

CALIBRACIÓN DEL MODELO DE SEGUIMIENTO DE VISSIM EN CARRETERAS MULTICARRILES DE URUGUAY

Agustín Casares

Universidad de la República Oriental del Uruguay. Facultad de Ingeniería
Instituto de Estructuras y Transportes

Jorge Galarraga

Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. FCEF y N.
Maestría en Ciencias de la Ingeniería con Mención en Transporte

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla la calibración del modelo de seguimiento Wiedemann 99 de VISSIM, en carreteras multicarriles en régimen de flujo estable en Uruguay. Para obtener los datos necesarios, se seleccionaron dos puestos de conteos de tránsito de la red vial nacional, con alto flujo de tránsito. Se utilizó como variable de calibración la distribución de intervalos. Si bien el modelo contempla 10 parámetros de calibración, (denominados de CC0 a CC9), en base a trabajos anteriores se seleccionaron CC1, CC2, CC4, CC5 y CC7 como parámetros de ajuste principales. Los resultados obtenidos permitieron concluir que CC1 es el parámetro principal a la hora de lograr el ajuste, quedando el CC7 en segundo orden de importancia. Se mantuvieron los valores propuestos por defecto para CC2, CC4 y CC5 y se propusieron nuevos valores calibrados para CC1 y CC7.

ABSTRACT

This paper develops a calibration of the Wiedemann 99 VISSIM car following model, in multilane highways in undersaturated flow condition in Uruguay. To obtain the necessary information, two traffic count station of the national road network were selected, with high flow rate. Time headway distribution was used as the calibration variable. Although the model considers 10 calibration parameters, (from CC0 to CC9), taking into account previous researches CC1, CC2, CC4, CC5 and CC7 were selected as the main parameters of calibration. The results obtained allowed to conclude that the CC1 parameter is the main one when trying to obtain an adjustment, remaining CC7 in second order of importance. Default values for CC2, CC4 and CC5 were maintained and new calibrated values were proposed for CC1 and CC7.

1. INTRODUCCIÓN

El comportamiento que presentan los conductores ante los distintos mensajes que reciben del sistema vial y de otros conductores influye en los resultados de cualquier método de medición de nivel de servicio o de eficiencia. Los modelos de microsimulación son herramientas ampliamente difundidas para la evaluación del funcionamiento de las infraestructuras viales. Dado que sus parámetros afectan directamente los resultados obtenidos, existen múltiples trabajos a nivel regional en los cuales se procura establecer las particularidades locales para mejorar la precisión de los estudios realizados con estas herramientas. Sin embargo en Uruguay, por falta de investigación local, se suelen utilizar los valores por defecto propuestos para las metodologías desarrolladas en Estados Unidos o Europa, que en muchos casos no reflejan las características locales.

El VISSIM (Verkher In StaedtenSIMulation) fue desarrollado en la Universidad de Karlsruhe, Alemania. Es un simulador microscópico que utiliza un modelo psico-físico del comportamiento de los conductores desarrollado por Wiedemann (1974), en base a modelos de seguimiento estocásticos y velocidades dinámicas.

La percepción humana y las reacciones son representadas por un set de distancias deseadas y un set de umbrales que delimitan diferentes situaciones de interacción entre el vehículo en

estudio y el vehículo de adelante. Cada zona es representada por el cálculo del comportamiento del conductor, es decir, la aceleración longitudinal. Estas situaciones son:

- Conducción sin influencia: El vehículo no está influido por ningún vehículo delantero.
- Acercamiento: El vehículo está conscientemente influido por el vehículo de adelante, dado que el conductor percibe un vehículo más lento.
- Seguimiento: El vehículo está un proceso de seguimiento, siendo influenciado por el vehículo de adelante en forma no consciente.
- Frenado de emergencia: El vehículo queda a una distancia de separación menor a la deseada y debe frenar para evitar la colisión.

El concepto básico del modelo es que el conductor de un vehículo más rápido comienza a desacelerar cuando alcanza su umbral de percepción personal e identifica a un vehículo circulando más despacio. Dado que no puede determinar exactamente la velocidad a la que circula el vehículo de adelante, su velocidad descenderá más que la velocidad del vehículo de adelante hasta que, después de alcanzar otro umbral de percepción, comience nuevamente a acelerar suavemente. Esto resulta en un proceso iterativo de aceleración y desaceleración.

El VISSIM utiliza dos implementaciones del modelo de seguimiento de Wiedemann identificados como “74” y “99”, en alusión a sus respectivos años de desarrollo. El modelo 74 está recomendado para condiciones urbanas mientras que el modelo 99 está recomendado para manejo en carreteras. En el presente trabajo se calibrará únicamente el modelo Wiedemann 99. El mismo permite la variación de 10 parámetros utilizados en el cálculo de los umbrales, cuyo detalle se presenta en la Tabla 1 con los valores asignados por defecto.

