

Bicis y Buses

David contra Goliat en el transporte urbano

Agustín Laguarda

Montevideo, diciembre de 2012

Introducción

El objetivo principal de este trabajo es comparar los tiempos y consumos energéticos de dos diferentes formas de transporte urbano en la ciudad de Montevideo: La bicicleta y el transporte colectivo (ómnibus). ¿Porqué ómnibus? Porque los ómnibus son los representantes más eficientes de los medios de transporte urbanos motorizados¹. ¿Porqué bicicletas? Porque las bicicletas surgen como la alternativa independiente más ecológica, económica y de fácil acceso para la mayoría de la población.

Métodos (y materiales)

El trayecto a estudiar es desde el Espacio Interdisciplinario de la Universidad de la República en J.E. Rodó 1843 esquina Frugoni (E.I.) hasta Av. Italia esquina Blvr. José Batlle y Ordóñez, **4300 metros**.

Ómnibus:

Una unidad urbana moderna consume **0,41 litros de gasoil por kilómetro²**. El diésel ofrece una densidad volumétrica energética de **35,86 MJ/l³**. Conociendo la distancia del trayecto a estudiar se puede calcular el consumo energético estimado como:

(38,86MJ/l) x (consumo litros/km) x (distancia)

Considerando que un ómnibus tiene una capacidad máxima de 42 pasajeros sentados, y 22 pasajeros en promedio se calcula la energía utilizada per cápita en dicho trayecto.

Bicicleta:

Para estimar la potencia necesaria para mantener una bicicleta andando a una velocidad constante se realiza la siguiente práctica: Se mide cuánto tiempo emplea un ciclista y su

bicicleta en disipar toda su energía mecánica (cinética) en condiciones climáticas normales en un trayecto recto y nivelado, suponiendo que la energía se disipa a razón constante se calcula la

potencia de disipación como $\frac{\Delta E}{\Delta t} = P_{dis}$. Se repite el procedimiento en la dirección opuesta y se promedian los diferentes valores para minimizar los posibles efectos de desniveles y del viento.

Observación: $\Delta E = E_f - E_i$ donde $E_f = 0$ y $E_i = (M_{tot} \cdot v^2)/2 + (I_{rt} \cdot \omega^2 + I_{rd} \cdot \omega^2)/2$.

Considerando la condición de rodadura $\omega = v/R$ que las inercias de las ruedas es $I = M \cdot R^2$ y que la masa total es $M_{tot} = M_{cic} + M_{cuadro} + M_{rt} + M_{rd}$. Se tiene la relación

$W = [(M_{cic} + M_{cuadro})/2 + M_{rt} + M_{rd}] \cdot v^2$ Sólo falta calcular el tiempo medio en el trayecto a estudiar, y de esa forma se calcula la potencia media usada en esa trayectoria por la bicicleta. Esta energía es la que deberá proveer el ciclista. Se usa un GPS para medir las distancias, tiempos y velocidades. La bicicleta es rodado 26, sin cambios y no es de uso profesional. ($M_{ciclista} = 84 \text{ kg}$, $M_{rueda\ delantera} = 2,0 \text{ kg}$, $M_{rueda\ trasera} = 2,5 \text{ kg}$, $M_{cuadro} = 7,5 \text{ kg}$)

Además, conociendo la energía disipada y la distancia recorrida por la bici antes de frenarse

también se calcula la energía disipada por

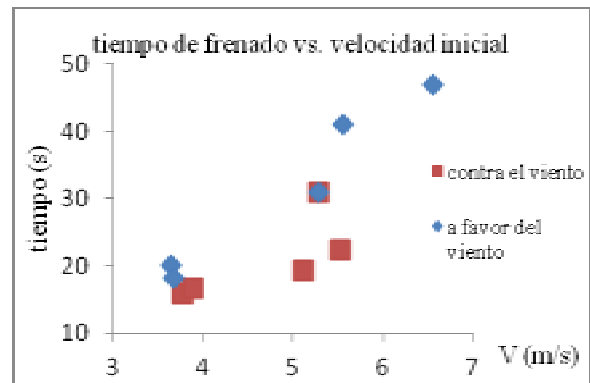
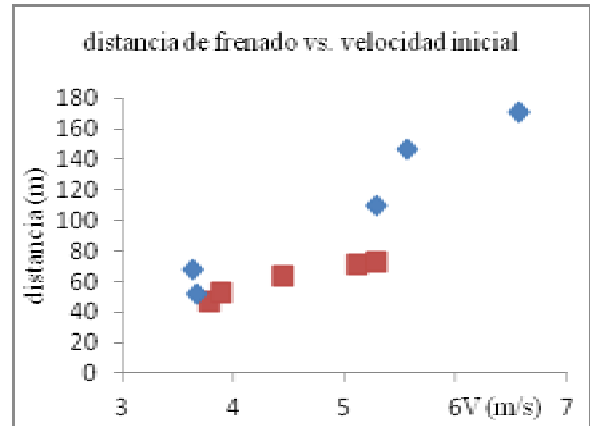
unidad de longitud como: $\frac{\Delta E}{\Delta x}$.

La eficiencia del cuerpo humano está típicamente entre el 20 y el 30%⁴, esto significa que de cada unidad de energía consumida por el cuerpo sólo entre el 0.2 y el 0.3 son transformados en trabajo. Conociendo esto se tiene que la razón de energía consumida por un ciclista para trasladarse es aproximadamente $P_{con} = 4P_{dis}$. (4 J consumidos por el ciclista por cada 1J entregado a la bici)

Resultados

Según los datos tenemos que **18 minutos** es el tiempo empleado por el ciclista en su bicicleta en hacer el recorrido bajo estudio en condiciones normales, mientras que para un pasajero de bus el tiempo es de **19 minutos** en promedio, sin considerar la caminata a la parada más cercana⁵ (alrededor de 4 minutos desde el E.I. hasta 18 de julio esq. Gaboto), y el tiempo de espera en misma (entre 1 y 20 minutos en horarios diurnos). Observación: Los datos obtenidos para el transporte colectivo fueron tomados mayormente en la mañana en días de semana.

