Uso de Portadoras Monocanal

para

Deferir el Proyecto de Auxilio al Alimentador

Sr. G. Moumoulidis, OTE

UNION INTERNATIONALE DES TELECOMMUNICATIONS
INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION
UNION INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

1. Introducción

Hasta ahora hemos examinado aplicaciones sencillas donde se consideró que se requería capacidad adicional cada vez que las facilidades existentes se agotaban, es decir, cuando la demanda alcanzaba la capacidad existente.

El problema de expansión de la capacidad será ligeramente modificado. Supongamos que permitimos la instalación de una portadora monocanal de abonado en forma temporal, para proveer servicios cuando la capacidad existente esté agotada. Esto significa que en lugar de expandir los cables existentes e incurrir en grandes gastos, empezaremos por instalar una portadora monocanal (single channel carrier, SCC) en las facilidades existentes (un cable par puede proveer dos líneas: la física y la portadora). Cuando el número de las SCC instaladas sea lo suficientemente grande, resultará más barato removerlas y expandir el cable existente.

De esta forma, la colocación de cables nuevos, que implican una fuerte inversión, se posterga por algunos años hasta que la demanda acumulada alcance un nivel donde la instalación de la portadora monocanal ya no sea económica.

2. Evaluación Económica

Asumimos un modelo lineal de la demanda, a saber, el crecimiento de la demanda se mantiene constante a lo largo del tiempo.

$$D(t) = \lambda \cdot t \qquad (1)$$

donde $D(t)$ representa la demanda del momento, y λ el crecimiento anual de la demanda.

Cuando la demanda alcanza la capacidad de los cables, en la alternativa todo cable, se proveen nuevas facilidades añadiendo nuevos pares de cables. La figura 1 muestra la demanda (línea recta) y las etapas de la ampliación de la capacidad (línea en escalera). Estos saltos se asocian con los tiempos de ampliación óptimos. El período de ampliaciones consecutivas se representa por T y se considera constante.

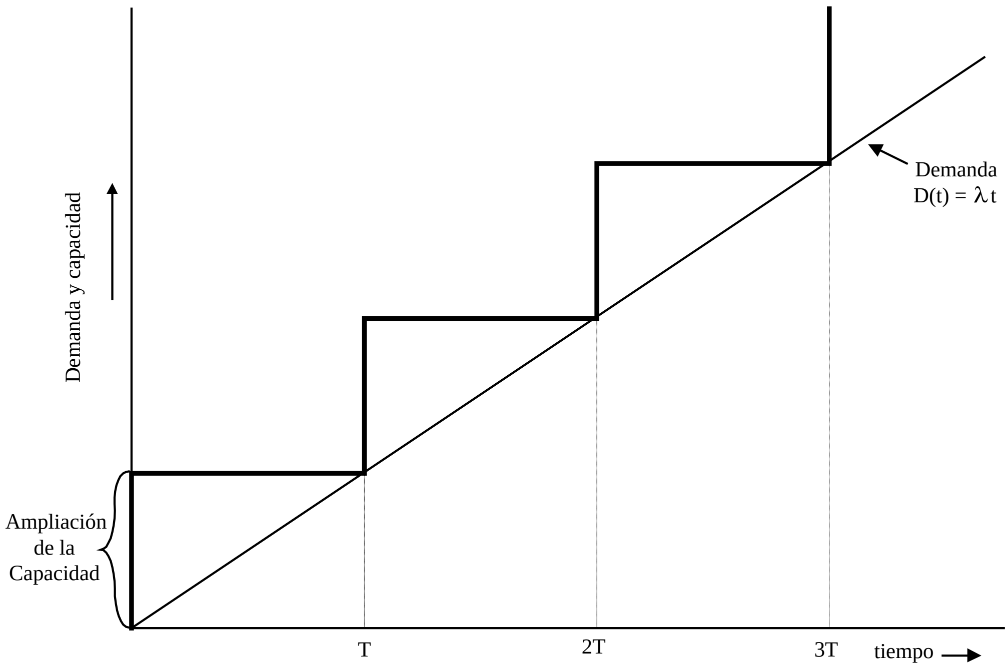

Figura 1

Observando las curvas, rápidamente llegamos a la conclusión que, la capacidad disponible es muy alta con relación a la demanda. Esta observación es significativa porque nos dice que por algunos años una inversión sustancial es ineficiente.