Tabla 1: Parámetros de la implementación Wiedemann 99 del modelo de seguimiento

Nombre	Unidad	Valor por Defecto	Tipo de acción	Observaciones
CC0	m	1,5	Separación en detención	distancia de seguridad entre paracolpes
CC1	s	0,90	Intervalo de separación	$dx_safe = CC0 + v * CC1$
CC2	m	4	Variación de seguimiento	Restringe la oscilación longitudinal durante el seguimiento
CC3		-8	Umbral para iniciar el seguimiento	Controla el comienzo del proceso de desaceleración
CC4		-0,35	Umbral de Seguimiento (-)	Regulan diferencias de velocidad durante el estado de seguimiento. Se recomienda que tengan el mismo valor absoluto
CC5		0,35	Umbral de Seguimiento (+)	
CC6		11,44	Dependencia de la oscilación de velocidad	Influencia de la distancia en la oscilación de velocidad durante el proceso de seguimiento
CC7	m/s ²	0,25	Aceleración de oscilación	Aceleración real durante el proceso de oscilación
CC8	m/s ²	3,50	Aceleración desde detención	Aceleración deseada cuando se arranca desde la detención del vehículo
CC9	m/s ²	1,5	Aceleración a 80 km/h	Aceleración deseada circulando a 80 km/h

En la Figura 1 se presenta la correlación entre los parámetros que utiliza la implementación del modelo de seguimiento Wiedemann 99 de VISSIM y los umbrales del modelo teórico de Wiedemann. Los umbrales que delimitan estas zonas son llamados AX, BX, SDV, CLDV, SDX y OPDV y son representados para un vehículo-conductor que se desplaza a una velocidad V. Al lado de cada uno de ellos se expresa el parámetro que interviene en forma directa, de acuerdo a PTV (2011) y Lacerda & Castro Neto (2014). El eje de las abscisas

representa la diferencia de velocidades ΔV mientras que el eje de las ordenadas representa la distancia respecto al vehículo de adelante ΔX . La trayectoria del vehículo en estudio, expresada como la distancia relativa con el vehículo de adelante, se representa con la flecha curvilínea que atraviesa el diagrama. De acuerdo a Rackha y Crowther (2002) y Gao (2008) este modelo incorpora en su núcleo la lógica del modelo de seguimiento propuesto por Pipes.

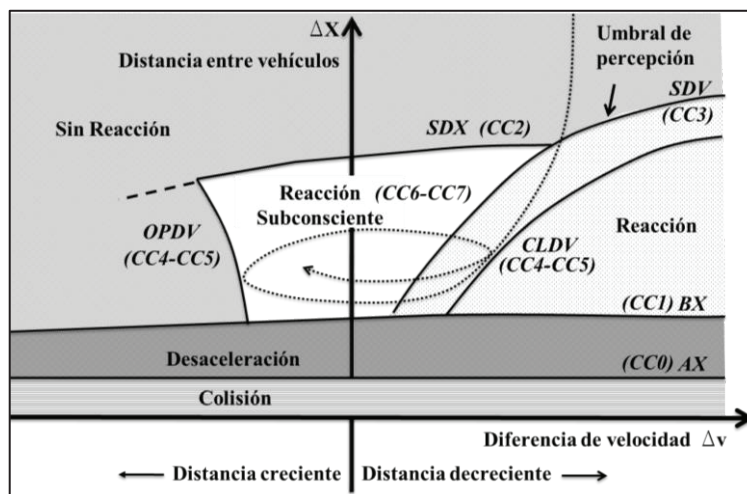


Figura 1: Esquema de parámetros de W99 en el modelo de seguimiento de Wiedemann

2. REVISION BIBLIOGRAFICA Y SELECCION DE PARAMETROS

Existen varios trabajos realizados sobre la calibración del modelo de seguimiento de VISSIM. Los mismos consideran los parámetros del modelo Wiedemann 99 que han sido presentados en la sección anterior. De ellos, en Caleffi et al. (2012) y en su bibliografía, se identifican como parámetros más importantes para la calibración los parámetros CC0, CC1, y la dupla CC4/CC5. Estos parámetros son también identificados en el trabajo de Gomes et al. (2004).

Por su parte, en Menneni et al. (2008) se identifican como parámetros más importantes el CC1 y CC2, presentando unos diagramas bi-dimensionales de calibración simplificada en los cuales se identifican los valores de CC1 y CC2 para obtener el valor de flujo de saturación buscado. En un segundo orden de importancia propone la utilización de CC4 y CC5.

En el trabajo de Woody (2006) se realiza un análisis de sensibilidad del valor de flujo de saturación ante los distintos parámetros del modelo, determinando que los parámetros que muestran una mayor influencia sobre el flujo de capacidad son CC1, CC2 y CC7. Adicionalmente, en un segundo orden se coloca a los parámetros CC0 y la dupla CC4/CC5.

Teniendo en cuenta la concordancia de la importancia establecida para los parámetros de calibración del modelo Wiedemann 99 en los trabajos citados, para el presente trabajo se seleccionan los parámetros: CC1 (participa en la distancia de seguridad), CC2 (distancia que los conductores permiten que se genere antes de acercarse al vehículo delantero en forma intencionada), CC4/CC5 (parámetros adimensionales que regulan las diferencias de velocidad durante el estado de seguimiento), y CC7 (aceleración durante el proceso de oscilación)

CC1 está presente como parámetro principal en todos los trabajos y está muy clara su influencia dentro del modelo de seguimiento (PTV, 2011). Aunque CC2 no está presente en los trabajos de Caleffi et al. (2012) y Gomes et al. (2004), los demás trabajos si le asignan un

rol importante, y el análisis de sensibilidad de Woody (2006) demuestra que puede tener una influencia importante sobre el flujo de saturación y por lo tanto en la mecánica de seguimiento entre vehículos.