Para el cálculo de la disipación de la energía se obtuvieron los datos de tiempos y distancias que aparecen en las siguientes gráficas.



Haciendo los cálculos correspondientes se tiene que el ciclista gasta entre $11,7 J/m$ y $16,5 J/m$.

Considerando la distancia del trayecto estudiado ($4300 m$), y que el ciclista consume 4 unidades de energía para transformar una en trabajo tenemos que el ciclista utiliza entre **0.20 MJ** (viento moderado a favor) y **0.28 MJ** (viento moderado en contra) de energía en el trayecto. También se puede hacer el cálculo a partir de la potencia, que es de entre $39,9 J/s$ y $54,6 J/s$ y el tiempo de traslado en el trayecto. Esto es entre **0,17 MJ** y **0,23 MJ** utilizados por el ciclista.

Mientras tanto, un bus usa **1,6 MJ per cápita** de energía si lleva a 42 personas (la capacidad máxima de pasajeros sentados). En el trayecto estudiado en la hora de la mañana el promedio de pasajeros es de 22, por lo que el consumo del ómnibus aumenta a **3,1 MJ per cápita**.

Un dato interesante surge de calcular cuánto gasoil debería quemar un motor para obtener la energía que requiere la bici para hacer el recorrido. Es decir; cuánto “gasoil equivalente” debería consumir un ciclista. Esto da **0,0077 litros**. Conociendo el precio del Gasoil (\$U 33) se tiene que un ciclista gastaría alrededor de 0,25 pesos (¡¡25 centésimos!!) en el trayecto si tuviera un motor a Gasoil en su interior.

Otro dato de interés es el costo del combustible. En el trayecto estudiado el vehículo gasta 1,76 litros. Si el colectivo tiene 30 personas cada una tendría que pagar \$2 pesos para cubrir los gastos.

Discusión, conclusiones

Tiempo:

El tiempo empleado por el ciclista es prácticamente igual al empleado por el ómnibus (18 min.). Sin embargo el tiempo total para un ómnibus aumenta 16 minutos en promedio (34 min. en total) si consideramos la caminata a la parada más el tiempo de espera. Esto deja en clara ventaja al transporte en bicicleta en este aspecto. Es de suponer que para distancias más largas el ómnibus mejore su tiempo en relación a las bicis, pero esto excede los límites de este estudio.

Energía:

Si bien las medidas fueron hechas en días de poco viento éste igual tiene efectos sobre las mediciones. De todas formas, tomando las condiciones menos favorables para el ciclista tenemos que consume menos de $0,3 MJ$ en el recorrido que es de un orden menor que los gastados por un ómnibus per cápita (entre $1,6$ y $3,1 MJ$). Eso hace a la bicicleta un medio de transporte altamente efectivo desde el punto de vista energético en comparación a los ómnibus y otros medios motorizados. (¡¡la bici gasta entre 5

y 10 veces menos energía!!). La energía que gasta **un** ómnibus en hacer el recorrido es equivalente a la que usarían **224 ciclistas**.

Otros aspectos:

Economía: Mientras que la bicicleta requiere de un desembolso inicial para comprar el vehículo (desde \$2500), después prácticamente no tiene costos, más que el de mantenimiento. El boleto común del ómnibus es de \$19 pesos, cuando en realidad menos de \$2 son para cubrir los gastos energéticos (combustible). El precio de la bici equivale a 132 viajes en ómnibus. Para alguien que viaja dos veces por día en ómnibus de lunes a viernes el precio de la bici equivale a tres meses de transporte colectivo.

Contaminación: La única emisión residual relevante por parte del ciclista es CO₂ proveniente de la respiración. Si bien durante la quema de combustible el ómnibus emite gases inofensivos como nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua e hidrógeno, también emite gases tóxicos como monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno.

Además de la contaminación ambiental hay que tener en cuenta la contaminación sonora. Mientras que el ómnibus es uno de los principales contribuyentes a la polución sonora de la ciudad la bicicleta es prácticamente silenciosa.

Quedará para otros informes estudios más extensivos en otros trayectos y a diferentes horarios o incluso en diferentes épocas del año. *Comentario:* este estudio deja de lado los problemas climáticos de seguridad vial, y los beneficios en salud asociados a la bicicleta, así como el bajo confort y la falta de confianza asociados al sistema de transporte público que también son temas relevantes a la hora de elegir que medio de transporte utilizar.

“Aquellos que quieren controlar sus propias vidas e ir más allá de una existencia como meros clientes y consumidores, esa gente monta en bicicleta.” Wolfgang Sachs

“Cuando veo a un adulto en una bicicleta, no pierdo las esperanzas por el futuro de la raza humana”. H.G. Wells

Agradecimientos

Arq. Carlos Carballal del departamento de transporte de CUTCSA², Gabriela da Rosa

Bibliografía

*“Bicycling science 3rd edition” David Gordon Wilson⁴, www.analiticcycling.com, <http://mb-soft.com/public2/humaneff.html>,
http://es.wikipedia.org/wiki/Normativa_europea_sobre_emisiones, “el consumo energético en el transporte urbano y metropolitano” José V.Colomer Ferrándiz y Ricardo Insa Franco¹,
“Guíapractica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero” Comisión interdepartamental del cambio climático de Cataluña³, “Tank-to-weels report 2007” Joint research centre European commission, <http://www.montevideo.gub.uy/aplicacion/como-ir>⁵*

