

Variables microscópicas en la velocidad de caminata

Fredy Alberto Guío Burgos*, Juan Carlos Poveda D'Otero

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

* Autor para correspondencia:
fredy.guio@uptc.edu.co

RESUMEN

En este trabajo se muestran los resultados de mediciones de velocidad de caminata, de una muestra de 1.440 peatones en la ciudad de Tunja - Colombia, observando variables microscópicas como edad y género, porte de objetos y caminata en grupos, así como variables del entorno como tipo de zona, estado de la acera y pendiente longitudinal. Se calibró y validó un modelo de regresión múltiple que permite predecir la velocidad de caminata en función de estas variables. Los resultados obtenidos permiten establecer los parámetros de las condiciones base en un modelo de capacidad y nivel de servicio en aceras, correspondiente a las condiciones del entorno estudiado.

Palabras clave: velocidad de caminata, peatones, modelo de regresión

ABSTRACT

In this paper the results of measurements of walking speed are shown, with a sample of 1,440 pedestrians in the city of Tunja - Colombia, measuring microscopic variables as age, gender, carrying objects and walk in groups and as environment variables how type of area, quality of the sidewalk and longitudinal slope. A multiple regression model was calibrated and validated that predicts walking speed based on these variables. The results allow to set the parameters of the basic conditions in a model of capacity and level of service on sidewalks, corresponding to the conditions of the study case.

Keywords: walking speed, pedestrians, regression model

1. INTRODUCCIÓN

Las infraestructuras para peatones deben cumplir con una serie de principios de diseño, uno de ellos es que deben ser universales, es decir, brindar accesibilidad a todas las personas sin importar su condición de discapacidad o su grado de movilidad.

Elegir una velocidad de caminata como parámetro de diseño es una tarea que por lo general se realiza sin mayor profundización en las implicaciones que tiene, por esta razón es importante caracterizar los flujos peatonales y conocer los elementos propios de cada tipo de usuario, lo que permite brindarle posibilidades de acceso espacial y temporal al sistema de transporte.

Según Paraskev y Magdalini (2012) la velocidad media de caminata es relevante en los modelos de capacidad en aceras, ya que es uno de los parámetros macroscópicos que describen la corriente de tráfico, por lo tanto, incide directamente en la capacidad de las infraestructuras peatonales.

Se han adelantado trabajos de investigación para determinar cuáles variables inciden en la velocidad de caminata. Aal respecto hay dos enfoques claramente distintos, el de las variables macroscópicas y el de las microscópicas. El primero se

basa en la relación entre las variables macroscópicas de flujo peatonal como se muestra en la Figura 1, que es el resultado de observaciones de campo realizadas por Guío y Dueñas (2010) en la ciudad de Tunja – Colombia. Estos resultados son coherentes con el modelo de flujo lineal propuesto por Greenshields (1934) que se muestra en la ecuación (1).

$$\bar{V}_e = V_l - \frac{V_l}{K_c} K \quad (1)$$

Donde:

V_e = Velocidad media espacial de caminata (m/s)

V_l = Velocidad de caminata a flujo libre (m/s)

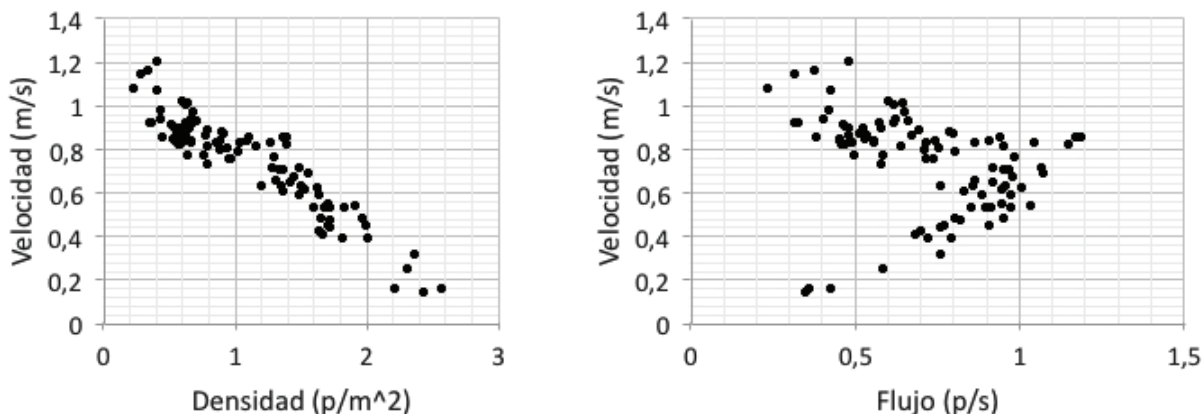
K_c = Densidad de congestionamiento (p/m²)

K = Densidad peatonal (p/m²)

Cuando se presenta un volumen peatonal bajo, el espacio disponible (densidad) para cada peatón permite que se desarrollen velocidades “altas” a flujo libre, pero a medida que va aumentando el volumen de peatones, la reducción de espacio incrementa la fricción entre peatones, lo que disminuye la velocidad de caminata.

