CI63G Planificación de Sistemas de Transporte Público Urbano

Clase 13

Semestre Otoño 2008

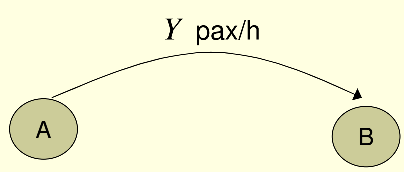
Unidades Temáticas

1. La oferta de transporte público urbano (2 semanas)
2. La demanda por TPU (1,5 sem.)
3. **Diseño y optimización de servicios de TPU (2,5 sem.)**
4. Determinación de tarifas en TPU (2,5 sem.)
5. Modelos de planificación de operaciones (2,5 sem.)
6. Equilibrio y asignación en redes de TPU (2,5 sem.)
7. Formas de organización del TPU (1,5 sem.)

Diseño y Optimización de Servicios de TPU

- Costo de usuarios y operadores
- Optimización de una línea aislada con demanda paramétrica
- Extensión a redes sencillas
- Una línea con demanda desbalanceada
- Optimización con demanda variable

Costo de Operadores y Usuarios



- Recursos consumidos en una hora:

$$G_T = Bc + P_e t_e Y + P_v t_v Y + P_a t_a Y$$

- c [$/veh-h] es una forma muy simple de considerar costos de operación:
  - Costos por tiempo
  - Costos por distancia
  - Costos por vehículo
  - Costos fijos

Primer Modelo de Mohring (1972)

- Recursos consumidos en una hora:

$$G_T = Bc + P_e t_e Y + P_v t_v Y + P_a t_a Y$$

- Optimización de frecuencia:

$$G_T = f t_c c + P_e \frac{1}{2f} Y + P_v t_v Y + P_a t_a Y$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial f} = t_c c - P_e \frac{1}{2f^2} Y$$

Primer Modelo de Mohring (1972)

- Tamaño de embarque (SCS):

$$k = \frac{Y}{f}$$

- Extendiendo a caso más general:
  - Ruta circular de largo L
  - Ingresan Y pax/h en toda la ruta
  - Todos viajan l

$$F = \frac{l}{L} Y \qquad \Rightarrow \qquad k = \frac{F}{f}$$

Primer Modelo de Jansson (1980)

- Tiempo de ciclo depende de Y

$$t_c = T + t\frac{Y}{f}$$

$$f = \frac{B}{t_c}$$

- Tiempo al interior del vehículo también depende de Y

$$t_v = t_c \frac{l}{L}$$

$$G_T = (Tf + tY)c + P_e \frac{1}{2f}Y + P_v\left(T + t\frac{Y}{f}\right)\frac{l}{L}Y$$

Primer Modelo de Jansson (1980)

- Optimización de frecuencia

$$\underset{f}{\text{Min}}\ G_T = (Tf + tY)c + P_e \frac{1}{2f}Y + P_v\left(T + t\frac{Y}{f}\right)\frac{l}{L}Y$$

$$k^* = \frac{l}{L}\sqrt{cT\left(\frac{P_e}{2Y} + P_v t\frac{l}{L}\right)^{-1}}$$

- Si t = 0, se recupera resultados de primer modelo de Mohring
- Reemplazando f^* en G_T se obtiene C_T, C_{op} y C_U

Segundo Modelo de Mohring (1972)

- Probabilidad de que un bus se detenga en un paradero en particular
  - Se asume que el número de pasajeros que desean ser servidos (subir o bajar) en un paradero es una variable aleatoria que sigue una distribución de Poisson de media n

$$\mathrm{P}(x) = \frac{\mathrm{e}^{-n} n^x}{x!}$$

  - Probabilidad de que un bus efectivamente se detenga en un paradero:

$$t_c = t_r + t_p p\left(1 - \mathrm{e}^{-n}\right) + t\frac{Y}{f} \qquad n = \frac{2Y}{f\,p}$$

Segundo Modelo de Mohring (1972)

- Tiempo de ciclo:

$$t_c = t_r + t_p p\left(1 - \mathrm{e}^{-n}\right) + t\frac{Y}{f} \qquad n = \frac{2Y}{f\,p}$$

- Función de gasto:

$$G_T = f\,t_c(f,p)c + P_e\frac{1}{2f}Y + P_v t_c(f,p)\frac{l}{L}Y + P_a\frac{L}{2pv_a}Y$$

- Se puede optimizar sobre f y p
  - No hay solución analítica

Extensión a Dos Períodos

- Dos períodos (Jansson, 1980)

$$f^* = \sqrt{\frac{\bar{Y}E}{\mathrm{CI} \bullet T^P}\left(\frac{1}{2}P_e + P_v t Y^P \frac{l}{L}\right)}$$

$$\bar{Y} \equiv \frac{E^P Y^P + E^{FP} Y^{FP}}{E}$$

- Dos períodos y $c(K) = c_0 + c_1(K)$ (Jansson, 1980)

$$f^* = \sqrt{\frac{1}{c_0 T^P}\left[\bar{Y}E\left(\frac{1}{2}P_e + P_v t Y^P \frac{l}{L}\right) + \frac{c_1 t \left(Y^P\right)^2 l}{\phi_{\max} L}\right]}$$