Asimismo se considera importante analizar la sensibilidad del modelo a los parámetros CC4 y CC5 ya que también han sido ampliamente reseñados en la bibliografía consultada, e intervienen en el comportamiento inconsciente de seguimiento, lo cual puede ser significativo considerando las condiciones de campo retratadas en el presente trabajo.

El parámetro CC7 en primera instancia se considera de segundo orden dado que solamente aparece mencionado en el trabajo de Woody (2006). Sin embargo, como las condiciones de tránsito utilizadas en su trabajo son las que más se asemejan a las que se seleccionaron para el presente estudio, se realiza un análisis de la influencia de este parámetro.

El parámetro CC0 es el componente de la distancia de seguridad no dependiente de la velocidad, por lo que es de alta importancia cuando hay condiciones de baja velocidad o detención, como las existentes en los trabajos de Gomes et al. (2004), Lownes & Machemehl (2006) o Caleffi et al. (2012). Dado que los casos de campo analizados en este trabajo no presentan estas características, se entiende que este parámetro no es determinante en este caso.

3. CARACTERIZACIÓN DE DATOS DE CAMPO

Los datos de campo utilizados fueron tomados del Sistema de Relevamiento Estadístico de Tránsito de la Dirección Nacional de Vialidad del Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Uruguay. Fueron utilizados los datos de dos Puestos Permanentes (365x24), denominados PP87 y PP91. La selección fue realizada con el objetivo de obtener flujos de tránsito elevados que permitieran abarcar un espectro mayor de condiciones de circulación. Para más información sobre la obtención y procesamiento de los datos de campo ver Casares (2015).

El puesto PP87 se encuentra instalado en el km 87 de la Ruta Interbalnearia, la cual conecta la ciudad de Montevideo con los principales balnearios de la costa uruguaya. Tiene una funcionalidad netamente turística con un marcado comportamiento estacional. Se concluye que el día con mayor flujo de cada año es el domingo de finalización de la Semana Santa. Se seleccionan para este trabajo los datos relevados en dicho domingo entre los años 2010 y 2014, cuyos datos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Tránsito hacia Montevideo en el PP87 en días seleccionados – Por Carril

Domingo seleccionado	Tránsito Total Hacia Montevideo	
	Carril Interior	Carril Exterior
04/04/2010	9.122	8.011
24/04/2011	7.510	7.376
08/04/2012	9.700	8.744
31/03/2013	8.719	8.249
20/04/2014	8.090	8.364

Para el análisis de los datos de los intervalos entre vehículos se procede a analizar los intervalos de 15 min con mayor flujo horario, que resultó ser 750 veh/h en el carril exterior y 1.100 veh/h en el carril interior. En la Figura 2 se presentan las distribuciones de intervalos en los horarios seleccionados, resaltándose el promedio de las distribuciones de cada carril.

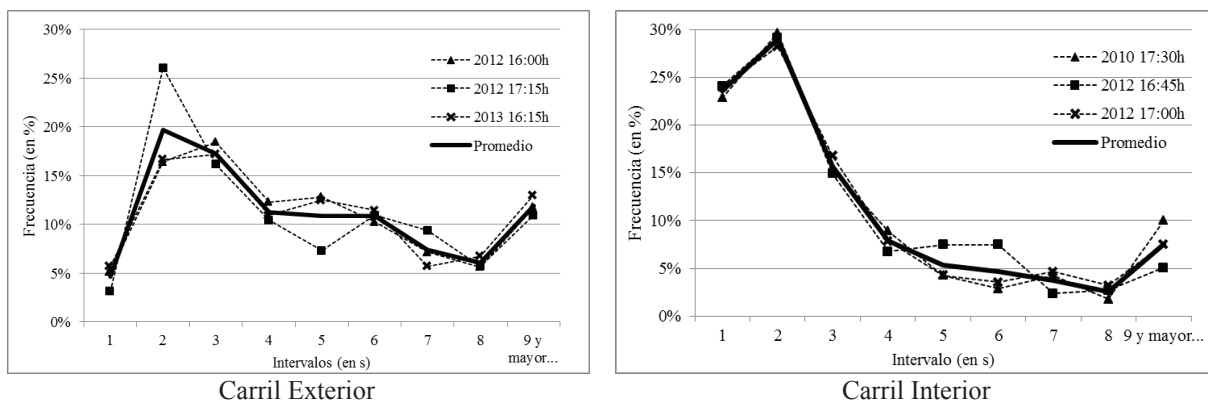


Figura 2: Distribución de Intervalos en el PP87

El puesto PP91 se encuentra a 5 km del centro de Montevideo, en la carretera que actúa como acceso oeste a la ciudad y al Puerto de Montevideo. Se observa que presenta su pico de tránsito los días viernes, por lo tanto, en base a la información disponible, en el presente trabajo se utilizan los viernes del mes de setiembre del año 2014. En la Tabla 3 se presenta el tránsito total desde Montevideo en los viernes seleccionados.

Tabla 3: Tránsito hacia Montevideo en el PP91 en días seleccionados – Por Carril

Viernes seleccionado	Tránsito Total Desde Montevideo	
	Carril Interior	Carril Exterior
05/09/2014	13.605	13.409
12/09/2014	14.127	13.958
19/09/2014	13.100	13.611
26/09/2014	12.987	13.631

Los intervalos de 15 min con mayor flujo resultaron en 1.080 veh/h en el carril exterior y 1.320 veh/h en el carril interior. En la Figura 3 se presentan las distribuciones de intervalos en los horarios seleccionados, resaltándose el promedio de las distribuciones de cada carril.