Cuando se alcanza el máximo volumen (capacidad de la acera), si la demanda sigue aumentando, las características del flujo tienden a empeorar debido a la evidente restricción de espacio, lo que reduce tanto la velocidad como el volumen hasta llegar a la condición de detención (densidad de congestionamiento). Fruin (1971) propuso dos modelos lineales para flujos peatonales unidireccionales y bidireccionales con base en datos recolectados en un terminal de buses en New York con alto tráfico de personas al trabajo. Modelos separados también sugirieron algunas pérdidas de capacidad debidas a flujo bidireccional como el de Saberi *et al.* (2015). Para vías en espacios interiores en una estación de tren encontrado por Lam y Cheung (2000) en Hong Kong, las curvas muestran velocidades un tanto mayores a bajas densidades.

Figura 1: Relación entre la velocidad media de caminata y las otras variables macroscópicas



Fuente: Guío *et al.* (2014)

Otros autores como Tan *et al.* (2007) y Wen *et al.* (2007) han encontrado mediante estudios en poblaciones de China como Nanjing y Shanghai que los factores que tienen mayor incidencia en el nivel de servicio peatonal en aceras son: elementos de separación entre flujo peatonal y vehicular, volumen de tránsito peatonal, volumen vehicular y de bicicletas, obstáculos en la acera y discontinuidades en la acera por intersecciones y elementos generadores de flujos conflictivos. Seyfried *et al.* (2006) estudian el efecto, en los modelos de flujo, del espacio ocupado por el peatón en función del ancho de la elipse corporal.

El enfoque de las variables microscópicas que se considera en este trabajo, tiene en cuenta el efecto de las variables microscópicas en la velocidad de caminata, las cuales representan características individuales de los peatones o su entorno directo. Trabajos como el de Tarawneh (2001), Jianhong *et al.* (2012) o Chandra y Bharti (2013) encontraron entre otras:

- Asociadas al entorno o infraestructura: tipo de zona, pendiente longitudinal, condiciones climáticas, e incluso el tamaño de la ciudad.
- Propias del peatón: género, edad, grupos, pelotones, paquetes, condición de movilidad reducida, motivo del viaje, distancia caminada.

Otros trabajos como el de Daamen y Hoogendoorn (2003), plantean diseños experimentales para hacer la medición de parámetros microscópicos del flujo peatonal y hacen una interesante revisión de variables que pudiesen ser consideradas como la prisa, estado de salud, estatura, tipo de ropa, percepción de seguridad y espacio personal.

Este trabajo hace parte de una investigación que tiene como objetivo establecer una metodología o un modelo de capacidad y calidad del servicio en infraestructuras peatonales urbanas, inicialmente en aceras. En el trabajo de Guío y Dueñas (2010) se encontró que los valores de velocidad de caminata observados en campo son significativamente distintos a los valores medios que sugiere y utiliza la metodología del Highway Capacity Manual – HCM 2010, (TRB 2010), por lo que la estimación de capacidad y calidad del servicio de las aceras observadas estaba sobredimensionada. Este resultado motivó la continuidad en la investigación para determinar los factores que inciden en la velocidad de caminata.

Inicialmente se prevé que el resultado de este trabajo sirva como insumo para establecer con mayor precisión los modelos de capacidad y calidad del servicio que ofrecen las aceras Guío *et al.* (2014), sin embargo, los resultados podrían ser utilizados en procesos de evaluación económica de proyectos de infraestructura urbana, en procesos de planificación y diseño operacional de sistemas de transporte, diseño de fases semafóricas para peatones, entre otros.

El entorno de observación del proyecto fue la ciudad de Tunja, capital del departamento de Boyacá en la región central de Colombia. Según Gidpot (2012) la ciudad tiene una población cercana a 200.000 habitantes, y en ella el sistema de transporte peatonal es el principal modo de transporte para cerca de 65.000 residentes que realizan 154.561 viajes a pie/día. La distancia promedio del viaje peatonal es de 1500 metros (mínima 400 metros, máxima 7000 metros), el tiempo medio del desplazamiento es de 20 minutos, a una velocidad media de 4,4 km/h. Del total de viajes a pie en la ciudad, cerca del 30% se realiza teniendo como origen o destino el centro histórico de la ciudad.

