

CI63G Planificación de Sistemas de Transporte Público Urbano

Clase 14
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

Primer Modelo de Chang y Schonfeld (1991)

- Área de ancho W y longitud L
- **Espaciamiento entre rutas: g**
- T_c y t_v no dependen de Y
- c fijo (no depende de K)

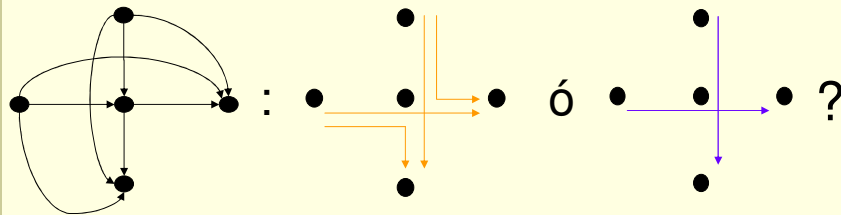
$$\text{MIN}_{f, g} G_T = \frac{W}{g} f t_c c + P_e \frac{1}{2f} Y + P_v t_v Y + P_a \frac{g + L/p}{4v_a} Y$$

$$g^* = \left(\frac{8v_a^2 W t_c c P_e}{P_a^2 Y} \right)^{1/3}$$

$$f^* = \left(\frac{v_a P_e^2 Y}{W t_c c P_a} \right)^{1/3}$$

Estructuras de Líneas

(Jara-Díaz y Gschwender 2003)



Red y
flujos O-D

Líneas Directas

Líneas en
Corredores

Método de Comparación

■ Primera Etapa: $B \longrightarrow \bar{B} = [B_1, B_2 \dots B_n]$

$$\text{a) } t_{ej} = t_{ej}(\bar{B}) \longrightarrow \bar{t}_e = \bar{t}_e(\bar{B}) \quad \text{c) } \longrightarrow \bar{t}_e^* = \bar{t}_e^*(B)$$

$$t_{vj} = t_{vj}(\bar{B}) \longrightarrow \bar{t}_v = \bar{t}_v(\bar{B}) \longrightarrow \bar{t}_v^* = \bar{t}_v^*(B)$$

$$\text{b) } \min_{\bar{B}} G_T = c \underbrace{B}_{\text{fijo}} + P_e \bar{t}_e(\bar{B}) Y + P_v \bar{t}_v(\bar{B}) Y$$

s.a

$$\sum_i B_i = B$$

$$\Rightarrow \bar{B}^* = \bar{B}^*(B)$$

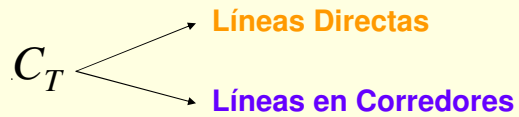
Método de Comparación

- Segunda Etapa: optimización de B y comparación

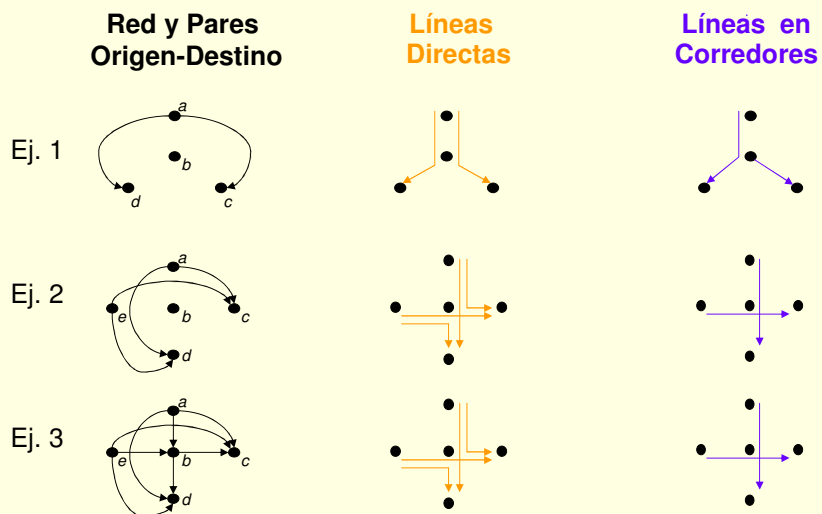
$$\text{Min}_B G_T = cB + P_e \bar{t}_e^*(B)Y + P_v \bar{t}_v^*(B)Y$$

$$\Rightarrow B^*(c, P_e, P_v, Y)$$

$$C_T = G_T[B^*(c, P_e, P_v, Y)] = C_T(c, P_e, P_v, Y)$$



Aplicación del Método



Aplicación del Método

■ Consideraciones Generales:

