

Título: “Modelo Semifísico de Velocidad Media Ciclista en Tránsito Mixto”

García, Zarina Rocío ^a; Altamira, Aníbal ^b

^a Universidad Nacional de San Juan, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña.

^b Universidad Nacional de San Juan, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña.

rgarcia@eicam.unsj.edu.ar

Resumen

En las últimas décadas la bicicleta se ha concebido como medio de transporte urbano. Debido a esto, poca es la bibliografía que aporte información sobre la velocidad que un ciclista puede adquirir en una vía. Tampoco se brinda detalle de como la infraestructura y el entorno imprimen modificaciones en el comportamiento de este conductor. El presente trabajo de investigación expone el desarrollo de un modelo semifísico de base fenomenológica (MSBF), para determinar la velocidad media de un ciclista que circula en condiciones de tránsito mixto y bajo la influencia de las condiciones presentes de la calzada y del entorno de la vía. En función del conocimiento de la velocidad desarrollada por un ciclista sería posible determinar el tiempo que el mismo se demoraría en acceder a un determinado sitio y de esta forma comparar qué modo de transporte escoger para efectuar su viaje. En la consideración de la fenomenología subyacente, se planteó una analogía que trata al tránsito como un fluido circulando por una tubería. Esta analogía posibilitó formular la estructura básica y extendida del modelo que se presenta. Esta propuesta de modelo necesita, para su utilización en actividades de simulación, de la correspondiente validación y consideración de factores de calibración. Estos aspectos se dejan planteados como actividad futura a realizar en este trabajo de investigación.

Palabras clave: modelo semifísico, velocidad media, ciclista

INTRODUCCIÓN

La temática abordada en la investigación no solo es relevante desde una perspectiva académica y técnica, sino que también reviste una importancia práctica considerable para urbanistas, planificadores de transporte y legisladores interesados en promover políticas públicas que favorezcan la movilidad activa y segura. Al comprender mejor los factores que influyen en la velocidad del ciclista, podemos diseñar infraestructuras más adecuadas, implementar medidas de seguridad efectivas y fomentar el uso de la bicicleta como una alternativa viable y sostenible en nuestras ciudades.

OBJETIVOS

El objetivo principal de la investigación radica en desarrollar un modelo que permita determinar la velocidad media de un ciclista inserto en un flujo vehicular. Los objetivos específicos planteados se listan a continuación:

- Plantear los sistemas de procesos que permitan identificar las relaciones existentes entre las variables que intervienen en el estudio.
- Proponer las ecuaciones que definan la estructura básica y valoración empleando una

analogía de un líquido circulando por una tubería.

- Construir una base datos para alimentar el modelo y ajustarlo.
- Determinar medidas de velocidad en la red para validar el modelo construido.

MATERIALES Y MÉTODOS

La construcción del modelo semifísico se planteó, conforme a la metodología propuesta por H. Álvarez (Álvarez, 2009) conforme a lo siguiente:

1. Descripción del proceso y objetivo del modelo

Mediante la descripción del proceso se identificaron los elementos de la vía que afectan a la variable bajo estudio y como cuantificar estas interacciones. Para ello, se empleó el recurso de la analogía de un fluido circulando por una tubería, ver Figura 1. La vía emulada por una tubería presenta cambios en su sección (reducciones y ampliaciones), en su material constitutivo y se le adicionan válvulas en los extremos. Las reducciones y ampliaciones de la sección simulan los cambios en los anchos de carriles de las vías, los cambios en el material del conducto intentan evaluar la presencia de estacionamientos en la vía y las válvulas representan las intersecciones en los extremos de los tramos.

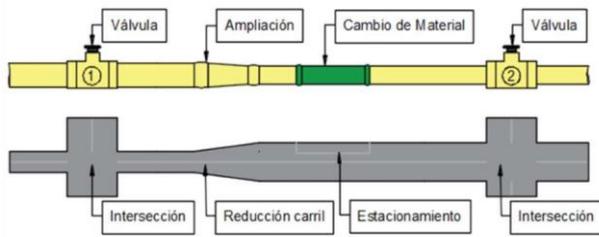


Figura 1: analogía planteada

2. Definición de la hipótesis de modelado y nivel de detalle

La hipótesis planteada para la investigación fue la siguiente: “La velocidad media de circulación de un ciclista se ve afectada por las características geométricas y superficiales de la vía y por la interacción con otros medios de transporte”. El nivel de detalle del modelo es del tipo macroscópico.