En los últimos años, los viajes peatonales se han incrementado en Tunja, ya que mientras en el 2003, el porcentaje de viajes a pie con respecto al total de viajes diarios era del 33% y la distancia media de caminata era de 1000 metros, en el 2012, el porcentaje de viajes a pie subió cerca de un 10% y la distancia media del desplazamiento en un 50%. Las tasas de viajes son de 2,4 viajes a pie por usuario, y 892 viajes diarios peatonales por cada 1000 habitantes (Gidpot, 2012).

Sobre la base de lo anterior, surge la necesidad de establecer las razones por las cuales los valores de velocidad media de caminata medidos en campo resultan menores a los que habitualmente se utilizan como parámetros en el diseño de infraestructuras, o en la configuración de los cruces, o en la estimación de la capacidad. Se buscó entonces calibrar un modelo que pudiese predecir la velocidad media a partir de características individuales o microscópicas de cada individuo.

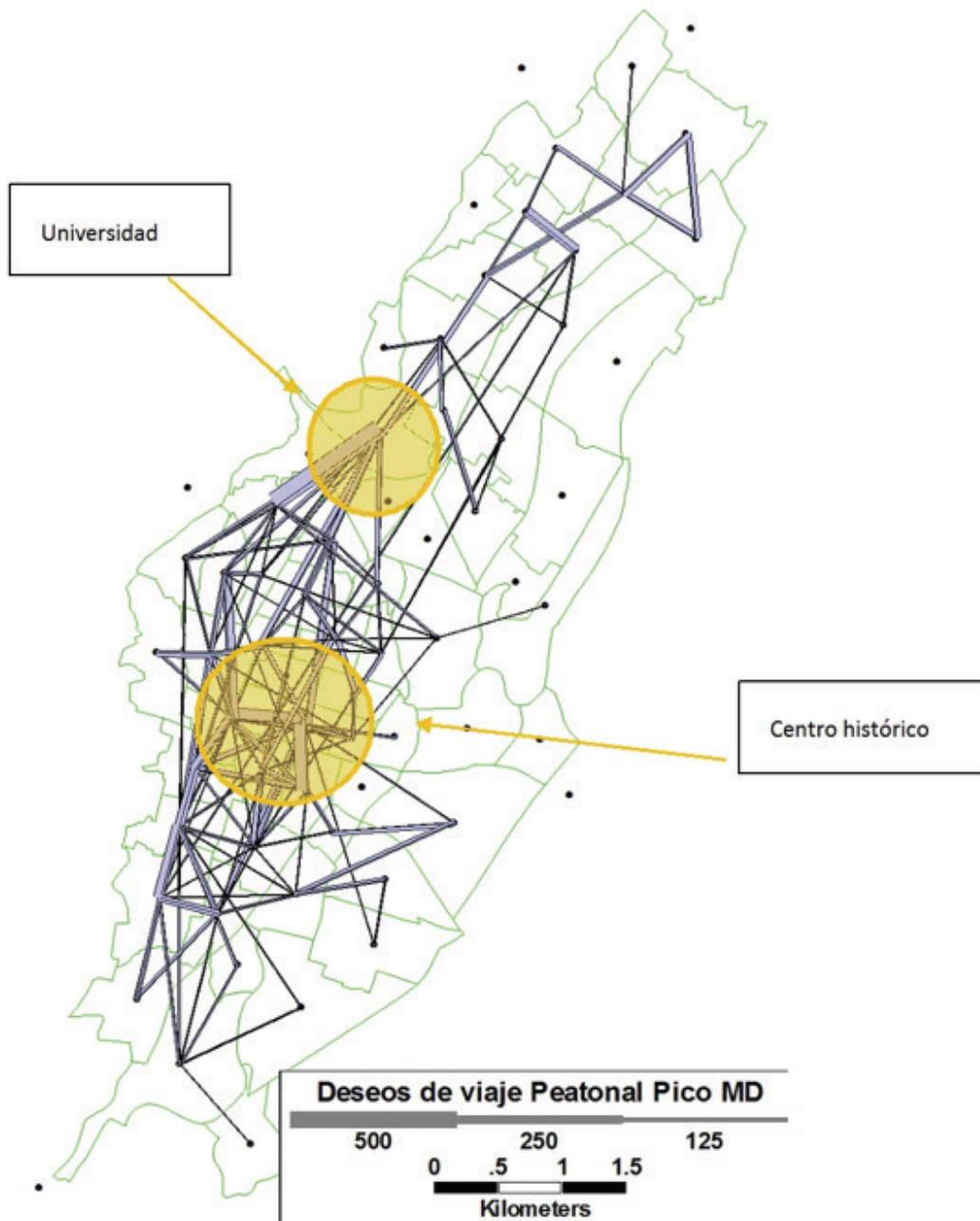
2. METODOLOGÍA

2.1 Sitios de muestreo y condiciones generales

Se definieron dos zonas para la toma de información: el centro histórico de la ciudad y el campus de la universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia que se muestran en la Figura 2 dentro de los círculos de color amarillo. Estas zonas son representativas de la movilidad a pie en la ciudad, ya que en conjunto atraen cerca del 60% de los viajes peatonales de Tunja que se realizan en un día típico, es decir cerca de 93.000 viajes al día (Gidpot, 2012).

El centro histórico comprende un área cercana a los 250.000 m², es decir unas 25 manzanas, y concentra más del 22% de los viajes diarios de la ciudad de Tunja. De la misma forma, el campus de la universidad tiene un área superior a los 120.000 m² y cuenta con más de 22.000 estudiantes, por lo que se moviliza en promedio un volumen de 38.000 peatones al día.

Figura 2: Deseos de viajes peatonales en Tunja



Fuente: Gidpot (2012)

2.2 Muestreo y captura de información

Una vez definidas las zonas de toma de información, se establecieron 42 puntos de medición de velocidades considerando variaciones en parámetros como el ancho de la acera y pendiente longitudinal.

Para la medición de velocidades de caminata y caracterización de usuarios se utilizaron las técnicas de medición manual y grabaciones en video, esta última permite realizar una mejor selección de las muestras y una caracterización más detallada