Ahora consideremos el caso de instalar SCC para proveer servicio de abonados, cuando no hay disponibilidad de pares.

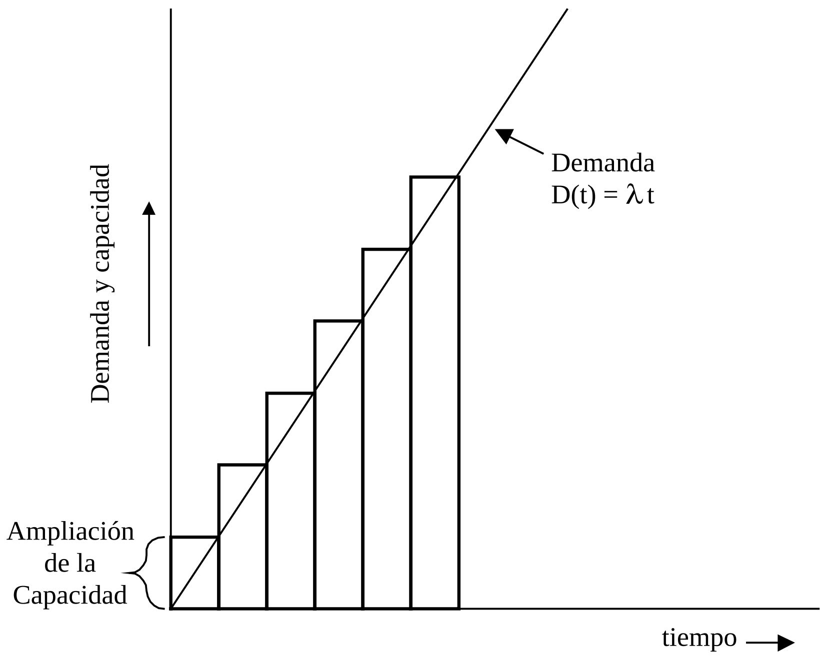

Figura 2 : Instalación de SCC en el tiempo para satisfacer la demanda

Observamos que la evolución anual de la portadora monocanal tiene la forma de una curva de histograma, que puede ser aproximada por la línea de la demanda. En este caso casi no hay capacidad ineficiente.

Lo anterior no significa que es económico instalar SCC y eliminar la colocación de cables. Simplemente significa que en puntos de tiempo con una baja demanda acumulativa, puede ser más económico proveer facilidades a través de portadoras monocanal. Cuando la demanda crece, deben removerse las SCC y añadirse nuevos cables. En cada caso, la política a seguir depende de los costos de las portadoras monocanal y de la colocación del cable, así como del crecimiento de la demanda.

El valor actual de gastos para la SCC se evalúa como sigue:

Asúmase que Γ es el costo total de una SCC. Dejemos a γ ser

$$\gamma = i \cdot \Gamma \tag{2}$$

La constante γ se interpreta aproximadamente como el costo anual por cada portadora monocanal. Esta aproximación no contempla todos los gastos de instalación y remoción.

El valor actual de gastos de la SCC para satisfacer la demanda de *t* años es aproximado por:

$$(PW)_{SCC} = \int_0^t \lambda \cdot t \cdot \gamma \cdot e^{-r \cdot t}\, dt \tag{3}$$

Ahora examinemos el primer caso donde, al principio cubrimos la demanda mediante SCC hasta el momento *T*; luego las removimos y expandimos los cables agregando *S* pares. La figura 3 (a) muestra este proyecto.