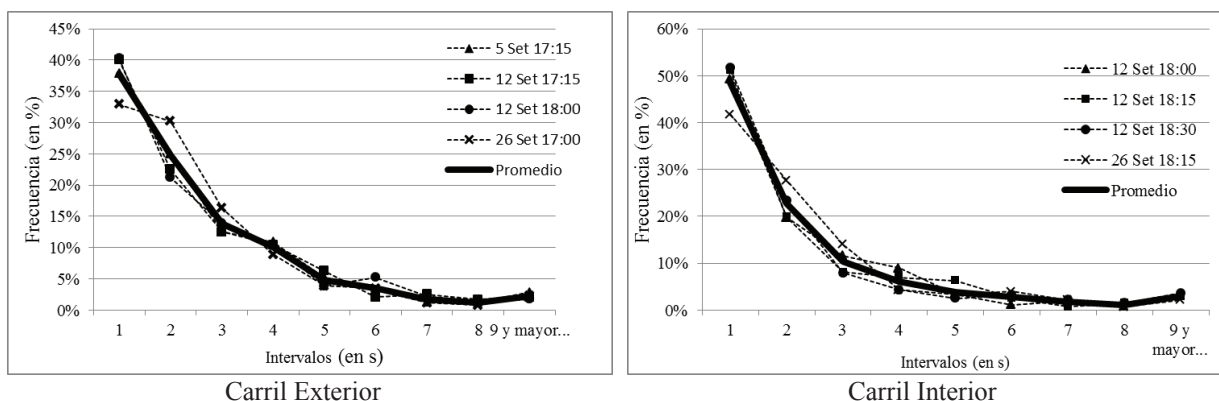


Figura 3: Distribución de Intervalos en el PP91

4. SIMULACION CON VISSIM

4.1. Modelo de Referencia: Valores de los parámetros por defecto

Con los valores por defecto de los parámetros (Tabla 1) se realizó una corrida inicial denominada “Modelo de Referencia”. Las características vehiculares y la distribución de velocidades fueron ajustadas de acuerdo a los datos relevados en campo, así como la plani-altimetría y la sección transversal.

Para el Modelo de Referencia se realizó la validación de la composición vehicular, de forma de comprobar que el modelo elaborado arroja resultados compatibles con los datos de campo. Los resultados se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4: Composición Vehicular Corrida “Modelo de Referencia”

		Carril	Autos	Utilit.	Ómnibus	Camión	Remolque	Semi Rem.	Total
PP87	Datos Campo	Exterior	89,5%	5,8%	3,3%	0,6%	0,4%	0,5%	750
	Mod. Referencia	Exterior	89,8%	6,6%	2,6%	0,3%	0,6%	0,1%	793
	Datos Campo	Interior	92,4%	6,3%	0,7%	0,2%	0,2%	0,2%	1.100
	Mod. Referencia	Interior	92,7%	5,7%	0,9%	0,4%	0,2%	0,1%	1.062
PP91	Datos Campo	Exterior	69,8%	9,2%	2,8%	6,1%	2,0%	10,0%	1.080
	Mod. Referencia	Exterior	75,0%	9,6%	2,2%	5,1%	1,7%	6,3%	1.130
	Datos Campo	Interior	81,8%	10,3%	3,1%	2,1%	0,4%	2,4%	1.320
	Mod. Referencia	Interior	78,1%	9,8%	3,5%	2,6%	1,3%	4,7%	1.267

Los resultados muestran que el modelo, aun con los valores de los parámetros por defecto, representa adecuadamente el flujo horario y la distribución entre las diferentes categorías.

4.2. Indicadores para Calibración

Para la calibración se utiliza como indicador la distribución de intervalos, empleando las distribuciones de intervalos cada 1 segundo presentadas en las Figuras 2 y 3, y considerando para cada intervalo su valor promedio. De acuerdo a Zhang y Owen (2004) la distribución de intervalos es mucho mejor indicador para apreciar el comportamiento de seguimiento que otros indicadores macroscópicos como la densidad o la separación promedio. Este indicador también es utilizado en el trabajo de Maldonado (2010).

Para medir la bondad de ajuste se realizó una validación estadística siguiendo la recomendación de los trabajos de Ni et al. (2004) y Toledo & Koustoupoulus (2004), eligiendo tres medidas para evaluar la precisión de la proyección de la distribución de intervalos, basadas en el error de predicción, las cuales se presentan en la Tabla 5.

El tercer indicador fue una propuesta de Theil como medida que no presenta el problema de escala que presentan el RMSE y el MAE. Se destaca que la formulación utilizada en el presente trabajo para el coeficiente U de Theil es la recomendada por Bliemel (1973), que fue presentada por Theil en un paper del año 1965, y no la formulación presentada en un paper del año 1966, que es la que está incluida en el trabajo de Toledo y Koustoupoulus (2004).

Tabla 5: Medidas de Evaluación de Predicción

Nombre	Fórmula
Raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n_0} \sum (y_i - \hat{y}_i)^2}$
Error absoluto medio (MAE)	$MAE = \frac{1}{n_0} \sum y_i - \hat{y}_i $
Coefficiente U de Theil (U_{Theil})	$U_{Theil} = \sqrt{\frac{\frac{1}{n_0} \sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\frac{1}{n_0} \sum \hat{y}_i^2}}$

4.3. Corridas 1 a 8

En las Corridas 1 a 8 se varían los parámetros seleccionados, aumentando y disminuyendo su valor respecto al presentado en la Tabla 1. En todos los casos se realiza una única variación de parámetro por corrida.