de los peatones y su interacción. Debido a que las aceras consideradas tienen un volumen peatonal significativo, se utilizaron videos de 10 minutos en cada punto, de los cuales se tomaron muestras aleatorias que garantizan una confiabilidad mayor al 95% de acuerdo con la ecuación (2).

$$n \geq \left(\frac{Z_{\alpha/2} * \sigma}{e} \right)^2 \quad (2)$$

Donde:

n : tamaño de la muestra,

$Z_{\alpha/2}$: Valor de la variable aleatoria continua Z en una distribución normal estándar, para un nivel de confianza $(1-\alpha)$, generalmente 95%,

σ : Desviación estándar de las velocidades de caminata (se utilizó un estimado de 0.2 m/s), y

e : error máximo admisible con respecto a la velocidad media (se asumió 0.05 m/s)

Las observaciones se realizaron a nivel de aceras, ya que para estas infraestructuras se tiene calibrada la relación entre las variables macroscópicas –volumen, velocidad y densidad– en el entorno estudiado, mientras que en el caso de las vías peatonales exclusivas solamente se cuenta con mediciones en condiciones de flujo libre, con grados de saturación inferiores a 0.2.

La metodología de campo comienza con una caracterización física de la acera a través de inventario, en el cual se identifican aspectos como: ancho total, localización, tipo y dimensiones de los obstáculos, pendiente longitudinal, estado de la acera (daños), y condiciones de la sección transversal (separación del tráfico vehicular).

Posteriormente se determina la mejor sección para realizar la toma de información mediante el video, se requiere que haya una visual perpendicular a la acera, y que se observe una sección de al menos 6 m de largo. En algunos casos fue necesario realizar las filmaciones desde balcones o el interior de viviendas o establecimientos de comercio, esto con el fin de no alterar el comportamiento habitual de los peatones.

Antes de comenzar con el proceso de filmación resulta conveniente establecer una delimitación del área para medición de velocidades. En la Figura 3 se muestra una sección de acera en la cual se realizó una filmación. En este caso se utilizó una base de 5 m de longitud cuyas marcas de piso se observan en la imagen. La base de 5 m se utilizó porque se busca medir velocidad de punto, por lo que asumir distancias mayores genera distorsión por la distribución espacial, adicionalmente las trayectorias de los peatones son más difíciles de establecer al aumentar el valor de la base. Por otra parte, utilizar una distancia menor puede causar un incremento en el error de medición de los tiempos.

