde no se cuenta con computadores más grandes.

Se escogió el lenguaje PASCAL por ser simple y portátil y debido a que no se requiere de cálculos complicados. A diferencia de otros lenguajes como el FORTRAN permite la definición de registros. Además permite la programación estructurada en forma mucho más simple, el uso de rutinas, manejo de variables locales y globales sin ninguna complicación. Además realiza chequeos de parámetros.

a) Entradas

Como ya se ha mencionado, el modelo planteado opera a partir de las salidas del Journey Event Recorder (JER). Este, segundo a segundo va registrando la distancia recorrida y el número de pulsos que se produjeron. Sus salidas son descargadas en un computador y consiste en un archivo de datos compuesto por tres columnas, en las cuales están registradas la hora segundo a segundo, la distancia acumulada en metros, el número de pulsos y los eventos. Para este programa son relevantes los intervalos de tiempo y distancia.

Los perfiles obtenidos por medio del JER deben ser consistentes unos con otros, esto es, deben basarse en el mismo recorrido y abarcar las mismas líneas de parada. El computador internamente no distinguirá de qué línea de parada se trata, ésta sólo llevará un número. Por lo tanto el usuario debe claramente definir sus líneas de parada y en cada perfil marcar siempre las mismas. También se debe activar el JER una línea de parada antes de la primera línea de parada relevante, aunque sin registrarla.

El operador debe entregar al programa el número de líneas de parada que se analizarán en los perfiles, el número de perfiles a analizar y los nombres de los archivos de entrada. También debe entregar el tiempo de aceleración y de frenado debido a semáforos (si no quiere usar los valores por defecto).

b) Salidas

El programa entrega para cada línea de parada, de acuerdo al orden en que fueron leídas del archivo de entrada, el valor promedio de la velocidad media de flujo libre y la desviación estándar obtenida de este cálculo.

4.4 Algoritmo

El algoritmo se basa en un proceso iterativo que lee los datos de las líneas de parada de varios archivos generados por el JER.

Se mantiene en memoria principal la información relevante a los enlaces de un archivo, es decir, desde la línea de parada inicial a la final se tienen los registros que contienen la información de cada intervalo de duración de un segundo.

Una vez que se tiene en la memoria principal los datos de los enlaces se recorren los intervalos de estos enlaces y de acuerdo a los eventos ocurridos se va activando o desactivando los registros para ser considerados o no en la determinación de la velocidad de flujo libre. Para esto se define una variable de estado que indicará si se está marcando o no los registros.

En pseudo código el programa podría escribirse como:

- preguntar número de enlaces
- preguntar el número de perfiles
- preguntar tiempo de aceleración inicial
- preguntar tiempo de frenado final
- para cada perfil:
 - preguntar nombre de archivo de entrada
 - para cada enlace:
 - leer datos correspondientes
 - analizar CASOS (de eventos)
 - calcular la velocidad de flujo libre
- calcular la velocidad de flujo libre promedio para cada enlace basándose en los valores obtenidos en cada perfil.

Las subrutinas más importantes son:

CASOS:

Esta es la rutina principal, que recorre registro por registro y de acuerdo al evento que vaya encontrando, llamará a otras subrutinas para ejecutar las acciones asociadas a los distintos eventos. Estas son:

BLANCO:

Esta subrutina es llamada si no ocurre ningún evento. Si está activo el estado de marcar, activará el registro, de lo contrario, lo inactivará. Si la velocidad fuese nula el registro es desactivado.

RED: (evento luz roja)

Esta rutina desactiva la acción de marcado en los registros que están dentro del tiempo de frenado, busca el punto donde la velocidad se anula y retrocede los segundos respectivos de frenado. En caso de no haber detención total, inactiva los registros que están entre el menor valor que alcanza la velocidad y la meseta de la luz anterior.

GREEN: (evento luz verde)

Esta subrutina desactiva los registros que corresponden a los segundos de aceleración inicial. Activa la orden de marcar.

PAX: (evento recoger o dejar pasajeros)

Esta subrutina descuenta los intervalos de tiempo en que el bus se ha detenido y los tiempos de aceleración y frenado.

IMP: (evento imprevisto)

Esta subrutina anula el enlace que se está analizando, entregando un valor nulo de velocidad, el cual, no es considerado en el promedio final.