3. Definición de los sistemas de procesos

En la investigación se plantearon cinco sistemas de procesos y se muestran en Figura 2. Estos son: Infraestructura vial (SPI), Tránsito (SPII), vehículos motorizados (SPIII), bicicletas (SPIV) y Sistemas Total (SPV). Sobre estos se identifican las relaciones que se dan entre las partes como: las fuerzas resistivas entre los vehículos motorizados y los ciclistas como fr_1 y fr_2 , y las fuerzas de interacción de los vehículos con la infraestructura como fr_3 y fr_4 .

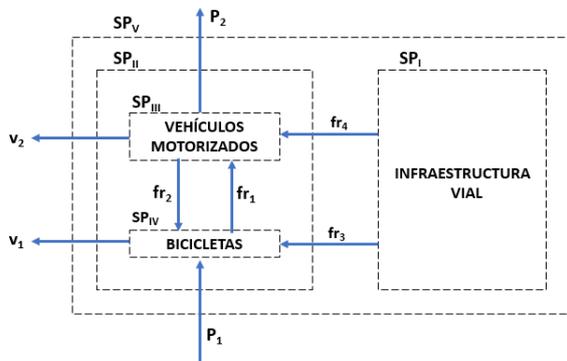


Figura 2: Sistemas de procesos

4. Aplicación del principio de conservación

Sobre el sistema de proceso tránsito se aplicó el principio de conservación de la cantidad de movimiento. De acuerdo con la analogía planteada se utilizó la ecuación de Bernoulli, la cual incorpora las presiones de entrada y salida (P_1 y P_2) como las encargadas de generar el movimiento del fluido en la tubería. Esto permitió incorporar las pérdidas de carga

en el fluido producto de la interacción con los accesorios y cambios de material.

5. Definición de la estructura básica del modelo

El paso anterior permitió definir la estructura básica del modelo que se muestra en Ecuación 1.

$$\bar{v} = \frac{\sqrt{2g}}{\sqrt{\sum k_i + \sum \lambda_i}} \sqrt{\frac{1}{\rho^*}} \beta$$

Ecuación 1

6. Definición de variables constantes y parámetros del modelo

Sobre la estructura básica se identificaron las variables, constantes y parámetros del modelo donde v es la única variable del modelo, λ_i , k_i y ρ son parámetros estructurales y β es una constante estructural.

7. Definición de las ecuaciones constitutivas y de valoración del modelo

Para completar la estructura básica definida se plantearon submodelos siguiendo la analogía descrita. De esta manera se obtuvieron las ecuaciones constitutivas y de valoración. En Figura 3 se muestran las variables introducidas en los submodelos para las analogías empleadas.

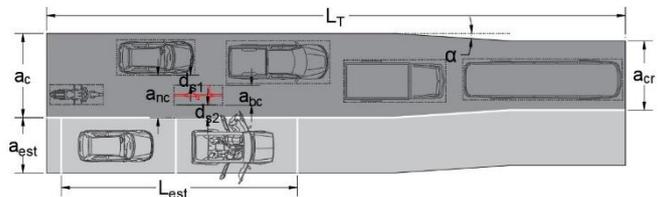


Figura 3: variables empleadas en el modelo

Submodelo densidad del fluido (ρ^*) cuantifica la cantidad de vehículos circulando por la vía. Esta densidad se calculó estableciendo una relación de áreas para los vehículos presentes y las dimensiones de la calzada de acuerdo con la Ecuación 2.

$$\rho^* = \frac{\sum \bar{A}_i n_i}{A_T n_T}$$

Ecuación 2

Donde \bar{A}_i es el área promedio de cada vehículo representativo, n_i la cantidad de estos, A_T el área total de la calzada y n_T la cantidad total de vehículos presentes en el tramo. La densidad de ocupación vehicular definida de esta forma deberá ser siempre menor al A_T . Donde $A_t = L_T * a_c$