En la Tabla 6 se presenta el detalle de los valores utilizados en cada Corrida y los resultados obtenidos para las medidas de precisión. Se consideró un período de calentamiento de la red de 30 min durante los cuales no se realiza ninguna de recopilación de información, seguidos de 60 min de captura de datos.

El término “Variación” refiere al cambio porcentual de los indicadores de la corrida en estudio y los datos de campo con respecto a los indicadores de la corrida del Modelo de Referencia y los datos de campo. Un signo positivo indica una mejora (los resultados se parecen más a los datos de campo, los indicadores se reducen) mientras que un signo negativo indica que se produjo un alejamiento respecto a los datos de campo.

Tabla 6: Variación de las Medidas de Evaluación de Predicción (Corridas 1 a 8)

Corrida	PP87						PP91					
	Carril Externo			Carril Interno			Carril Externo			Carril Interno		
	RMSE	MAE	U_{Theil}	RMSE	MAE	U_{Theil}	RMSE	MAE	U_{Theil}	RMSE	MAE	U_{Theil}
CC1 = 0,5	+11%	+7%	+11%	+43%	+36%	+43%	+49%	+39%	+49%	+58%	+54%	+58%
CC1 = 1,1	-1%	+1%	-1%	+1%	+2%	+1%	-1%	0%	-1%	0%	-2%	0%
CC2 = 2	-3%	-3%	-3%	+4%	+3%	+4%	0%	+1%	0%	+3%	+3%	+3%
CC2 = 10	+5%	+2%	+5%	-1%	0%	-1%	+3%	+4%	+3%	+3%	+3%	+3%
CC4/CC5 +- 0,15	-2%	-3%	-2%	0%	0%	0%	-1%	+1%	-1%	+2%	+1%	+2%
CC4/CC5 +- 0,50	+1%	+2%	+1%	-5%	-5%	-5%	+3%	+3%	-3%	+2%	+2%	+2%
CC7=0,15	+2%	+1%	+2%	+3%	+3%	+3%	+2%	-2%	+2%	+4%	+4%	+4%
CC7=0,50	-2%	-3%	-2%	+12%	+10%	+12%	-3%	-2%	-3%	+3%	+5%	+3%

Para analizar el resultado de la modificación de los parámetros se construyó un gráfico donde se compararon las mejoras porcentuales de la medida de ajuste utilizada (eje y) en función de la variación porcentual del valor del parámetro (eje x). Esto se replicó para las tres medidas de

ajuste en los cuatro carriles, para los cuatro parámetros estudiados. En la Figura 4 se presentan los gráficos resultantes para la medida U de Theil.

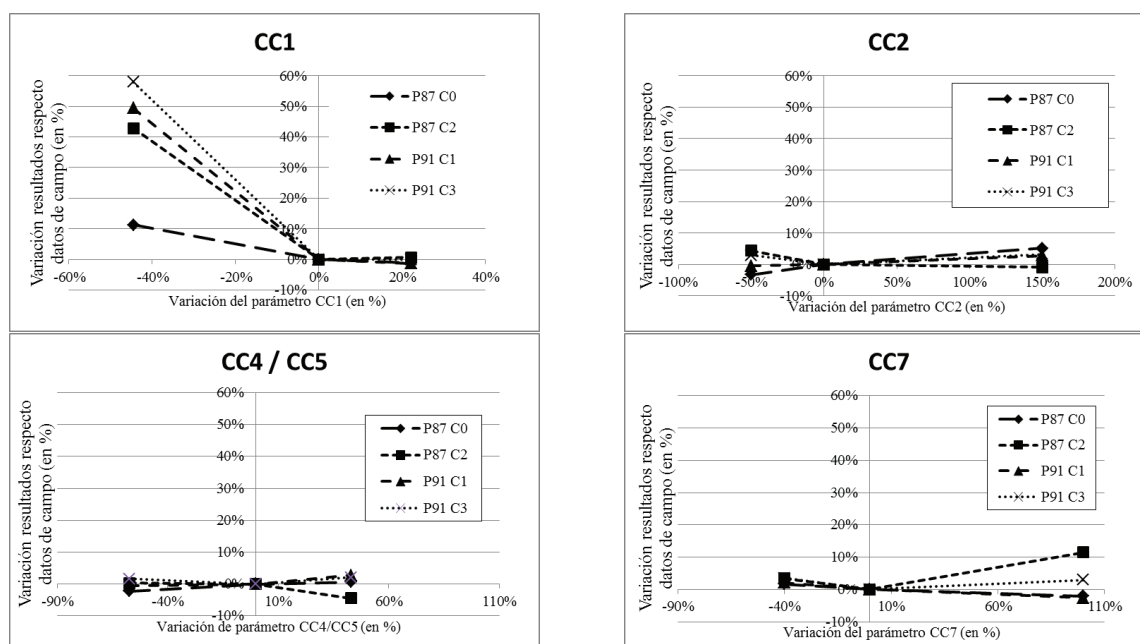


Figura 4: Variación de U Theil por parámetro y por carril

Se observa en forma clara que los mejores resultados se obtuvieron disminuyendo el parámetro CC1, lo que produjo una mejora de entre 10% y 60% dependiendo del carril. Los resultados de las variaciones del parámetro CC2 no permiten extraer conclusiones claras. La disminución del valor del parámetro produce resultados mixtos, mejorando algunos carriles y empeorando otros. Además, cuando se producen mejoras, las mismas son marginales con máximos del 4%.

