Conmutación de circuitos (2)

Area de Ingeniería Telemática
http://www.tlm.unavarra.es

Arquitectura de Redes, Sistemas y Servicios
3º Ingeniería de Telecomunicación

Temario

1. Introducción
2. Protocolos y arquitectura
3. Redes de área local
4. Protocolos de Internet
5. Conmutación de paquetes
6. Conmutación de circuitos
7. Gestión de recursos en conmutadores
8. Protocolos de control de acceso al medio

Temario

1. Introducción
2. Protocolos y arquitectura
3. Redes de área local
4. Protocolos de Internet
5. Conmutación de paquetes
6. Conmutación de circuitos
    - Principios básicos
    - Conmutadores, redes de Clos, T, S, TST…
    - **Prestaciones**
7. Gestión de recursos en conmutadores
8. Protocolos de control de acceso al medio

Material

Del capitulo 5 de

R. A. Thompson,

Telephone switching systems

Artech House

Definiciones

- **Capacidad**

  Recursos de un sistema para dar un servicio, número de líneas de salida…

  Ej: nuestra centralita tiene 5 líneas para llamadas salientes

- **Carga (Intensidad de trafico)**

  Cantidad de servicio demandada al sistema, medida como cantidad de recursos necesarios en un determinado momento

  Ej: nuestra centralita tiene en media 3.2 llamadas salientes

- **Calidad de servicio**

  Medida del servicio obtenido del sistema

  Ej: nuestra centralita con las líneas de entrada que tenemos pierde menos del 0.1% de las llamadas entrantes

Capacidad

- Medida de la habilidad del sistema para proporcionar servicio
- Tipicamente se mide como el número de servidores (lineas de salida, puertos de un conmutador…)
- Variable de diseño del sistema
- Proporcional al coste
  - Mas capacidad = más coste y más calidad de servicio

Carga o Trafico

- Medida de la demanda de servicio al sistema
- =recursos en uso del sistema bajo condiciones de servicio ideales
- **Variable aleatoria** caracterizada por su función de densidad de probabilidad
- Depende de
  - Número de usuarios (n)
  - Tasa a la que generan llamadas (λ_i)
  - Duración de las llamadas (s)
- El sistema no puede distinguir el efecto de n y λ_i asi que ponemos solo dos factores λ (tasa de generación de llamadas de todos los usuarios) y s

Medida del Tráfico

- Intensidad de trafico

$$I = \frac{\text{Tiempo acumulado de ocupacion}}{\text{Tiempo de observacion}}$$

- Sin unidades. Se mide en Erlangs
- **1 Erlang** = el trafico que mantiene ocupada completamente una línea durante el tiempo de observación
- Ejemplo:

  600 usuarios, cada uno en media hace 1 llamada por hora, el tiempo medio de duración de las llamadas es de 3 minutos. ¿Cuanto tráfico representan?

  Tiempo observación: 60 minutos

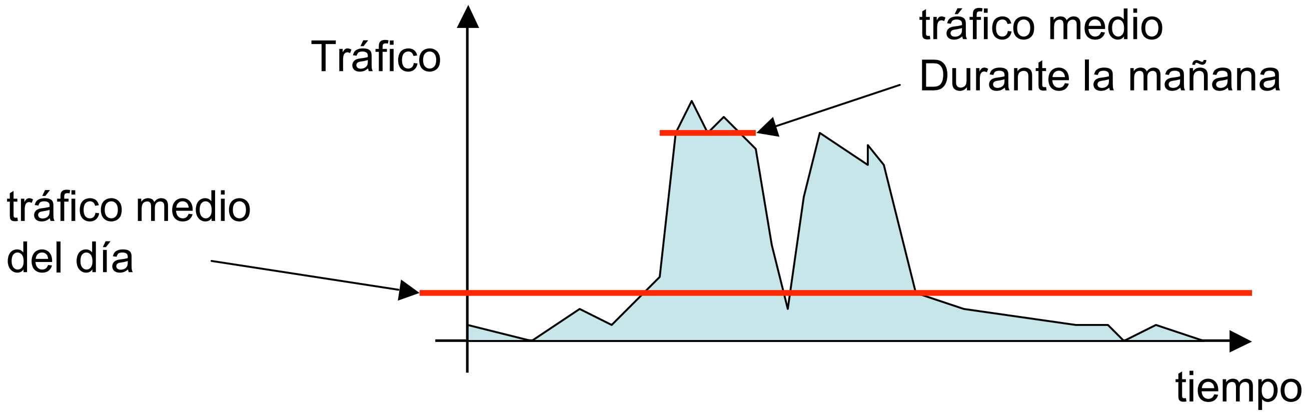
  Tiempo acumulado de ocupación en una hora: 600llamadas*3minutos/llamada=1800min

  1800/60= 30Erlangs

- Otras unidades antiguas: 1 CCS (Centum Call Seconds) = el trafico capaz de llenar 100 segundos de llamadas (en una hora)

Medida del Tráfico

- Normalmente la intensidad del tráfico varia con el tiempo (no es un proceso estocástico estacionario) pero se puede considerar estable en un tiempo limitado



- En telefonía se caracteriza por horas
- Medidas y dimensionamiento se hacen en **la hora cargada** la hora con mas tráfico del día.
  – Según el tipo de tráfico (residencial, de oficina…) la hora cargada puede ser diferente

Calidad de servicio

- Medida de la bondad del servicio proporcionado
- En telefonía normalmente se mide:

  probabilidad de bloqueo = probabilidad de que el sistema no pueda aceptar una llamada entrante.