Figura 3: Filmación de peatones en una base de 5 m



Fuente: Quintero y Salcedo (2013)

El tamaño total de la muestra fue de 1440 datos, provenientes de observaciones en 24 sitios diferentes, 18 en el centro de la ciudad, y 6 en un entorno universitario. En cada punto se tomaron 60 datos mediante un proceso de selección aleatoria sistemática que consiste en seleccionar uno de cada “x” peatones que pasan en cada sentido. Este proceso sistemático evita que se sesgue la muestra y facilita el proceso de medición.

La selección de los sitios obedeció a los siguientes criterios:

- Alto flujo peatonal en periodos de alta demanda.
- Facilidad de instalación de equipo de video o ubicación del observador.
- Variación en la pendiente longitudinal de la acera entre diferentes puntos.

La reducción de información de video a las bases de datos fue realizada manualmente, ya que se debía caracterizar cada peatón en la muestra aleatoria, este proceso requiere que la calidad del video sea adecuada para diferenciar los rasgos específicos de cada usuario como su edad, género y porte de objetos.

La diferenciación de los rangos de edad requirió una capacitación adicional en campo y oficina de las personas encargadas de la codificación, este proceso fue cuidadoso, especialmente en la diferenciación entre niños y jóvenes, para lo que se establecieron criterios como la estatura, forma de vestir, y compañía de adultos.

El porte de objetos o paquetes se estableció bajo el criterio de considerar que un paquete es un elemento que porta el peatón en sus manos y genera dificultad al movimiento natural del mismo. En esta categoría se descartaron los morrales o elementos cargados en el hombro, ya que permiten el libre movimiento de los brazos al caminar.

2.3 Variables observadas

Las mediciones de velocidad de caminata se realizaron sobre una base de 5 m y se registraron atributos del entorno y los usuarios; las variables observadas en cada caso se muestran en la Tabla 1. Estas variables fueron seleccionadas a partir de estudios previos realizados por Guío y Dueñas (2010) donde se identificaron factores que afectan la velocidad media de caminata a partir de observaciones de campo.

Tabla 1: Variables observadas

Variable	Nivel	N
Ancho efectivo	-	-
Zona	Centro	1080
	Estudio	360
Estado	Bueno	1020
	Malo	420
Pendiente*	≤ 3%	960
	> 3%	480
Paquetes	Con	312
	Sin	1128
Compañía	Con	906
	Sin	534
Género	Femenino	734
	Masculino	706
Edad	Niños	173
	Jóvenes	504
	Adultos	676
	Mayores	87

* La pendiente menor que el 3% se consideró terreno plano debido a la topografía del entorno

Se consideraron variables como el estado de la acera, que no están presentes en otros estudios, ya que en el entorno estudiado es común encontrar daños en la superficie, obstáculos o discontinuidades que brindan unas condiciones deficientes para la caminata.

Otras variables como caminar en grupo o “compañía” se han estudiado con mayor detalle en trabajos como el de Tarawneh (2001), donde se consideran las características del grupo como tamaño y género. Adicionalmente se consideró estimar el impacto que tiene el ancho efectivo reducido, puesto que además de incidir en la densidad y el flujo como se muestra en la Figura 1, afecta la velocidad de caminata al restringir el espacio disponible.

El clima no fue considerado como variable determinante, ya que por las características geográficas de la ciudad - localizada sobre la Cordillera de los Andes a 2.700 metros sobre el nivel del mar, cerca del Ecuador y con una temperatura media anual de 14 grados Celsius – se presentan condiciones de baja pluviosidad, no hay estaciones, y las variaciones en las condiciones climáticas son leves durante la mayor parte del año. Por esta razón, todas las observaciones se realizaron en condiciones de clima no lluvioso.

El estudio se enfocó en la observación de variables microscópicas del flujo peatonal, por esta razón no se tuvo en cuenta la densidad (peatones/m²), esta variable fue observada en un estudio previo por Guío y Dueñas (2010) con el objeto de calibrar un modelo de flujo en condiciones base o ideales de caminata (hombres jóvenes, terreno plano, aceras anchas, sin objetos y caminando solos).

Se utilizaron variables categóricas, con el objetivo de calibrar un modelo de pronóstico mediante regresión lineal múltiple para obtener el predictor de velocidad. Se asignó el valor de cero “0” a la condición base de la variable en estudio, por ejemplo: la condición base para el género es “masculino”, así que para el género masculino el valor asignado es cero, y para el femenino le corresponderá el valor uno “1”.

El modelo de regresión se calibró utilizando un proceso de eliminación hacia atrás mediante análisis de varianza. Finalmente, el modelo fue validado mediante toma de información en un corredor del centro de la ciudad.