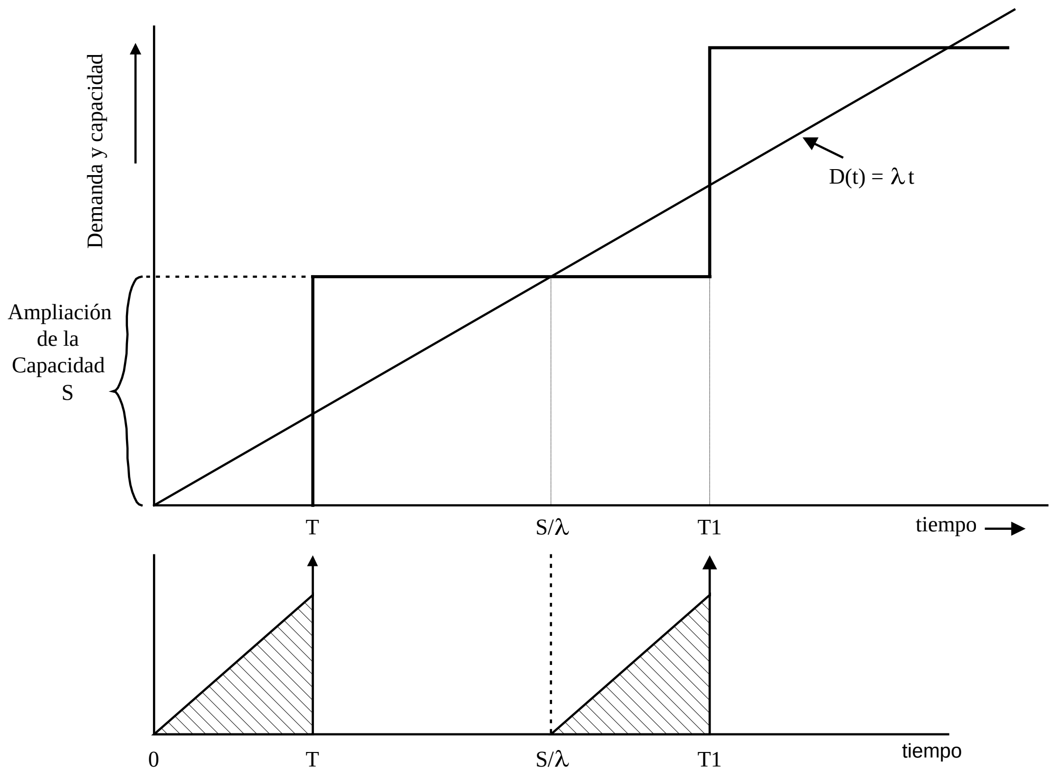

Figura 3

Figura 3 (b) proporciona los flujos de caja donde podemos observar que los gastos tienen dos componentes. Uno discreto en el tiempo, está representado por las flechas hacia arriba, que dan los gastos en que debe incurrirse para expandir la capacidad de los cables, y otro continuo representado por triángulos. Este provee los costos de usar SCC por *T* años. El valor actual *W* de los gastos ilimitados es igual a

$$PW = \int_{0}^{T} \gamma \cdot \lambda \cdot t \cdot e^{-r \cdot t}\ dt + C(S) \cdot e^{-r \cdot T} + PW_F \cdot e^{-r \cdot s/\lambda} \tag{4}$$

W_F es el valor actual de una secuencia ilimitada de expansiones en el tiempo S/λ cuando se instalan nuevas SCC (Figura 3b) y se añaden nuevos pares, y *C(S)* es el costo del cable de *S* pares. En caso todas estas ampliaciones tengan la misma capacidad y número de SCC, $W_F = W$. Así, obtenemos:

$$PW = \frac{\int_{0}^{T} \gamma \cdot \lambda \cdot t \cdot e^{-r \cdot t}\ dt + C(S) \cdot e^{-r \cdot T}}{1 - e^{-r \cdot s/\lambda}} \tag{5}$$

W es un función de *T* y *S*, cuyo mínimo puede obtenerse cuando

$$\frac{\partial W(T,S)}{\partial T} = 0\,, \qquad \frac{\partial W(T,S)}{\partial S} = 0 \tag{6}$$

Este sistema algebraico provee los valores óptimos para *S* y *T*.