  En ese caso:
  - Se descarta. La llamada es rechazada y el usuario a veces no puede hacer una llamada -> Menos calidad de servicio
  - Se hace esperar la llamada hasta que se libere un servidor. El usuario a veces ve que sus llamadas tardan más en establecerse -> Menos calidad de servicio
- Requisito de diseño del sistema: probabilidad de bloqueo objetivo y dimensionar la capacidad para conseguirla
- Se suele distinguir
  - Sistema en **situación de Bloqueo**

    Todos los recursos están ocupados y una llamada nueva que llegue sera rechazada
  - Sistema en **situación de Congestión**

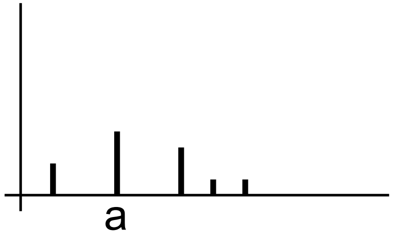
    Se han empezado a rechazar llamadas

Modelando la carga

- Variable aleatoria (V)
  - No tiene un valor sino que describe el resultado de un experimemto aleatorio
  - Se caracteriza por la descripción de los posibles resultados que puede tomar en términos de probabilidad
  - – **Función de densidad de probabilidad**

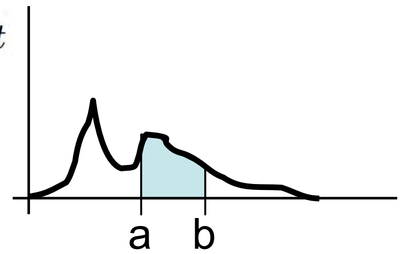
Variable discreta

$$p(a) = P[V = a]$$



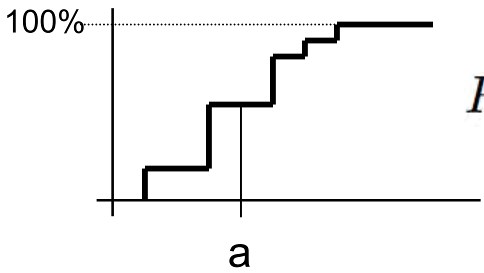
Variable continua

$$P[a < V < b] = \int_a^b p(t)dt$$



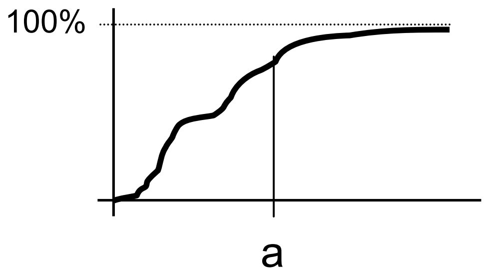
  - – **Función de distribución**

Variable discreta



$$P[V \leq a] = F(a)$$

Variable continua



Número de llegadas

- Llegadas de llamadas: N número de llegadas en un intervalo de tiempo
  - El número de llamadas que llegan en un intervalo debería ser proporcional a la duración del intervalo temporal
  - La probabilidad de encontrar dos llegadas cuando el intervalo es muy pequeño es despreciable
  - Las llegadas son independientes entre si
- El proceso más simple que cumple eso es el proceso de Poisson
- El numero de llegadas en un intervalo sigue una distribución de Poisson
- Densidad de probabilidad
  - Probabilidad de k llegadas

$$P[N=k] = \frac{a^k}{k!}e^{-a}$$

Es una función de densidad

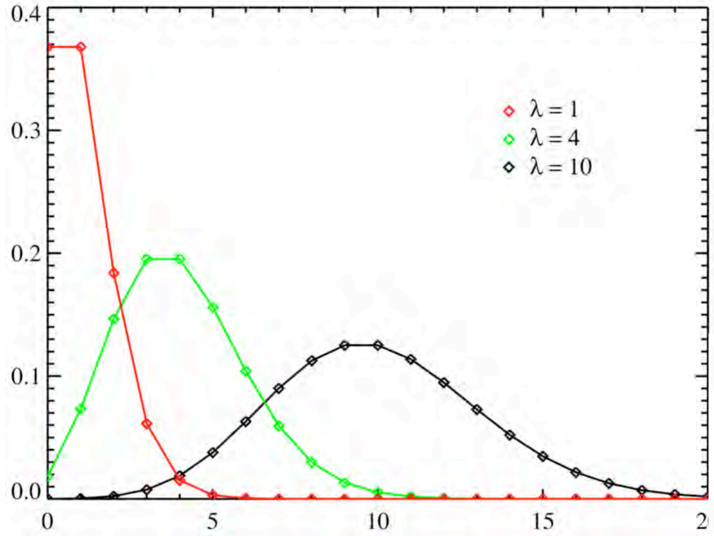
$$\sum_{k=0}^{\infty} P[N=k] = (1 + a + \frac{a^2}{2} + \frac{a^3}{6} + ...)e^{-a} = e^a e^{-a} = 1$$

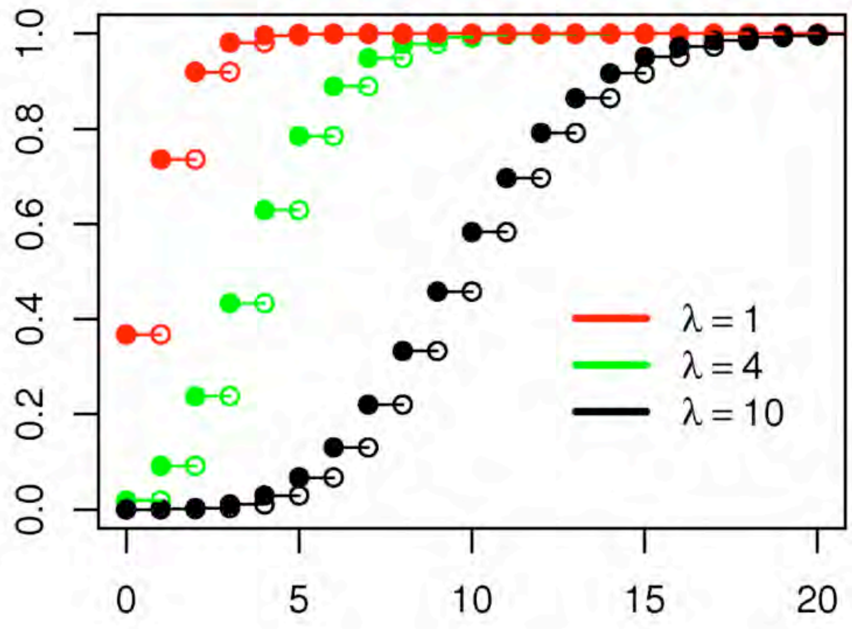
El valor medio es a

$$\bar{N} = \sum_{k=0}^{\infty} kP[N=k] = (0 + a + a^2 + \frac{a^3}{2} + \frac{a^4}{6} + ...)e^{-a} = a$$

ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS
Área de Ingeniería Telemática

Ejemplos





Tiempo de ocupación

- Lo más simple: tiempo constante
  - Poco realista
  - Salvo para ciertos casos (generadores de tonos…)
- Tiempo de duración de una llamada
  - Variable aleatoria (continua) T
  - Tiempos menores de la media muy comunes
  - Cada vez menos comunes tiempos mayores que la media
  - Normalmente se utiliza tiempos exponenciales
  - Propiedad: el tiempo restante de una llamada es independiente de lo que haya durado hasta ahora
- Duración exponencial: T caracterizada por su función de densidad

$$p(t) = \frac{1}{s} e^{-\frac{t}{s}}$$

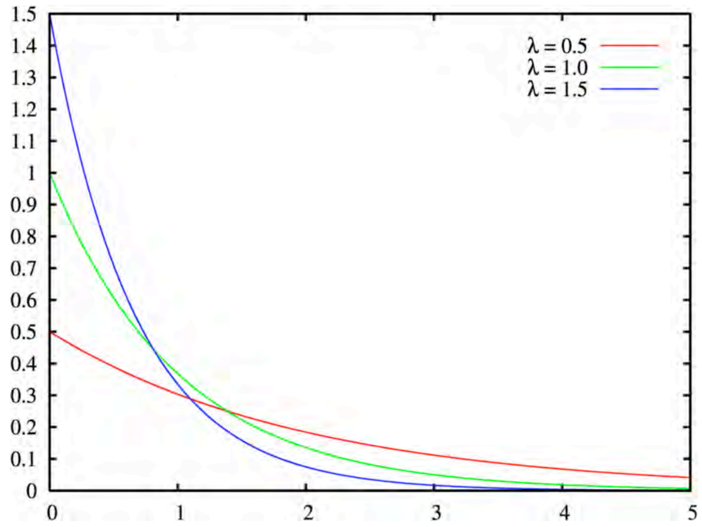
El valor medio
(duración media de la llamada)
es s

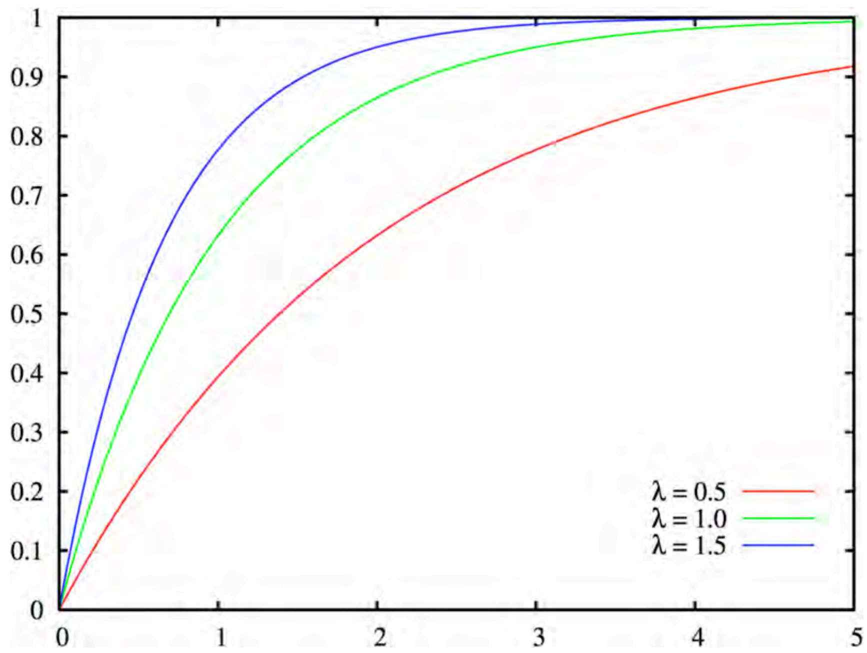
Es una función de densidad

$$\int_0^\infty p(t)dt = 1$$

$$\bar{T} = \int_0^\infty t p(t) dt = s$$

Ejemplo

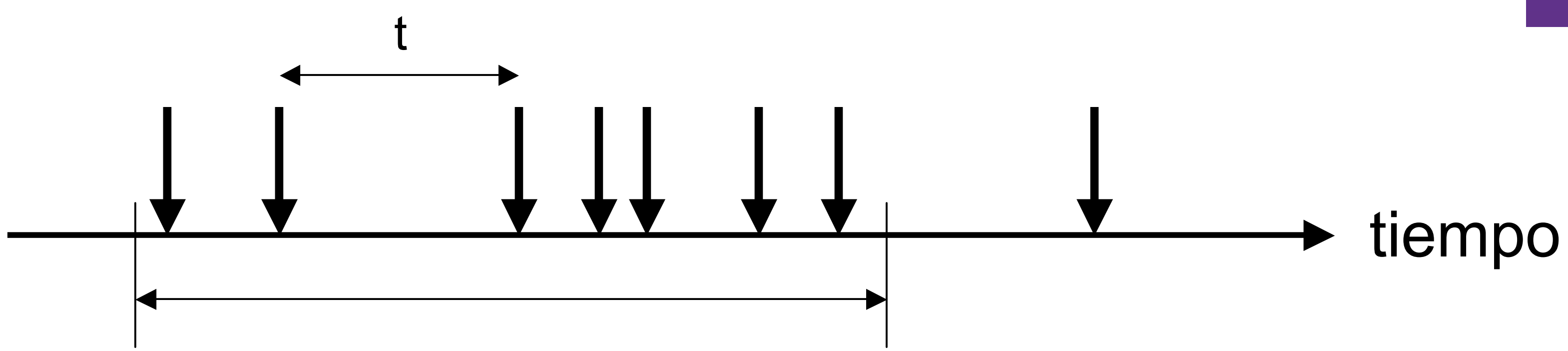

λ = 0.5
λ = 1.0
λ = 1.5
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
1
2
3
4
5