Por su parte, los resultados obtenidos por la modificación del valor de los parámetros CC4 y CC5 presentan carriles que mejoran y carriles que empeoran en órdenes semejantes, tanto cuando se aumenta su valor como cuando se disminuye. Si bien en la bibliografía consultada se menciona que la dupla CC4/CC5 es influyente, en el trabajo de Woody (2006) su efecto significativo se observa disminuyendo el valor de flujo de saturación una vez que su valor por defecto es aumentado casi 6 veces. En base a los antecedentes de conducción más agresiva registrados en los trabajos de calibración realizados en Uruguay, Argentina y Brasil, no es esperable este tipo de ajuste a la baja.

Finalmente el parámetro CC7 también produce variaciones menores. De todas formas la disminución del parámetro parece arrojar mejoras que aunque son reducidas, son más consistentes que los resultados mixtos que se producen al aumentar el valor del parámetro.

En conclusión se descartan los parámetros CC2, CC4 y CC5 para el proceso de calibración y se procede a analizar en forma conjunta la variación de los parámetros CC1 y CC7, comenzando con los valores ya utilizados, de 0,5 s y 0,15 m/s² respectivamente.

4.4. Corridas 9 a 13

En las Corridas 9 a 13 se varían los parámetros CC1 y CC7 en forma conjunta. En la Tabla 7 se presenta el detalle de los valores utilizados en cada Corrida y los resultados obtenidos para las medidas de precisión.

Tabla 7: Variación de las Medidas de Evaluación de Predicción (Corridas 9 a 13)

Corrida	PP87						PP91					
	Carril Externo			Carril Interno			Carril Externo			Carril Interno		
	RMSE	MAE	U _{Theil}	RMSE	MAE	U _{Theil}	RMSE	MAE	U _{Theil}	RMSE	MAE	U _{Theil}
CC1=0,5 CC7=0,15	15%	12%	15%	51%	44%	51%	50%	40%	50%	62%	57%	62%
CC1=0,6 CC7=0,15	28%	20%	28%	72%	62%	72%	24%	20%	24%	33%	31%	33%
CC1=0,7 CC7=0,15	29%	13%	29%	66%	60%	66%	No se realizó la corrida en el PP91 dado que los resultados empeoraron al aumentar CC1 a 0,6 s					
CC1=0,5 CC7=0,20	+13%	+8%	+13%	+47%	+40%	+47%	47%	35%	47%	52%	49%	52%
CC1=0,6 CC7=0,20	28%	17%	28%	63%	55%	63%	+25%	+20%	+25%	+33%	+32%	+33%

Al combinar los parámetros CC1 y CC7 en la Corrida 9 los resultados obtenidos muestran una mejora respecto a la Corrida 1 (solo parámetro CC1) en los cuatro carriles. Por lo tanto se concluye que es conveniente la modificación de ambos parámetros en forma conjunta. Para realizar el ajuste fino de los valores, en las Corrida 9 a 13 se modelan las distintas combinaciones que surgen de adoptar CC1 0,5 s y 0,6 s y CC7 0,15 m/s² y 0,20 m/s².

En el caso del PP87 se observa que aumentando el valor de CC1 a 0,6 s los resultados mejoran respecto al uso de 0,5 s. Por el contrario, si se utiliza un valor de CC7 de 0,20 m/s² los resultados, si bien son mejores a los obtenidos con el valor por defecto, son ligeramente peores a los obtenidos utilizando el valor 0,15 m/s².

Se opta por verificar si un nuevo aumento del valor del CC1 mejora aún más el ajuste de la distribución de intervalos, realizando la en la cual se asigna el valor 0,7 s. Los resultados indican que mejora marginalmente el carril exterior pero empeora, también en forma poco significativa, el carril interior, concluyendo que el valor recomendable de CC1 para el PP87 estaría en el entono de 0,6 a 0,7 s mientras que el valor de CC7 tiende hacia 0,15 m/s².

En el caso del PP91 el comportamiento no es idéntico. De hecho los mejores resultados se obtuvieron en la Corrida correspondiente a CC1 = 0,5 s y CC7 de 0,15 m/s². Todas las modificaciones probadas aumentando los valores de ambos parámetros produjeron resultados con una distribución de intervalos menos ajustados a los datos de campo.

Los mejores resultados obtenidos, recuadrados en la Tabla 7, indican un ajuste del parámetro de CC1 entre 0,5 y 0,7 s y del CC7 en el rango comprendido entre 0,15 y 0,20 m/s², con tendencia hacia los valores mayores a medida que disminuye el flujo.

En la Figura 5 se presenta el gráfico con la distribución de intervalos del promedio de datos de campo, del Modelo de Referencia, y de la Corrida con los mejores resultados (CC1 = 0,5 s; CC7 = 0,15 m/s² en el PP91 y CC1 = 0,6 s; CC7 = 0,15 m/s² en el PP87).