Cuando

- $T = 0$ la alternativa todo cable es la política óptima;
- $T = \infty$ se recomienda la instalación permanente de SCC;
- $0<T<\infty$ estamos en el uso temporal de SCC por *T* años; es decir, durante el intervalo de tiempo (0-T) toda la nueva demanda es satisfecha por SCC. Al momento *T*, removemos SCC y colocamos un nuevo cable de *S* pares. Las facilidades son suficientes hasta el momento S / λ .

Aceptando que el costo de los cables es una función lineal de la capacidad *S*

$$C(S) = A + B \cdot S \tag{7}$$

las derivaciones dela ecuación (5) conducen a:

$$\gamma \cdot \lambda \cdot T = r\left(A + B \cdot S\right) \tag{8}$$

$$\left(e^{r \cdot s/\lambda} - 1\right) = \frac{\gamma}{r \cdot B}\left(e^{r \cdot T} - 1\right) \tag{9}$$

No se dan aquí detalles de computación. Este sistema no puede resolverse explícitamente. La solución puede obtenerse solamente mediante métodos numéricos. El sistema antes mencionado también puede escribirse de esta forma:

$$T = G + H \cdot S \tag{10}$$

$$S = Y\, ln[Z \cdot (e^{r \cdot T} - 1) + 1] \tag{11}$$

donde $G = \dfrac{r \cdot A}{\gamma \cdot \lambda}, \quad H = \dfrac{r \cdot B}{\gamma \cdot \lambda}, \quad \gamma = \dfrac{\lambda}{r} \quad y \quad Z = \dfrac{\gamma}{r \cdot B}$

De esta forma, el sistema puede fácilmente resolverse iterativamente; esto es, aceptando una conjetura inicial S_0 para la capacidad, de la ecuación (9) calculamos *T* el cual, en la secuencia se inserta dentro de la ecuación (10). Entonces, se encuentra un mejor valor para S . Este se usa de nuevo en la ecuación (9) para un nuevo valor de *T*. Siguiendo este procedimiento, se encuentra la solución después de unas cuantas iteraciones. Si dos valores sucesivos para $S(S_k, S_{k+1})$ están dentro de una relativa exactitud ε predeterminada.

$$|1 - S_k | S_{k+1}| < \varepsilon$$

entonces, la solución es $S = S_k \cdot T$ se obtiene de la ecuación (9). Se ha probado con facilidad que este algoritmo converge rápidamente. Realizando la integración en la ecuación (3), obtenemos para el valor actual *W*.

$$PW = \frac{\dfrac{\lambda \cdot \gamma}{r}\left[\dfrac{1}{r}\left(1 - e^{-r \cdot T}\right) - T \cdot e^{-r \cdot T}\right] + \left(A + B \cdot S\right)e^{-r \cdot T}}{1 - e^{-r \cdot s/\lambda}}$$

3. Aplicación

A fin de proveer facilidades en un área donde los cables pares existentes están agotados, hay dos alternativas: La *alternativa A* consiste en ampliar la capacidad de los cables, mientras que la *alternativa B* satisface la demanda al principio mediante el uso temporal de una portadora monocanal, y luego añadiendo nuevos cables.

Datos

1. *Cables*

Costo básico	70.0 *MU/km*
Costo incremental	4.9 *MU/par/km*
Costo de colocación y unión	100.00 *MU/km*
Costo de excavación	550.0 *MU/km*
Vida útil del cable	35 años
Costo de operación y mantenimiento	2%
Valor de desecho	--
Los abonados están a 3 km. de la central local	

2. *Portadora monocanal*

Costo de compra	30.0 *MU/pieza*
Costo de instalación	8.0 *MU/pieza*
Vida útil	15 años
Costo de mantenimiento y operación	5 %
Valor de desecho	--
Tasa de interés	10 %
Crecimiento de la demanda	10 abonados/año

Cálculo del factor del valor presente

- *Cables*

$$\mu_c = 1 + \frac{1}{(1+i)^{T_c} - 1} + \frac{U_c}{i} = 1 + \frac{1}{(1.1)^{40} - 1} + \frac{0.02}{0.1} = 1.24$$

$$\bar{\mu}_c = 1 + \frac{1}{(1+i)^{T_c} - 1} = 1.04$$

- *Portadora monocanal*

$$\mu_s = 1 + \frac{1}{(1+i)^{T_s} - 1} + \frac{U_s}{i} = 1 + \frac{1}{1.1^{15} - 1} + \frac{0.05}{0.1} = 1.81$$

$$\bar{\mu}_s = 1 + \frac{1}{(1+i)^{T_s} - 1} = 1.31$$

Cálculo del valor actual de reposiciones ilimitadas.