OTROS: (evento desconocido)

En caso de que aparezca un evento desconocido se considera como un error menor y se trata al registro como si no hubiera habido ningún evento.

LP: (evento línea de parada)

Esta subrutina al encontrar una línea de parada que no es la primera, calcula la velocidad de flujo libre para el enlace.

5. ALGUNOS RESULTADOS

El programa fue probado con 2 perfiles de buses y 2 perfiles de autos tomados en Vicuña Mackenna entre las calles Benito Rebolledo y Ñuble, siendo las líneas de parada identificadas en las calles:

- Benito Rebolledo
- Vasconia
- Camino Escuela Agrícola
- Carlos Valdovinos
- J. Sebastián Bach
- Rodrigo de Araya
- Guillermo Mann
- Carlos Dittborn
- Ñuble

Los buses fueron seguidos de Norte a Sur entre Ñuble y Benito Rebolledo y los autos de Sur a Norte entre Benito Rebolledo y Carlos Dittborn.

Las velocidades de flujo libre fueron calculadas manualmente y se compararon con los resultados del programa, el cual entregó valores muy cercanos a estos últimos.

Sin embargo a pesar de que estos perfiles se obtuvieron tratando de abarcar la mayor cantidad de situaciones anormales, es necesario hacer más pruebas para determinar la precisión del programa.

A continuación se listan las Velocidades de Flujo Libre calculadas a mano y los resultados del programa para los cuatro perfiles analizados.

Tabla 3. Resultados del Programa VELUC

AUTOS CORRIDA 1				
	A mano	Programa	Dif	Var %
B. Rebolledo	46.90	47.01	-0.11	0.23
Vasconia	48.34	47.66	0.68	1.41
Agrícola	44.30	45.93	-1.63	3.68
C. Valdovinos	50.93	51.68	-0.75	1.47
J.S. Bach	48.90	48.90	0.00	0.00
R. Araya	47.20	47.25	-0.05	0.11
G. Mann	47.35	47.35	0.00	0.00
C. Dittborn	32.95	32.95	0.00	0.00
Ñuble				
AUTOS CORRIDA 2				
	A mano	Programa	Dif	Var %
B. Rebolledo	54.00	53.38	0.62	1.15
Vasconia	51.60	53.06	-1.46	2.83
Agrícola	56.50	55.65	0.85	1.50
C. Valdovinos	50.95	51.68	-0.41	0.80
J.S. Bach	43.46	42.69	0.77	1.77
R. Araya	47.83	47.04	0.79	1.65
G. Mann	45.96	47.50	-1.54	3.35
C. Dittborn	37.93	38.62	-0.69	1.82
Ñuble				

Otra forma de verificar si el programa obtiene resultados correctos, es analizar el número de intervalos que él considera para obtener la velocidad de flujo libre para un enlace en un perfil. Con los datos por defecto de la aceleración inicial y frenado final se obtuvo a lo más diferencia de dos intervalos. Es un resultado muy bueno dado que si las pendientes de la aceleración y frenado fuesen muy bruscas, el considerar más o menos intervalos variará bastante el resultado.

Se hizo un análisis de sensibilidad de los dos perfiles de los autos variando las combinaciones de los tiempos de aceleración y frenado. Con variaciones de 2 a 3 segundos en el frenado no hay cambios muy significativos, en cambio una variación de 1 segundo en la aceleración inicial,

produce cambios levemente más notorios, sin embargo para efectos de modelos de simulación como TRANSYT no tienen ninguna importancia las diferencias observadas.

En la Tabla 4 se lista para cada enlace, identificado por las calles que definieron las líneas de parada, el número de intervalos considerados para determinar la velocidad de flujo libre y bajo este valor la velocidad de flujo libre. Se pueden comparar los cálculos hechos a mano y el resultado del programa VELUC para los valores de los tiempos de aceleración y frenado por defecto y las combinaciones que se analizaron.