3. RESULTADOS

La Tabla 2 muestra la velocidad media espacial, percentil 15 y percentil 85 en relación con la edad y género de los peatones. El percentil 15 se utiliza frecuentemente como parámetro base en el cálculo de tiempos de verde en cruces peatonales controlados con semáforos. Los resultados muestran que, en general, la velocidad de caminata de los hombres es mayor que la de las mujeres; de la misma forma, las personas jóvenes son los usuarios más rápidos y los adultos mayores los de menor velocidad media de caminata.

Tabla 2: Velocidad peatonal en relación con la edad y género

Grupo de edad (años)	Velocidad de caminata (m/s)					
	Mujeres			Hombres		
	Media espacial	Percentil 15	Percentil 85	Media Espacial	Percentil 15	Percentil 85
<= 12 años	1,20	1,06	1,34	1,20	1,05	1,32
>12- 25 años	1,31	1,07	1,55	1,43	1,23	1,62
>25- 60 años	1,20	1,01	1,38	1,28	1,04	1,50
> 60	1,00	0,82	1,20	1,09	0,88	1,24

En la Tabla 3 se muestra el efecto de la pendiente longitudinal observada, en combinación con el estado de la acera, en general un aumento de la pendiente de la acera reduce la velocidad media de caminata en aproximadamente 0,13 m/s, mientras que el mal estado de la acera reduce cerca de 0,04 m/s la velocidad media.

La Tabla 4 muestra que la velocidad de caminata se incrementa a medida que aumenta el ancho efectivo de la sección transversal en la acera. Adicionalmente se encontraron variaciones significativas de la velocidad de caminata relacionadas con el porte de paquetes y la caminata en grupos con respecto a ir solo.

Tabla 3: Velocidad peatonal en relación con la pendiente y estado de la acera

Pendiente longitudinal	Velocidad de caminata (m/s)					
	Buen estado			Mal estado		
	Media espacial	Percentil 15	Percentil 85	Media espacial	Percentil 15	Percentil 85
≤ 3%	1,32	1,10	1,56	1,28	1,03	1,54
3%- 7%	1,19	0,91	1,48	1,14	0,85	1,46

Tabla 4: Velocidad peatonal en relación con la pendiente y estado de la acera

Ancho efectivo (m)	Velocidad de caminata (m/s)		
	Media espacial	Percentil 15	Percentil 85
< 2	1,13	0,85	1,42
2,5 – 3	1,16	0,88	1,45
3- 3,5	1,30	1,08	1,53
> 3,5	1,37	1,14	1,59

Se realizó una prueba de la significancia estadística de las diferencias encontradas con respecto a las variables mencionadas mediante análisis de varianza de 10 factores, cuyos resultados se muestran en la Tabla 5.

De esta manera se obtuvo un modelo de predicción para la velocidad de caminata en función de la composición peatonal (características propias del peatón) y características de la infraestructura peatonal como el ancho efectivo, que se observó en un rango entre 1,7 m y 4 m.

El proceso de validación del modelo se realizó a través de observaciones posteriores en dos aceras del centro de la ciudad de Tunja con una muestra de 510 peatones seleccionados en forma aleatoria sistemática. Los resultados se muestran en la Figura 4 discriminados en los promedios generales por género y rango de edad. La función de línea continua representa los datos medidos en campo y la función de línea punteada los datos pronosticados por el modelo. Se llevó a cabo una estimación de bondad de ajuste mediante RMSE (*Root Mean Square Error*), que arrojó un valor de 8,16% por lo que se considera que el modelo predice con una adecuada precisión las condiciones medidas en campo.

4. FUTURAS INVESTIGACIONES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Los resultados presentados en este artículo provienen de la observación de variables de tipo microscópico principalmente, una de las limitantes del estudio es precisamente esa, ya que no se establece la relación que generan las variaciones en la densidad y volumen de tránsito en la acera, que se muestran en la Figura 1. En este caso se realizaron las mediciones en condiciones de flujo normal, es decir con valores de grado de saturación (v/c) menores a 0,6. En trabajos futuros se incorporará el modelo con todas las variables tanto microscópicas como macroscópicas, en este caso el efecto del ancho efectivo sería absorbido por el volumen y la densidad, que son inversamente proporcionales al ancho disponible en la acera.

En el modelo se consideraron variables que pueden estar correlacionadas, como es el caso de la edad y el tipo de zona.

La variable “va acompañado” se consideró como binaria en el estudio, sin embargo, el tamaño de grupo tiene un efecto en la velocidad media como en el estudio de Moussaid *et al.* (2010), por lo que en estudios futuros será considerada.