1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
1
2
3
4
5
λ = 0.5
λ = 1.0
λ = 1.5

Tiempos entre llegadas

- Las distribuciones de Poisson y exponencial están relacionadas
- Si las llegadas de un evento siguen una distribución exponencial el número de eventos que ocurren en un intervalo determinado sigue una distribución de Poisson
- Relación entre los parámetros de una y otra

El tiempo entre llegadas t es una variable aleatoria exponencial con parametro media s



n Cuantos eventos suceden en un intervalo T ?

n sigue una distribución de Poisson con media T/s

Resumen llegadas

- De hecho normalmente se usa esta notación
- t sigue una distribución exponencial de parámetro λ

  t ~ Exp(λ)

$$p(t) = \lambda e^{-\lambda t} \qquad P[T < t] = 1 - e^{-\lambda t}$$

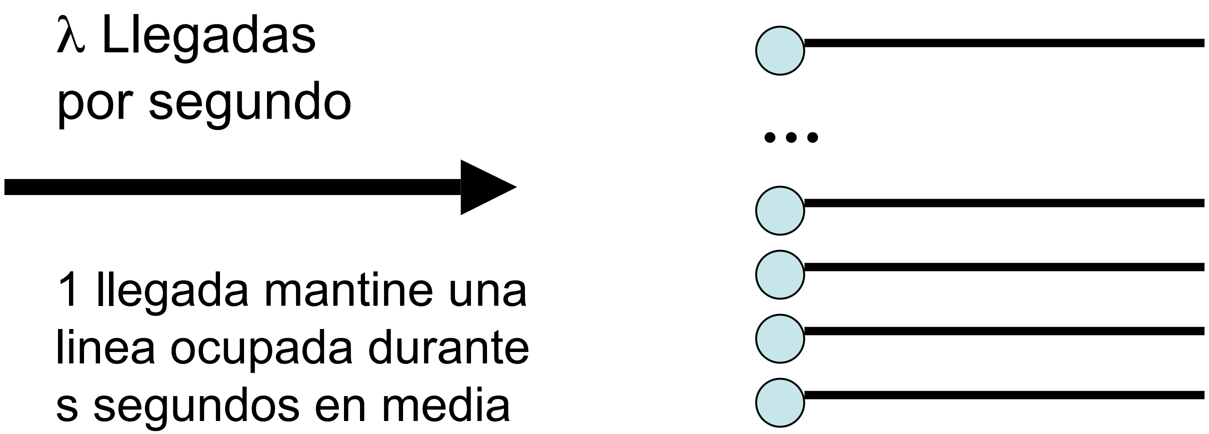
  - Da los tiempos entre llegadas que generarían λ llegadas por segundo
  - El tiempo medio generado es 1/ λ
- Durante un periodo T la distribución anterior genera un numero medio de llegadas λT siguiendo una distribución de Poisson de parámetro a= λT

  n ~ Poisson(a= λT)