Tabla 4. Variaciones del Tiempo de Aceleración / Frenado

AUTOS CORRIDA 1								
	A mano	12/8	11/7	10/6	9/5	13/8	13/7	13/6
B. Rebolledo	36	35	35	37	38	32	35	37
Vasconia	46.90	47.01	47.11	46.51	46.23	47.25	47.21	46.00
Agrícola	25	25	26	29	31	21	24	26
	48.34	47.66	47.35	46.30	45.52	49.03	48.30	47.63
C. Valdovinos	36	33	34	36	38	28	32	33
	44.30	45.93	45.32	44.50	43.58	46.54	46.80	46.58
J.S. Bach	61	59	60	62	64	55	58	59
	50.93	51.68	51.24	50.86	50.4	52.30	51.95	51.80
R. Araya	24	24	25	28	30	20	23	25
	48.90	48.90	48.53	46.93	45.48	50.58	49.46	48.24
G. Mann	18	16	17	18	19	15	15	15
	47.20	47.25	47.01	46.80	45.35	47.76	47.76	47.76
C. Diiborn	33	33	33	34	39	24	28	29
	47.35	47.35	47.24	46.80	45.6	49.20	47.96	47.42
Nuble	26	26	27	28	29	25	25	25
	32.95	32.95	32.93	31.91	32.9	32.83	32.83	32.83
AUTOS CORRIDA 2								
	A mano	12/8	11/7	10/6	9/5	13/8	13/7	13/6
B. Rebolledo	29	29	29	30	31	28	29	30
Vasconia	54.00	53.38	53.13	53.16	52.84	53.36	53.38	53.40
Agrícola	24	23	24	25	26	22	22	22
	51.60	53.06	52.35	51.84	50.95	53.35	53.35	53.35
C. Valdovinos	23	24	26	28	31	23	24	26
	56.50	55.65	54.55	54.13	51.49	55.72	55.95	55.52
J.S. Bach	57	56	58	62	65	53	54	56
	50.95	51.36	50.52	49.53	48.57	52.03	52.13	51.94
R. Araya	28	28	28	31	33	27	28	29
	43.46	42.69	42.69	41.11	40.25	43.47	42.81	41.96
G. Mann	14	15	16	17	18	14	14	14
	47.83	47.04	46.57	45.74	45.20	48.09	48.09	48.09
C. Diiborn	30	31	31	33	39	29	29	29
	45.96	47.50	47.50	46.69	45.32	48.17	48.17	48.17
Nuble	13	11	11	17	17	3	3	3
	37.93	38.62	36.62	37.48	37.48	38.40	38.40	38.40

6. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones son las siguientes:

- Se propone una nueva definición de velocidad de flujo libre, que produce resultados más cercanos a los obtenidos cuando se calibra la velocidad para modelos de simulación como TRANSYT.

- b) Se ha diseñado una metodología de medición basada en el vehículo flotante con modificaciones que mejora los problemas que ese método conlleva.
- c) Se ha implementado un programa computacional VELUC que ahorra tiempo y produce, sin la ayuda de expertos, resultados casi idénticos a los que ellos habrían obtenido, si hubieran analizado manualmente y por inspección visual los datos.
- d) Los parámetros necesarios empleados por defecto para los tiempo de aceleración y frenado, son sumamente robustos, y las diferencias en la estimación de las velocidades que se obtienen al variarlos son de alrededor de un 2,5%, lo cual no tiene mayor relevancia para los efectos del empleo de la velocidad de flujo libre.
- e) El método tiene la limitación de que requiere el empleo de un Registrador de Eventos. Sin embargo en la actualidad no tiene el precio de años anteriores sino que ha disminuido sensiblemente.
- f) El método planteado abre una línea que debería profundizarse, en términos de diseñar sistemas expertos que reemplacen a los especialistas para una serie de estimaciones, o que al menos ahorren tiempo y puedan realizarse los trabajos más fácilmente y sin la entropía de la intervención manual en el traspaso de innumerables datos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias a la colaboración del Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Proyecto FONDECYT 0795-91.