Optimización de f y K con hacinamiento

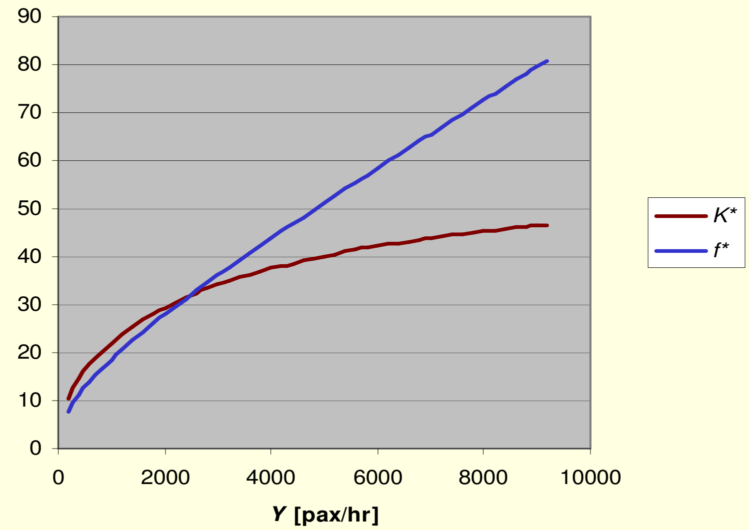
$$\min_{f,K} VRC_T = f t_c(f) c(K) + P_w \frac{1}{2f} Y + P_v(\phi) \frac{l}{L} t_c(f) Y$$

$$\text{s.a} \quad k(f) \le K \qquad \text{con} \qquad \phi = \frac{k(f)}{K} \quad \text{y} \quad P_v(\phi) = P_{v0} + P_{v1}\phi$$

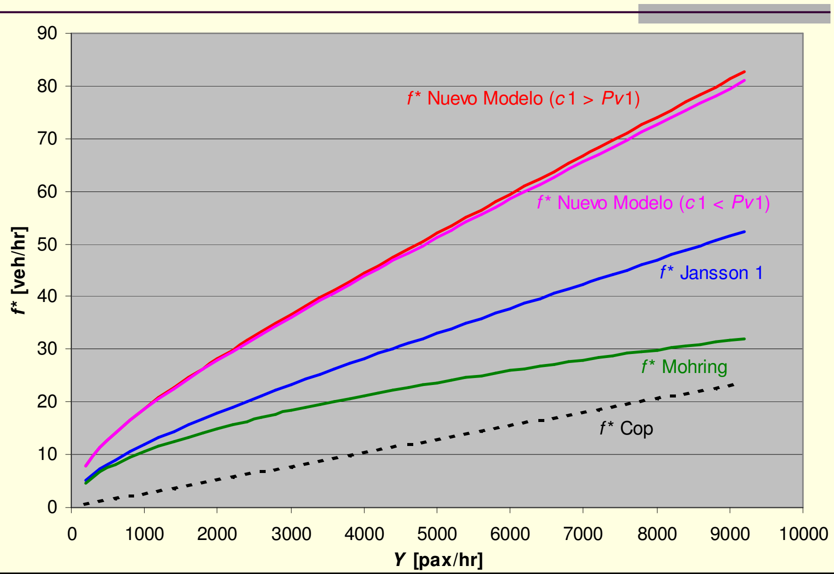
$$c_1 < P_{v1} \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} f^* = \sqrt{\dfrac{Y}{c_0 T}\left[\dfrac{P_w}{2} + tY\dfrac{l}{L}\left(2\sqrt{c_1 P_{v1}} + P_{v0}\right)\right]} \\ K^* = \sqrt{\dfrac{P_{v1}}{c_1}} k\left(f^*\right) \end{cases}$$

$$c_1 \ge P_{v1} \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} f^* = \sqrt{\dfrac{Y}{c_0 T}\left[\dfrac{P_w}{2} + tY\dfrac{l}{L}\left(c_1 + P_{v1} + P_{v0}\right)\right]} \\ K^* = k\left(f^*\right) \end{cases}$$

Optimización de *f* y *K* con hacinamiento



Comparación Numérica de *f* *



Bibliografía

- Gschwender, A. (2000) **Caracterización microeconómica de la operación del transporte público urbano: un análisis crítico**. Tesis de Magister, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.
- Jansson, J. O. (1980) A simple bus line model for optimisation of service frequency and bus size. **Journal of Transport Economics and Policy, 14**, 53-80.
- Jansson, J. O. (1984) **Transport System Optimization and Pricing**. John Wiley & Sons.
- Jara-Díaz, S. R. y A. Gschwender (2003) Towards a general microeconomic model for the operation of public transport. **Transport Reviews, 23**, 453-469.
- Mohring, H. (1972) Optimization and scale economies in urban bus transportation. **American Economic Review, 62**, 591-604.
- Mohring, H. (1976) **Transportation Economics**. Cambridge, Mass.: Ballinger.