$$p(k) = \frac{(\lambda T)^k}{k!} e^{-\lambda T}$$

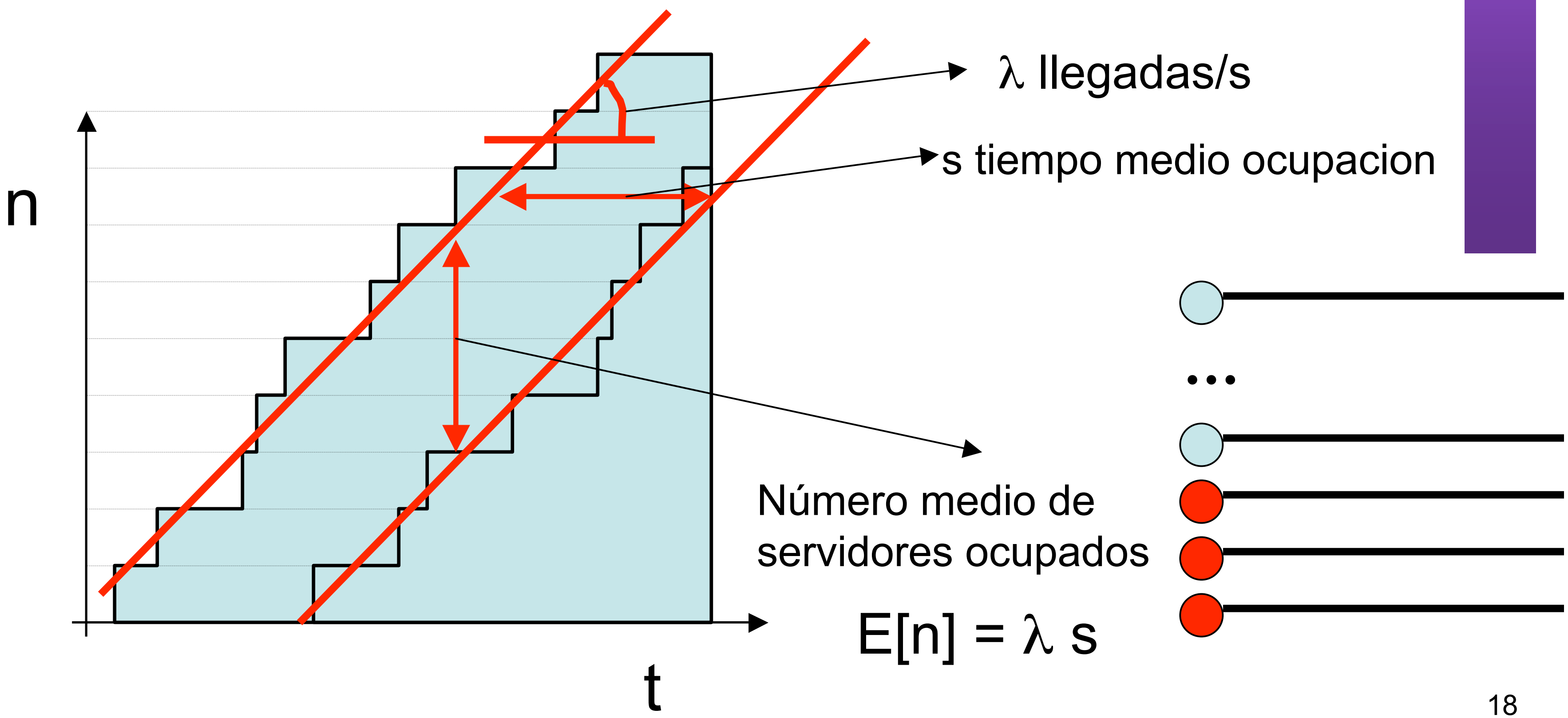
Intensidad de trafico

- Si un conjunto de recursos, supongamos infinitas líneas, está cargado por llamadas que se generan con una tasa λ y tienen un tiempo medio de duración s. ¿cuál es la intensidad de trafico que representan?



Intensidad de trafico

- $E[n] = \lambda\, s$
- Esto es conocido como la Formula de Little
- $\lambda\, s$ es el trafico medido en Erlangs, no tiene unidades y es equivalente al numero de recursos que se ocuparían en el sistema con esa carga si el sistema tuviera infinitos recursos (condiciones de servicio ideales)



Recursos finitos

- Normalmente dispondremos de recursos finitos (capacidad)
- Problemas de interés
  - Cuál es la probabilidad de que una llamada encuentre el sistema ocupado?
  - Cuál es el tráfico que atraviesa ese sistema y forma la carga del siguiente sistema?

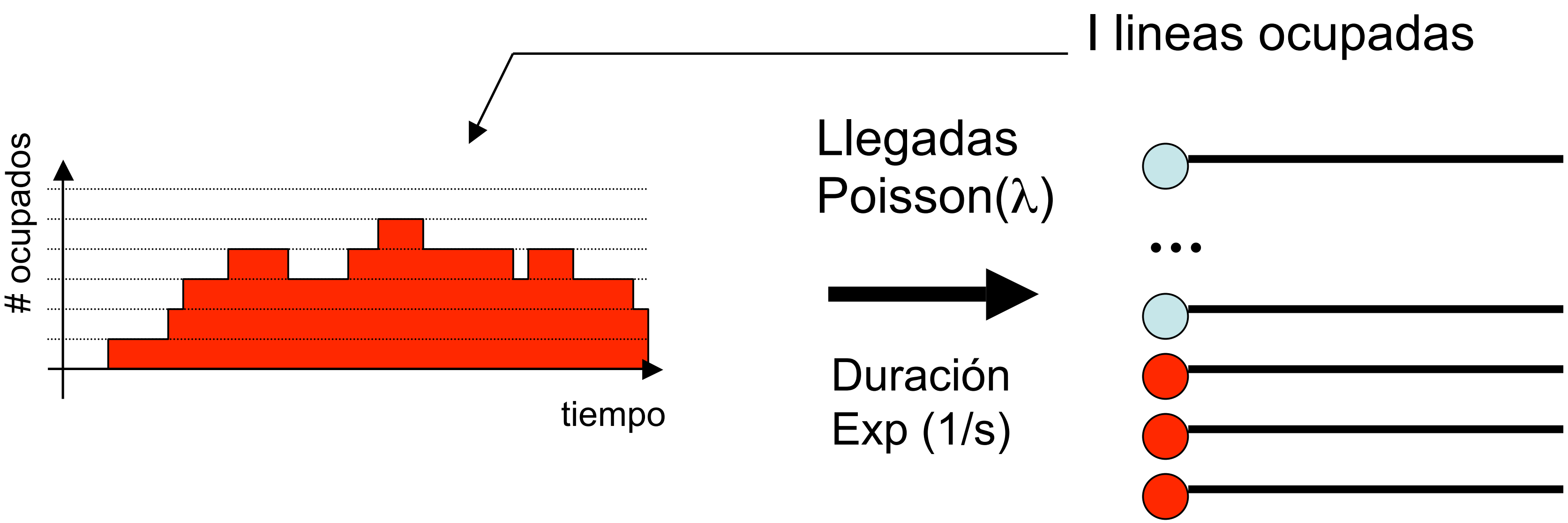
Probabilidad de bloqueo

- Llegadas según proceso de Poisson (λ)
- Duración exponencial de media s ~Exp(1/s)
- Variable aleatoria (o más bien proceso aleatorio)

I numero de servidores ocupados en cada instante de tiempo

En las condiciones anteriores (infinitas lineas) I~Poisson(λs)