BIBLIOGRAFIA

- BRILON, W. (1970) Speed measured on a highway. *Transportation Research* **11**, 95-107.
- COEYMANS, J.E. (1991) *Traffic Signal Systems in a Developing Country*. PhD Dissertation. Department of Civil Engineering, Southampton University.
- LOGGIE, D.M.W. y DAWSON, J.A.L. (1983) *TRAFFICQ, a design aid for traffic management*. MVA Systematica, Londres.
- PIERCE, J.R. y WOOD, K. (1977) *Bus TRANSYT - a user's guide*. TRRL Supplementary Report SR 266, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.
- ROBERTSON, D.I. (1969) *TRANSYT: a traffic network study tool*. TRRL Laboratory Report LR 253, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.
- ROBERTSON, D.I. (1975) *Bus priority in a network of fixed-time signals*. TRRL Laboratory Report LR 666, Transport and Road Research laboratory, Crowthorne.

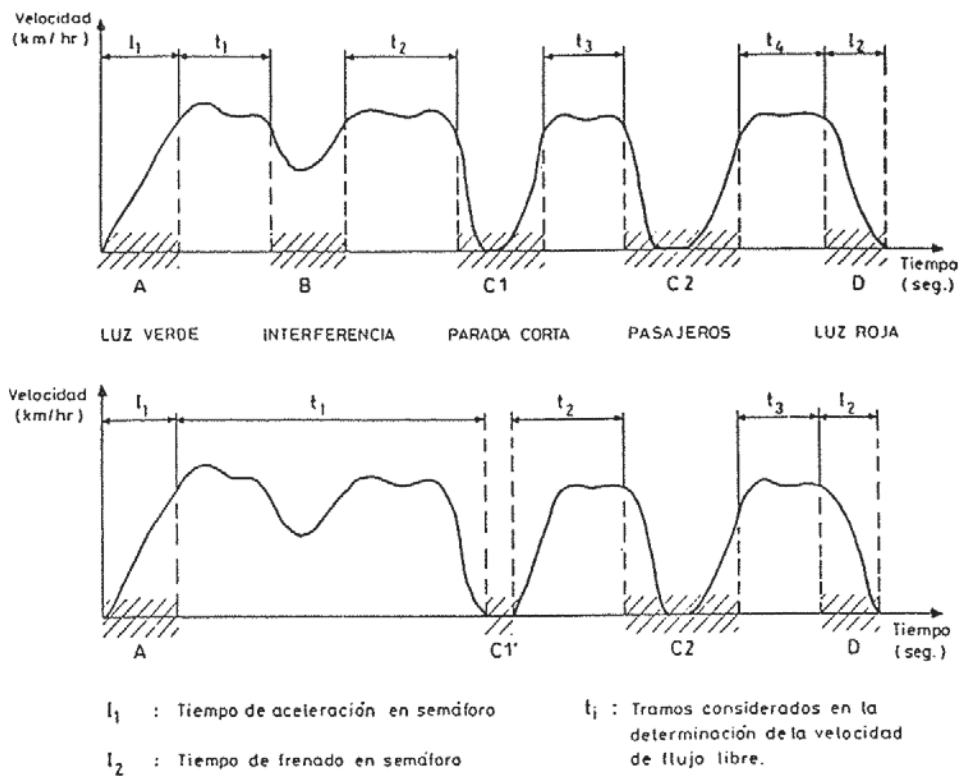


Figura 3: Perfiles Velocidad - Tiempo

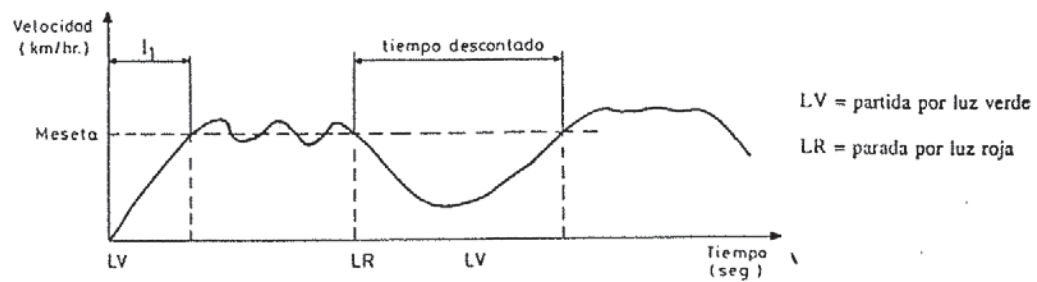


Figura 4: Tiempo a descontar cuando no hay detención completa en línea de parada