$$t_c = T_0 + 2t \frac{Y}{f} \longrightarrow t_v = t_v(\text{transbordos})$$

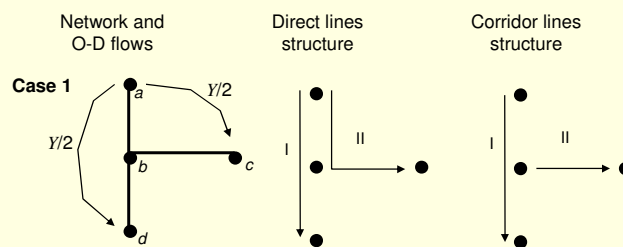
$$t_e = \frac{1}{2f} \begin{cases} \text{Directas (origen)} \\ \text{en Corredores (origen y transbordos)} \end{cases}$$

Demanda equidistribuida

$$f_i = \frac{B_i}{t_c}$$

Aplicación del Método

■ Ejemplo caso 1, líneas **en corredores**



$$t_{cI} = 2T_0 + 2t \frac{Y}{f_I}, \quad t_{cII} = T_0 + 2t \frac{Y/2}{f_{II}}$$

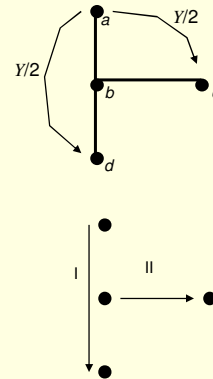
Aplicación del Método

■ Ejemplo caso 1, líneas en corredores

$$f_I = \frac{B_I - 2tY}{2T_0}, \quad f_{II} = \frac{B_{II} - tY}{T_0}$$

$$t_{w(a-d)} = \frac{1}{2f_I}, \quad t_{w(a-c)} = \frac{1}{2f_I} + \frac{1}{2f_{II}}$$

$$\bar{t}_w = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{f_I} + \frac{1}{2f_{II}} \right]$$



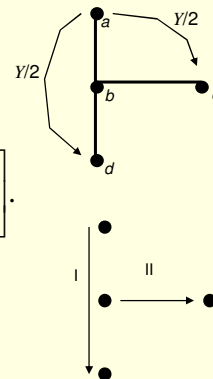
Aplicación del Método

■ Ejemplo caso 1, líneas en corredores

$$t_{v(a-d)} = T_0 + t \frac{Y/2}{f_I} + \frac{t}{2} \frac{Y/2}{f_I} = T_0 + \frac{3}{4} \frac{tY}{f_I},$$

$$t_{v(a-c)} = T_0 + \frac{t}{2} \frac{Y/2}{f_I} + \frac{t}{2} \frac{Y/2}{f_{II}} = T_0 + \frac{tY}{4} \left[\frac{1}{f_I} + \frac{1}{f_{II}} \right].$$

$$\bar{t}_v = \frac{1}{2} \left[2T_0 + \frac{tY}{f_I} + \frac{tY}{4f_{II}} \right]$$



Aplicación del Método

■ Ejemplo caso 1, líneas en corredores

$$\bar{t}_w = \frac{1}{2} \left[\frac{2T_0}{B_1 - 2tY} + \frac{T_0}{2(B - B_1 - tY)} \right],$$

$$\bar{t}_v = \frac{1}{2} \left[2T_0 + \frac{2T_0 tY}{B_1 - 2tY} + \frac{T_0 tY}{4(B - B_1 - tY)} \right].$$

$$\text{Min}_{\bar{B}} G_T = cB + P_e \bar{t}_e(\bar{B})Y + P_v \bar{t}_v(\bar{B})Y$$

fijo

$$B_1^* = \frac{\sqrt{\frac{P_w}{P_v} + tY}}{\frac{1}{2} \sqrt{\frac{P_w}{P_v} + \frac{tY}{2}} + \sqrt{\frac{P_w}{P_v} + tY}} B + \frac{tY \left[\sqrt{\frac{P_w}{P_v} + \frac{tY}{2}} - \sqrt{\frac{P_w}{P_v} + tY} \right]}{\frac{1}{2} \sqrt{\frac{P_w}{P_v} + \frac{tY}{2}} + \sqrt{\frac{P_w}{P_v} + tY}} = \alpha B + \gamma$$

Aplicación del Método

■ Ejemplo caso 1, líneas en corredores

$$B_1^* = \alpha B + \gamma$$

$$B_1^* \approx \frac{2}{3} B, \quad B_{II}^* \approx \frac{1}{3} B$$

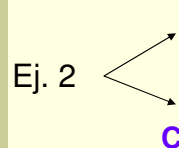
If $B = 30$ vehicles, the calculation of B_1 with the exact values of α and γ differs in less than 1 vehicle from the approximation with $\alpha = 2/3$ and $\gamma = 0$.