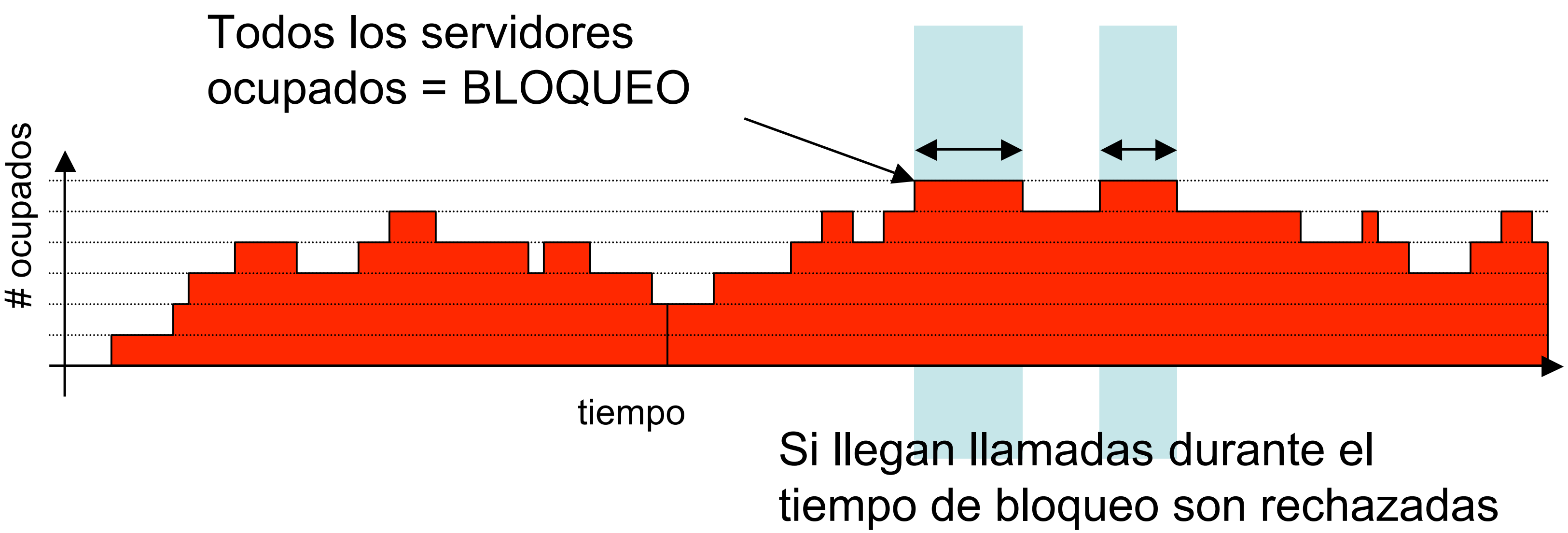
La intensidad de tráfico es E[I]= λs



Probabilidad de bloqueo

- Cuando la variable I toma valor = numero de servidores el sistema esta en BLOQUEO
- Dado un proceso estocástico I definido por las características de llegadas y duraciones y por la arquitectura del sistema (numero de servidores)

  ¿cuál es la probabilidad de que el sistema esté en situacion de bloqueo?



Probabilidad de bloqueo

- En un sistema con
  - Llegadas Poisson(λ)
  - Duraciones Exp(1/s)
  - Tráfico de entrada a= λs
  - k servidores
  - Las llamadas que llegan al sistem bloqueado se pierden
  - Probabilidad de bloqueo: ¿Cual es P[I=n]?
- P[I=n]=B(a,k)
- B(a,k) es conocida como funcion B de Erlang (o ErlangB)
- A.K.Erlang matemático e ingeniero danes iniciador de la teoría de colas

B de Erlang

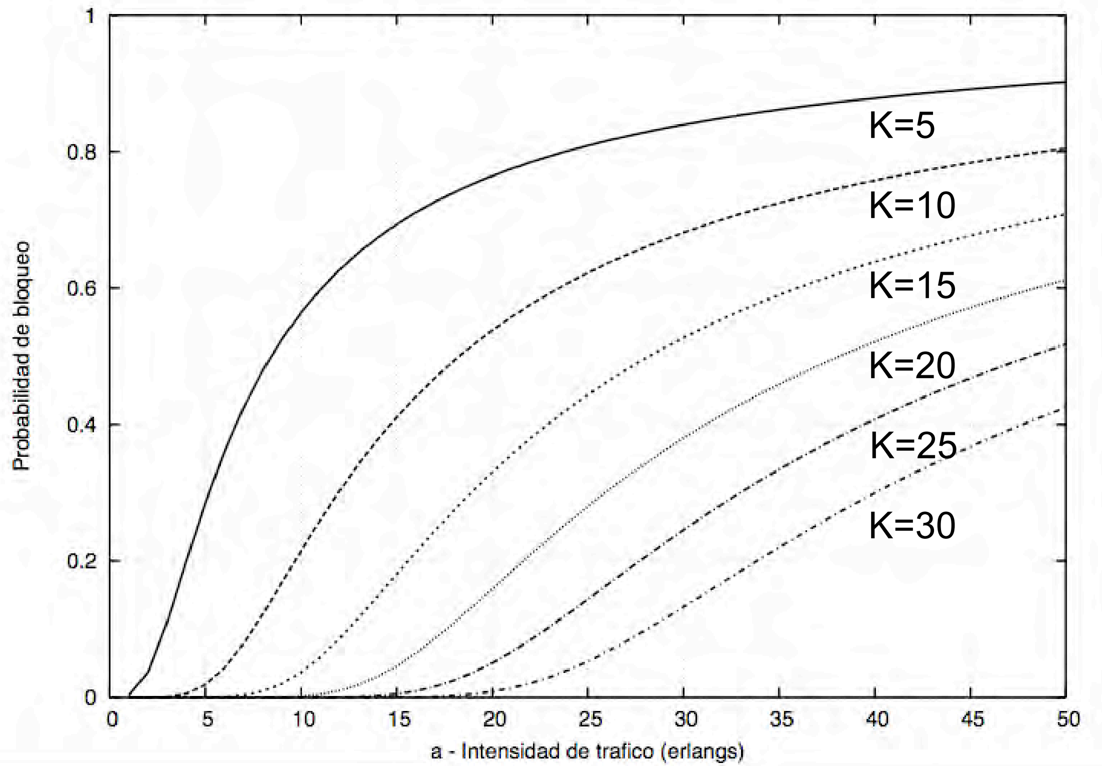
- Formula

$$B(a,k) = \frac{\frac{a^k}{k!}}{\sum_{i=0}^{k} \frac{a^i}{i!}}$$

- Cálculo recursivo

$$B(a,0) = 1$$

$$B(a,j) = \frac{aB(a,j-1)}{aB(a,j-1)+j}$$



Tráfico cursado

- Si un conjunto de líneas tiene un trafico ofrecido de I erlangs y una probabilidad de bloqueo, cuanto tráfico atraviesa las líneas?