Submodelo pérdida de carga localizada interacción vehículo-bicicleta (k_1), cuantifica la pérdida de velocidad que experimenta el ciclista por la interacción con otros vehículos y se cuantificó empleando la analogía de pérdida de carga por incorporación de una reja, conforme a la Ecuación 3, donde a_c es el ancho del carril y a_{vp} es el ancho promedio de los vehículos de mayores dimensiones que circulan por la vía. El ancho de circulación disponible, a_{cd} , queda definida por la resta entre el ancho de la calzada y el ancho promedio de los vehículos de mayor porte.

$$k_1 = \frac{a_c}{a_c - a_{vp}} = \frac{a_c}{a_{cd}}$$

Ecuación 3

Submodelo pérdida de carga localizada por cambios en la sección transversal (k_2): cuantifica los cambios por estrechamiento o ampliación en los anchos de carril de acuerdo con Ecuación 4.

$$k_2 = \alpha \frac{a_{cr}}{a_c}$$

Ecuación 4

Submodelo pérdida de carga distribuida con las paredes de la tubería (λ_1): cuantifica la interacción del ciclista con el estado de la superficie de la calzada de acuerdo con la Ecuación 5, donde el coeficiente f_1 representa el IRI.

$$\lambda_1 = f_1 L_T$$

Ecuación 5

Submodelo pérdida de carga distribuida debido a la rugosidad del material de la tubería (λ_2) cuantifica la reducción de la velocidad del ciclista debido a la presencia de estacionamiento sobre la vía conforme a la Ecuación 6.

$$\lambda_2 = f_2 \frac{L_T}{a_c} = \left(L_{est} \frac{\overline{a_{vp}}}{\overline{a_{est}}} \right) \frac{L_T}{a_c}$$

Ecuación 6

Donde el factor f_2 es el encargado de cuantificar el efecto de fricción sobre el flujo vehicular que induce la presencia de estacionamiento. Se definió como el cociente entre el ancho promedio de los vehículos de mayor porte, $\overline{a_{vp}}$, y el ancho promedio del estacionamiento en el tramo considerado, $\overline{a_{est}}$, afectado por la longitud destinada a estacionamiento, Adicionalmente deberá cumplirse la condición $L_{est} \leq L_T$.

RESULTADOS

El modelo queda expresado como se indica en la Ecuación 7:

$$\bar{v} = \frac{\sqrt{2g}}{\sqrt{\sum k_i + \sum \lambda_i}} \sqrt{\frac{1}{\rho^*}} \beta$$

Ecuación 7

Donde,

$\sum k_i$, $\sum \lambda_i$ se refieren a la sumatoria de las fuerzas que representan las restricciones o la oposición al movimiento del ciclista en la vía. Entre ellas se consideraron:

k_1 , interacción entre vehículos.

k_2 , interacción por cambio de sección en la calzada.

λ_1 , interacción con la superficie de rodadura de la calzada.

λ_2 , interacción por presencia de estacionamiento.

ρ^* , densidad de ocupación vehicular.

β , constante introducida para cumplir con la condición de consistencia dimensional del modelo.

g , es la aceleración de la gravedad.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La investigación presentada desarrolló un modelo semifísico de velocidad media para ciclistas en condiciones de tránsito mixto, fundamentado en principios fenomenológicos que simulan de manera efectiva la dinámica vial. Es necesario calibrar al modelo ejecutando mediciones de velocidad en la red para mejorar su precisión y aplicabilidad práctica. Además, la versatilidad del modelo permite su extensión a otros tipos de vehículos, ofreciendo una herramienta adaptable y robusta para la simulación del tránsito urbano. Este enfoque no solo contribuye al desarrollo de modelos de simulación de código abierto, sino que también promueve la eficiencia y seguridad en la planificación y gestión del transporte en entornos urbanos.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, H. (2009). Metodología para la obtención de Modelos Semifísicos de Base Fenomenológica aplicada a una Sulfitadora de Jugo de Caña de Azúcar. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 10-19.
- Hangos, K. &. (2004). *Process Modelling and Modeling Analysis*. San Diego: Academic Press.