Respecto al tipo de zona, se recomienda que en estudios posteriores se realicen observaciones en otras zonas, tales como accesos a estaciones de transporte masivo y zonas de turismo.

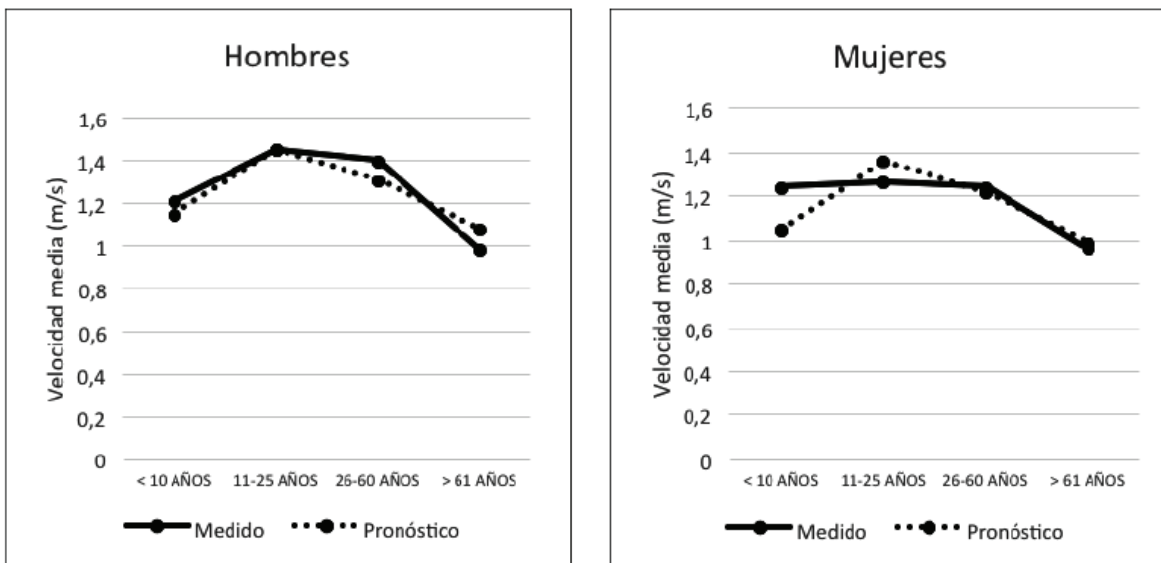
El estudio de la interacción de estas variables, y otras de creciente interés (como el uso de dispositivos móviles mientras se camina) permitirán desarrollar mejores modelos de capacidad y calidad del servicio en aceras, este trabajo también resulta de utilidad para establecer parámetros de diseño en cruces peatonales, especialmente en zonas de alta demanda.

Tabla 5: Modelo de regresión calibrado

Predictor	Símbolo	Coficiente*	Nivel
Constante	β_0	1,12654	
		(14,51)	-
Ancho efectivo (m)	A	0,15747	
		(5,24)	-
Tipo de zona	Z	-0,29094	Z = 0: centro
		(-5,28)	Z = 1: estudiantil
Estado de la acera	E	-0,04882	E = 0: bueno
		(-2,01)	E = 1: malo
Pendiente longitudinal	P	-0,11609	P = 0: baja ($\leq 3\%$)
		(-7,77)	P = 1: media (3%- 7%)
Lleva paquetes	Pa	-0,05211	Pa = 0: no
		(-2,45)	Pa = 1: si
Va acompañado	C	-0,07443	C = 0: no
		(-3,03)	C = 1: si
Género	G	-0,090991	G = 0: masculino
		(-9,11)	G = 1: femenino
Adulto	Ad	-0,13815	Ad = 0: no adulto
		(-9,78)	Ad = 1: adulto
Niño	N	-0,30539	N = 0: no niño
		(-14,09)	N = 1: niño
Adulto mayor	Am	-0,36885	Am = 0: no mayor
		(-22,32)	Am = 1: mayor

* El valor t calculado se muestra entre paréntesis

Figura 4: Validación del modelo en campo



5. CONCLUSIONES

Las velocidades observadas en campo muestran que hay una diferencia significativa en la velocidad de caminata en función del género y edad de los peatones, los usuarios más rápidos son los hombres jóvenes, tal como se encuentra en la literatura disponible.

El ancho efectivo de la acera es una variable significativa en la variación de la velocidad media de caminata, esta variable se relaciona en forma directa con la densidad y el volumen peatonal.