  Esto será el **tráfico cursado** y será a su vez el tráfico ofrecido al siguiente sistema al que lleguen las líneas
- Un proceso de Poisson del que se eliminan aleatoriamente muestras con una probabilidad p sigue siendo un proceso de Poisson, pero con menor tasa

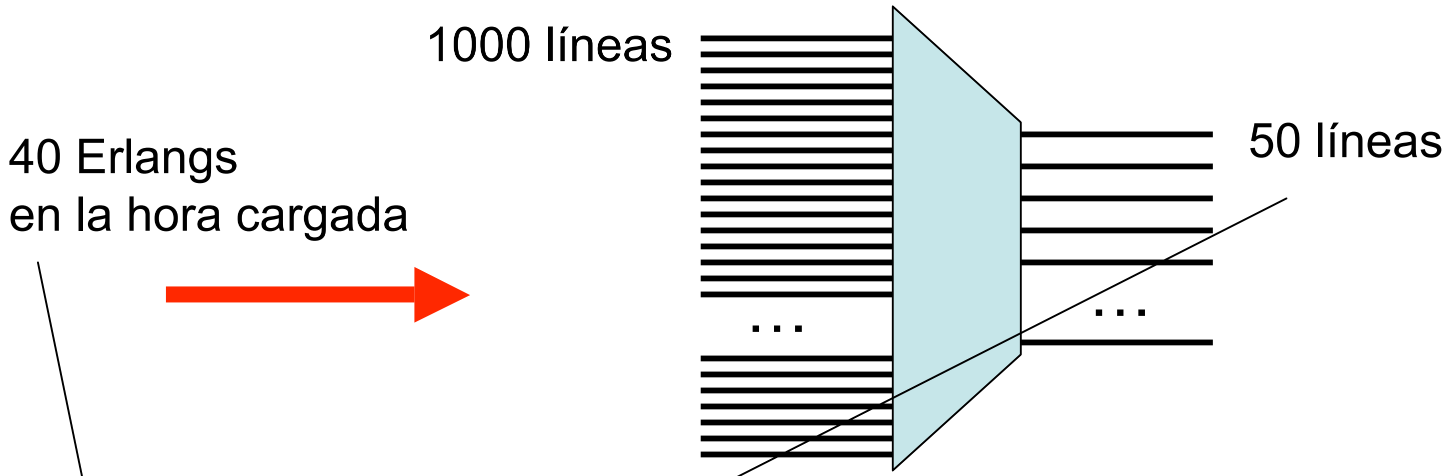
$$I_c = I_{in}\,(1 - P_b) = I_{in}\,(1-B(I_{in}, n))$$

I_c : trafico cursado

I_{in} : trafico ofrecido o de entrada

Ejemplo

- 1000 lineas llegan a un concentrador que selecciona 50 para entrar a una centralita. Si los usuarios generan un tráfico de 40 Erlangs. ¿Cual es la probabilidad de bloqueo?

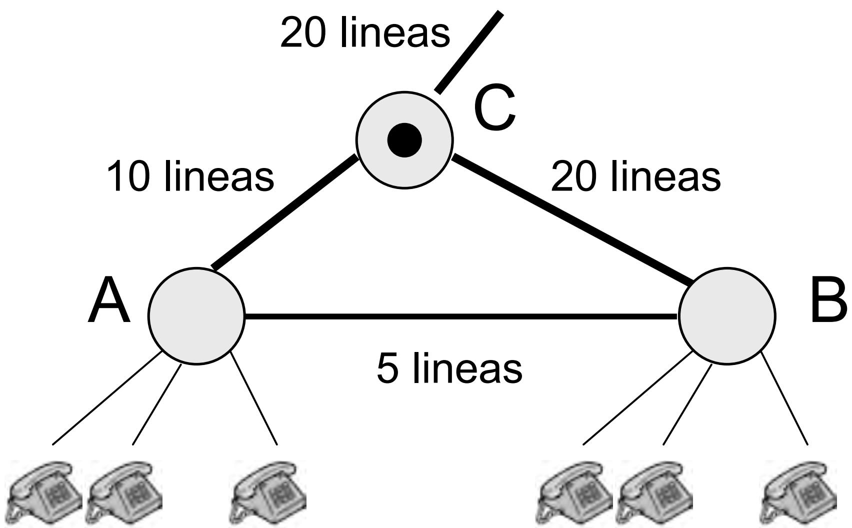


- La probabilidad de bloqueo es

P_b=B(40, 50) = 0.0187 casi un 2%

Ejemplo

- En la centralita A de la figura las llamadas con destino a B se encaminan si es posible por el enlace directo a B y en caso de estar ocupado a través de la central primaria. ¿Cuál es el tráfico que cursa el enlace A-C y cuál es la probabilidad de bloqueo de una llamada de un abonado de A?



Demanda en Erlangs

Destino →

	A	B	Exterior
De A	2	4.5	4.5
De B	3	3.2	5
Exterior	2	2	-

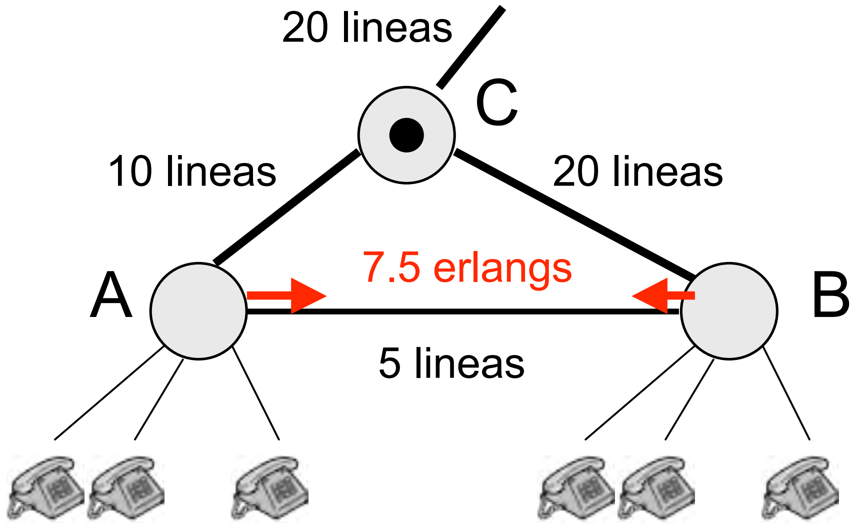
↑ Origen

Ejemplo

- Las 5 líneas entre A-B soportan un tráfico de 3+4.5=7.5 Erlangs
- Al ser 5 líneas la probabilidad de bloqueo es B(7.5,5)=0.453