Y [pax/h]	P_w/P_v	α	γ
2,000	3	0.686	-0.079
2,000	1	0.704	-0.154
1,000	3	0.678	-0.023
1,000	1	0.692	-0.052
200	3	0.669	-0.001
200	1	0.674	-0.003

$$\bar{t}_w^* = \frac{\frac{3}{2} T_0}{\frac{2}{3} B - 2tY}, \quad \bar{t}_v^* = T_0 + \frac{\frac{5}{4} T_0 tY}{\frac{2}{3} B - 2tY}$$

Aplicación del Método

■ Primera Etapa: repartición de B

Ej. 2 

$$\begin{aligned} \text{Directas} \quad \bar{t}_e^* &= \frac{4T}{B-2tY} & \bar{t}_v^* &= T + \frac{TtY}{B-2tY} \\ \text{en Corredores} \quad \bar{t}_e^* &= \frac{2T}{\frac{2}{3}B-2tY} & \bar{t}_v^* &= T + \frac{\frac{3}{2}TtY}{\frac{2}{3}B-2tY} \end{aligned}$$

En general:

$$\bar{t}_e^* = \frac{\varphi_e T}{\delta B - 2tY} \quad \bar{t}_v^* = \psi T + \frac{\varphi_v TtY}{\delta B - 2tY}$$

Aplicación del Método

■ Primera Etapa: repartición de B

$$\bar{t}_e^* = \frac{\varphi_e T}{\delta B - 2tY} \quad \bar{t}_v^* = \psi T + \frac{\varphi_v TtY}{\delta B - 2tY}$$

Ejemplo	Líneas	ψ	δ	φ_e	φ_v
1	directas	1	1	2	1
1	en corredores	1	2/3	3/2	5/4
2	directas	1	1	4	1
2	en corredores	1	2/3	2	3/2
3	directas	3/4	1	3	9/8
3	en corredores	3/4	4/5	2	3/2

Aplicación del Método

- Segunda Etapa: i) optimización de B

$$\text{Min}_B G_T = cB + P_e \frac{\Phi_e T}{\delta B - 2tY} Y + P_v \left[\psi T + \frac{\Phi_v T t Y}{\delta B - 2tY} \right] Y$$

$$\Rightarrow B^* = 2tY \frac{1}{\delta} + \sqrt{\frac{TY}{c} \left(P_e \frac{\Phi_e}{\delta} + P_v \frac{\Phi_v}{\delta} tY \right)}$$

$$\Rightarrow C_T = 2ctY \frac{1}{\delta} + 2\sqrt{cTY \left(P_e \frac{\Phi_e}{\delta} + P_v \frac{\Phi_v}{\delta} tY \right)} + P_v \psi TY$$

Aplicación del Método

- Segunda Etapa: ii) comparación

$$C_T = 2ctY \frac{1}{\delta} + 2\sqrt{cTY \left(P_e \frac{\Phi_e}{\delta} + P_v \frac{\Phi_v}{\delta} tY \right)} + P_v \psi TY$$

Ejemplo	Líneas	$1/\delta$	Φ_e/δ	Φ_v/δ	ψ
1	directas	1	2	1	1
1	en corredores	1,5	2,25	1,875	1
2	directas	1	4	1	1
2	en corredores	1,5	3	2,25	1
3	directas	1	3	1,125	3/4
3	en corredores	1,25	2,5	1,875	3/4

Aplicación del Método

- Segunda Etapa: ii) comparación

$$C_T = 2ctY \frac{1}{\delta} + 2\sqrt{cTY \left(P_e \frac{\varphi_e}{\delta} + P_v \frac{\varphi_v}{\delta} tY \right)} + P_v \psi TY$$

En los ejemplos 2 y 3, para que las **líneas directas** sean más convenientes que las **líneas en corredores**:

$$\frac{P_e}{P_v tY} < \left(\frac{\varphi_v^C}{\delta^C} - \frac{\varphi_v^D}{\delta^D} \right) \bigg/ \left(\frac{\varphi_e^D}{\delta^D} - \frac{\varphi_e^C}{\delta^C} \right)$$

Conclusiones

- El enfoque microeconómico de Min recursos totales es aplicable a la exploración de estructura óptima de líneas.
- La regla de la raíz cuadrada (generalizada por Janssson) se mantiene, incluyendo parámetros que representan la estructura de líneas.
- No parece haber una estructura superior (directa v/s corredores).
- En general, la estructura óptima dependerá de los valores del tiempo y de tY .

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.
- Chang, S. K. and Schonfeld, P. M. (1991) Multiple period optimization of bus transit systems. **Transportation Research 25B**, 453-478
- Jara-Díaz, S. R. y A. Gschwender (2003) From the single line model to the spatial structure of transit services: corridors or direct? **Journal of Transport Economics and Policy**, **37**, 261-277