En el diseño de cruces peatonales en la ciudad, puede utilizarse un valor de 0,85 m/s, que corresponde al percentil 85 de la velocidad de caminata en las categorías de peatones vulnerables.

La variable “tipo de zona” muestra un coeficiente con signo negativo, por lo que en las zonas estudiantiles se observa una menor velocidad media con respecto al centro de la ciudad, este resultado no se esperaba, ya que son zonas con personas jóvenes en su mayoría. El valor obtenido pudo deberse a las fluctuaciones en el comportamiento en la entrada y salida de peatones a la universidad, las cuales se realizan a velocidades diferentes en función de la hora del día y del sentido de circulación.

El modelo calibrado muestra que el porte de paquetes en la mano, así como el caminar en grupo reduce la velocidad de caminata de los peatones.

En la población estudiada se encontró que la velocidad de caminata promedio es ligeramente menor que los valores recomendados en la mayoría de los manuales de ingeniería como parámetro de diseño (por ejemplo 3,5 ft/s para cruces peatonales en intersecciones (Highway Capacity Manual 2010))

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Ph D. Domingo Ernesto Dueñas, a los profesores y estudiantes de la Escuela de Ingeniería de Transporte y Vías de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

REFERENCIAS

Chandra, S. y Bharti, K. (2013) Speed distribution curves for pedestrians during walking and crossing. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, 104, 660-667.

Daamen, W. y Hoogendoorn, S (2003) Experimental research of pedestrian walking behavior. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, 1828, 20-30.

Fruin, J. (1971) **Pedestrian planning and design**. Metropolitan Association of Urban Designer and Environmental Planners, Inc., New York.

GIDPOT (2012) Estudio de transporte para la ciudad de Tunja. Convenio de cooperación 010 de 2012 suscrito entre la Alcaldía de Tunja y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Grupo de Investigación y Desarrollo en Planeación y Operación del Transporte. Municipio de Tunja. Disponible en línea en www.tunja.gov.co.

Greenshields, B. (1934) A study of Highway capacity. Proceedings of the Highway Research Board, Vol. 14. Transportation Research Board. National Research Council. Washington DC.

Guío, F. y Dueñas, D. (2010) Caracterización y modelación de flujos peatonales en infraestructuras continuas – caso estudio Tunja. **Revista Facultad de Ingeniería**, 24, 114-125.

Guío, F., Dueñas, D. y Díaz, S. (2014) Methodology for estimating capacity and level of service in sidewalks. XVIII Congreso panamericano de ingeniería de tránsito, transporte y logística – PANAM 2014. Santander, España.

Jianhong, Y., Xiaohong, C., y Nanjing, J.(2012) Impact analysis of human factors on pedestrian traffic characteristics. **Fire safety journal**, 52, 46-54.

- Lam, W.H.K. y Cheung, C. (2000) Pedestrian speed flow relationships for walking facilities in Hong Kong. **Journal of Transportation Engineering**, 126(4), 343–349.
- Moussaid, M., Perozo, N., Garnier, S., Helbing, D. y Theraulaz, G. (2010) The walking behavior of pedestrian social groups and its impact on crowd dynamics. **PLoS ONE**, 5, e10047
- Paraskev, C. and Magdalini, P. (2012) Development of model for the estimation of pedestrian level of service in Greek urban areas. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, 48, 1691– 1701.
- Quintero, W. y Salcedo C. (2013) Calibración y validación de parámetros en un modelo de flujo peatonal. Trabajo de grado de pregrado, Escuela de Ingeniería de Transporte y Vías, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Saberi, M., Kayvan, A., y Amir, S. (2015) Spatial fluctuations of pedestrian velocities in bidirectional streams. Exploring the effects of self-organization. **Physica A**, 434, 120-128.
- Seyfried, A., Steffen, B. y Lippert, T. (2006) Basics of modelling the pedestrian flow. **Physica A**, 368, 232-238.
- Tan, D., Wang, W., Lu, J. y Bian, Y. (2007) Research on methods of assessing pedestrian level of service for sidewalk. **Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology**, 7(5), 74-79.
- Tarawneh, M. (2001) Evaluation of pedestrian speed in Jordan with investigation of some contributing factors. **Journal of Safety Research**. 32, 229-236.
- TRB (2010). Off-street Pedestrian and Bicycle Facilities, in **Highway Capacity Manual**. Transportation Research Board, Washington, DC. Chapter 23.
- Wen, Y., Yan, K. y Yu, C. (2007) Level of service standards for pedestrian facilities in shanghai metro stations. Proceedings International Conference on Transportation Engineering. 22-24 julio 2007, Chengdu, China.