- *Cables*

Costo:

- Costo básico por km $a = 70 \cdot \mu_c + (100 + 550) \cdot \bar{\mu}_c = 763\, MU / km$
- Costo incremental por km $b = 4.9 \cdot \mu_c = 6.08\, MU / km / pair$
- Costo básico total para la longitud completa $A = a \cdot \lambda = 763 \cdot 3 = 2289\, MU$
- Costo total incremental para la longitud completa $B = b \cdot \lambda = 6.08 \cdot 3 = 18.24\, MU / pair$

- *SCC:*

El costo total Γ para portadora monocanal es

$$\Gamma = 30 \cdot \mu_{scc} + 8 \cdot \bar{\mu}_{scc} = 30 \cdot 1.81 + 8 \cdot 1.31 = 64.8\, MU\, /\, piece$$

y $$\gamma = i \cdot \Gamma = 0.1 \cdot 64.8 = 6.5\, MU\, /\, piece\, /\, year\, .$$

<u>*Alternativa A*</u>

La capacidad de expansión óptima está dada por

$$S = \frac{\lambda}{r} \cdot ln\left[1 + p + \sqrt{2p}\right]$$

$$p = Ar\, /\, B\lambda = 1.19$$

$$S = \frac{10}{0.095} \cdot ln\left[1 + 1.19 + \sqrt{2 \cdot 1.19}\right] = 140 \approx 150$$

Para el valor actual de gastos, obtenemos:

$$PW_A = \frac{A + B \cdot S}{1 - e^{-r \cdot s / \lambda}} = \frac{2289 + 150 \cdot 18.24}{1 - e^{-0.095 \cdot 150 / 10}} = 6616\, MU$$

<u>*Alternativa B*</u>

$$G = \frac{r \cdot A}{\gamma \cdot \lambda} = 3.45, \qquad H = \frac{r \cdot B}{\gamma \cdot \lambda} = 0.0266$$

$$Y = \frac{\lambda}{r} = 104.9, \qquad z = \frac{\gamma}{r \cdot B} = 3.\ 75$$

El cálculo de T y S se muestra en la tabla siguiente, asumiendo una conjetura inicial para el valor S, encontramos la alternativa *A*. En este tabla, se muestra también el valor actual de gastos.

Iteración Número	Tiempo T	Capacidad S
0	7.44	150
1	7.85	165
2	8.03	172
3	8.09	175
4	8.13	176
5	8.14 ≈ 8	176 ≈ 200
Eq (11) Pw_B = 5956 *MU*		

Entonces, la *alternativa B* implica que para el intervalo de tiempo (0-8) satisfaremos la demanda instalando SCC. Al final de aquel período, todas las SCC's se removerán y se colocará un cable de 200 pares. Comparando el valor actual de las *alternativas A y B*, concluimos que la *alternativa B* (instalación temporal de SCC) es más económica.

Los ahorros logrados son:

ahorros = $PW_A - PW_B = 6616 - 5956 = 660\, MU$

y, en porcentaje, 100 (660 / 5956) = 11 %. Los ahorros logrados son, por tanto, sustanciales (11 %).

Referencias

1. John Freidenfelds, Ampliación de Capacidad, Holanda del Norte, 1983.

2. W.L.G. Hoontz, Evaluación Económica de las Aplicaciones del Sistema de Ganancia de Par de Abonado, BSTJ, Abril 1978.

3. John Freidenfelds, Un Modelo Simple para el Estudio de la Ampliación de la Capacidad del Alimentador, BSTJ, Abril 1978.

4. G. Moumoulidis, Planificación de Medios de Transmisión, UIT Seminario Taller en Sofía, 1984.