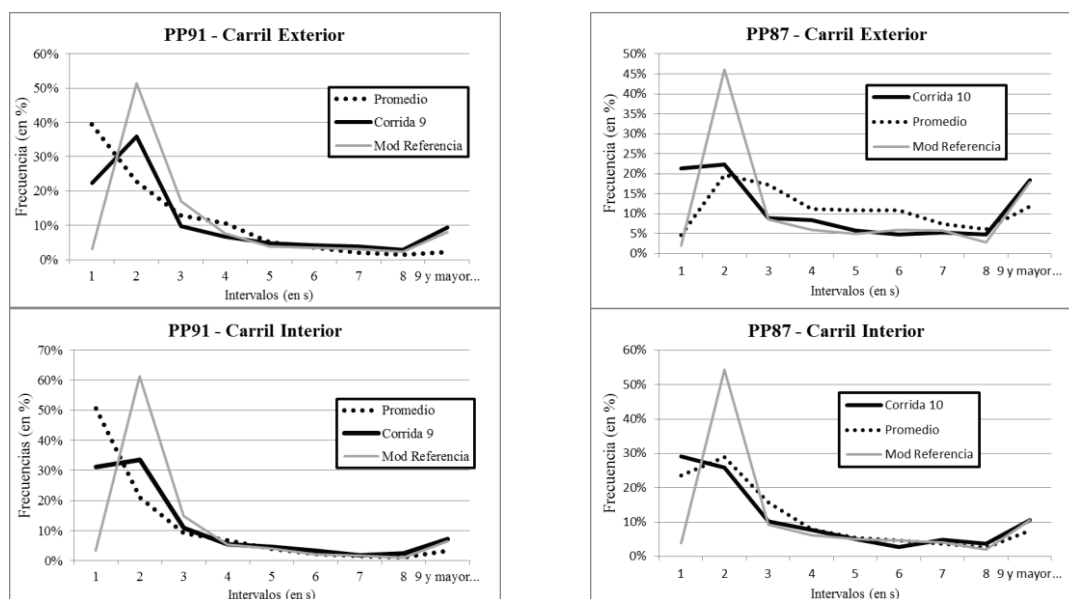


Figura 5: Evolución de Distribución de Intervalos en PP91 y PP87

4.5. Estabilidad de los resultados

Para chequear la estabilidad del modelo, las mejores corridas para cada puesto fueron ejecutadas nuevamente en 3 oportunidades con distintas semillas, seleccionadas de forma aleatoria. Al modificarse la semilla de la corrida se modifican los valores que adoptan las variables estocásticas, que representan las variaciones entre los distintos conductores y de un mismo conductor con el paso del tiempo. También se modifica el ingreso de los vehículos a la red, aunque se mantiene la distribución Poisson, y la composición vehicular establecida.

Los valores obtenidos, presentados en la Tabla 8, indican que los resultados son estables, lográndose en todos los casos mejoras sustanciales en las medidas de ajuste.

Tabla 8: Variación de las Medidas de Evaluación de Predicción (Distintas Semillas)

		Corrida 10			Semilla 25			Semilla 41			Semilla 58		
		RMSE	MAE	U _{Theil}	RMSE	MAE	U _{Theil}	RMSE	MAE	U _{Theil}	RMSE	MAE	U _{Theil}
PP87	Carril Exterior	28%	20%	28%	10%	-1%	10%	19%	11%	19%	29%	22%	29%
	Carril Interior	72%	62%	72%	59%	50%	59%	71%	64%	71%	64%	57%	64%
PP91	Carril Exterior	50%	40%	50%	50%	43%	50%	55%	44%	55%	49%	44%	49%
	Carril Interior	62%	57%	62%	62%	58%	62%	61%	57%	61%	58%	54%	58%

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta que el trabajo se enfocó en el régimen de flujo libre en carreteras, fueron identificados los parámetros del modelo de seguimiento Wiedemann 99 de VISSIM que presentan una mayor influencia sobre los resultados, y por tanto, aquellos parámetros sobre los que se debería enfocar la atención a la hora de la calibración.

Los resultados obtenidos han permitido corroborar que existen diferencias entre los parámetros que describen el comportamiento de los conductores a nivel local y los valores incluidos por defecto. Los resultados se ajustan a lo esperado en base al análisis realizado de trabajos anteriores, con conductores más agresivos que generan un aumento de la capacidad de las vías respecto a la bibliografía estándar a nivel internacional.

Para la calibración se utilizó como indicador principal la distribución de intervalos, ya que de acuerdo a Zhang y Owen (2004) este indicador es mucho mejor para apreciar el comportamiento de seguimiento entre vehículos que otros indicadores macroscópicos como la densidad o la separación promedio. De acuerdo a Shteinman (2014) la calibración usual en base a la comparación de tendencias centrales tiene la limitante que formalmente solo es válida si la salida simulada y los datos de campo provienen de la misma distribución probabilística. Al contar con un set de microdatos de tránsito y poder realizar la calibración en base a una distribución, los resultados obtenidos son más robustos. Esta metodología también está en línea con las conclusiones de Menneni et al. (2008) donde se señala que un ajuste de medias no implica que se ajusten otras propiedades como la dispersión, la forma o la mediana.

Los parámetros que fueron inicialmente identificados como los de mayor influencia en la calibración del modelo de seguimiento Wiedemann 99 fueron CC1, CC2, CC4/CC5 y CC7. Los resultados de las variaciones del parámetro CC2 no permitieron extraer conclusiones claras. Tanto la disminución del valor del parámetro como su incremento producen resultados mixtos, por lo que se descartó del proceso de calibración. Lo mismo sucedió con la dupla CC4/CC5, cuya variación también produce resultados mixtos y escasamente significativos.

El valor del parámetro CC1 fue establecido en el rango 0,5 a 0,7 s. Dado que el valor del parámetro CC1 es un parámetro que influye en el cálculo de la distancia de seguridad entre los paragolpes de los vehículos en forma proporcional a la velocidad, una reducción de su valor respecto a su valor por defecto (0,9 s) implica un aumento de la capacidad de la carretera. El valor del parámetro CC7 fue establecido en el rango 0,15–0,20 m/s². Los resultados alcanzados son estables ante la modificación de la semilla de la simulación.

Se recomienda continuar con la calibración a la realidad local de los otros sub-módulos de importancia del VISSIM. En particular el comportamiento de cambio de carril que está estrechamente asociado con el modelo de seguimiento en la descripción del tránsito en régimen de flujo libre. No se descarta que el ajuste del sub-modelo de cambio de carril impacte en la calibración del sub-modelo de seguimiento, razón que hace necesario continuar esta línea de trabajo. Este trabajo se enfocó en carreteras con alta demanda de tránsito, por lo que sería de interés verificar como ajustan los valores obtenidos en períodos con intensidad de tránsito mediana a baja. En la misma línea también se considera importante realizar un análisis de sensibilidad de los resultados obtenidos con flujos más cercanos a los niveles de capacidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLIEMEL F., (1973) Theil's Forecast Accuracy Coefficient: A Clarification, *Journal of Marketing Research* Vol. X pp. 444-446, American Marketing Association, Chicago, EE.UU.
- CALEFFI F., MOISAN Y., BETTELLA CYBIS, H. B., MICHEL F.D. (2012): Simulação de Alternativas Operacionais de um Segmento Especial de Autoestrada A través do Software VISSIM. *ANPET, XXVI Congresso de Pesquisa Nacional de Ensino em Transportes*, Joinville, Brasil.
- CASARES A., (2015): *Calibración del modelo de seguimiento del software de micro simulación VISSIM en carreteras multicarriles en régimen de flujo libre en Uruguay*. Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mención en Transporte. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- GAO Y., (2008): *Calibration and Comparison of the VISSIM and INTEGRATION Microscopic Traffic Simulation Models*. Thesis for Master of Science in Civil and Environmental Engineering. Virginia Polytechnic Institute and State University, EE.UU.
- GOMES G., MAY A., HOROWITZ R. (2004): Congested Freeway Microsimulation Model Using VISSIM, *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board* N° 1876 pp. 71-81, TRB, National Research Council, Washington D.C., EE.UU.
- LACERDA, V.M, CASTRO NETO, M. M. (2014): Considerações sobre a calibração do modelo de car-following do VISSIM para vias arteriais urbanas. *ANPET, XXVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Curitiba, Brasil.
- LOWNES N.E., MACHEMEHL R.B. (2006): Sensitivity of Simulated Capacity to Modification of VISSIM Driver Behavior Parameters, *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board* N° 1988 pp. 102-110, TRB, National Research Council, Washington D.C., EE.UU.
- MALDONADO, M. (2010): *Validación de la metodología del Manual de Capacidad HCM a las condiciones locales para el análisis de operación en carreteras*. Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mención en Transporte. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- MENNENI S., SUN C., VORTISCH P. (2008): *An Integrated Microscopic and Macroscopic Calibration for Psycho-Physical Car Following Models*. University of Missouri-Columbia & PTV AG.
- NI D., LEONARD II J.D., GUIN A., WILLIAMS B.M. (2004): Systematic Approach for Validating Traffic Simulation Models, *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board* N° 1876 pp. 20-31, TRB, National Research Council, Washington D.C., EE.UU.
- PTV Planning Transport Verkehr AG (2011): *VISSIM 5.30 User Manual*, Karlsruhe, Alemania.
- RAKHA H., CROWTHER B., (2002): *Comparison of Greenshields, Pipes, and Van Aerde Car-Following and Traffic Stream Models*, *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board* N° 1802 pp. 248-262, TRB, National Research Council, Washington D.C., EE.UU.
- SHTEINMAN D., (2014): Two methods to improve the quality and reliability of calibrating and validating simulation models, *Road & Transport Research* Vol. 23 N°3 pp. 65-78, ARRB Group, Melbourne, Australia.
- TOLEDO T., KOUSTSOPOULUS H. N., (2004): Statistical Validation of Traffic Simulation Models, *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board* N° 1876 pp. 142-150, TRB, National Research Council, Washington D.C., EE.UU.
- WIEDEMANN R., REITER U. (1974): *Microscopic Traffic Simulation. The Simulation System Mission*, Karlsruhe University, Alemania.
- WOODY T., (2006) *Calibrating Freeway Simulation Models in VISSIM*, CEE 600 Final Research Report, University of Washington, EE.UU.
- ZHANG Y., OWEN L.E., (2004): Systematic Validation of a Microscopic Traffic Simulation Program, *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board* N° 1876 pp. 112-120, TRB, National Research Council, Washington D.C., EE.UU.

Agustín Casares (acasares@csi-ing.com)

Instituto de Estructuras y Transportes, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República Oriental del Uruguay.

Jorge Galarraga (jorgala@efn.uncor.edu)

Maestría en Ciencias de la Ingeniería con Mención en Transporte. FCEF y N. Universidad Nacional de Córdoba. Avda. Velez Sarsfield 1611, X5016GCA. Córdoba, Argentina.