  Casi el 50% de las llamadas no puede ir por la sección directa

  Eso genera que un 45% del trafico que iba por ahí acabe yendo por C



Demanda en Erlangs

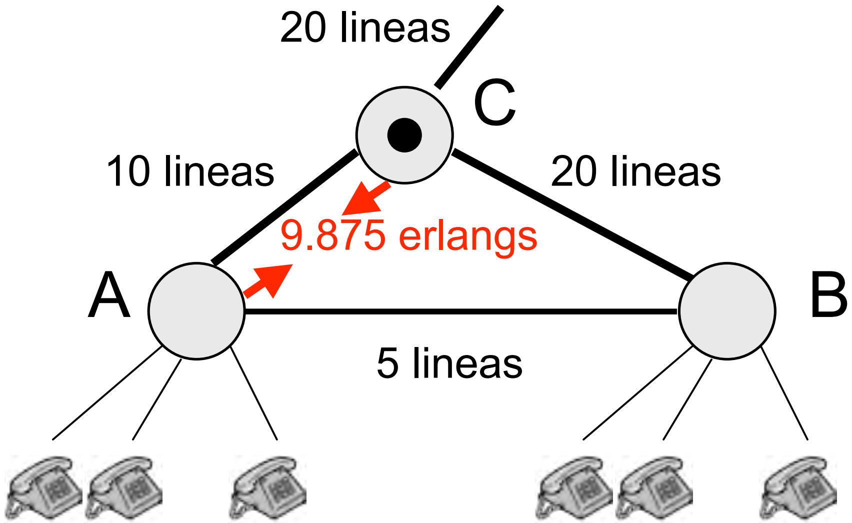
Destino

	A	B	Exterior
De A	2	4.5	4.5
De B	3	3.2	5
Exterior	2	2	-

Origen

Ejemplo

- El enlace entre A-C soporta un tráfico de
  - Llamadas entre A y el exterior 4.5+2=6.5 erlangs
  - Llamadas entre A y B que no pueden ir directamente .45*7.5=3.375
  - Total 9.875 erlangs
- 10 lineas con 9.875 erlangs de demanda tienen una probabilidad de bloqueo de B(9.875,10)=0.20 20% !!!
- El enlace A-C tiene una probabilidad de bloqueo del 20%
- Cursa un tráfico de 9.875*0.8 = 7.9 erlangs



Demanda en Erlangs

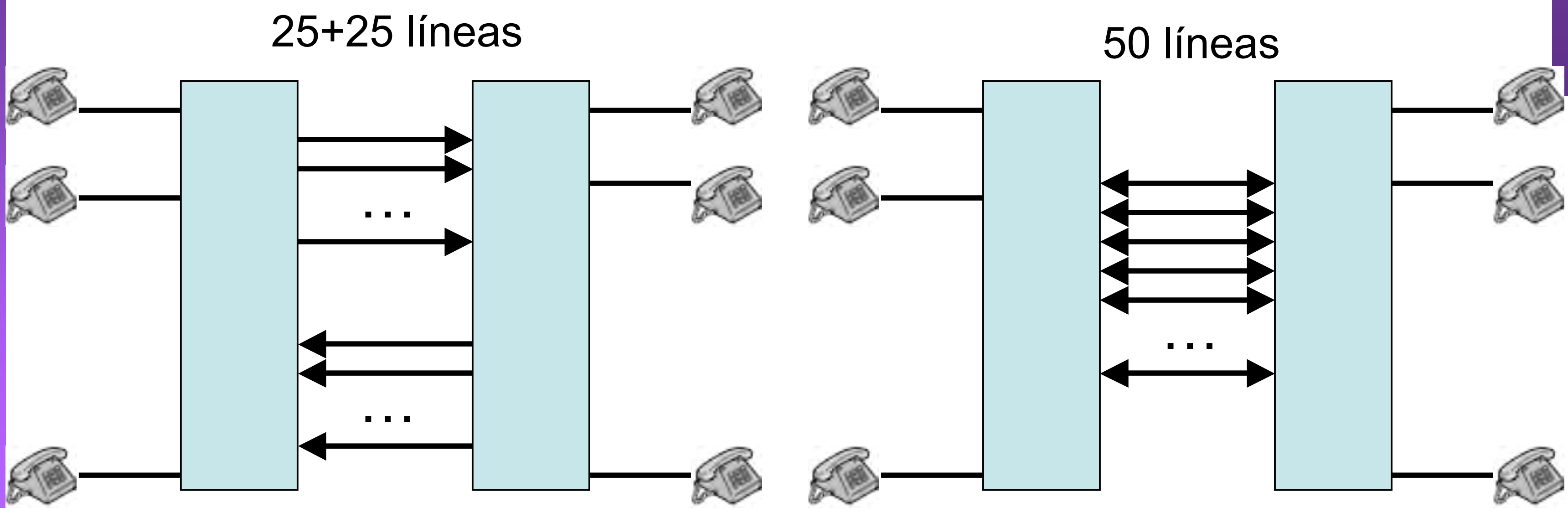
Destino

	A	B	Exterior
De A	2	4.5	4.5
De B	3	3.2	5
Exterior	2	2	-

Origen

Ejemplo

- Entre dos centralitas tenemos la posibilidad de asignar 25 troncales para llamadas salientes de A y 25 troncales para llamadas entrantes a A. O bien asignar las 50 troncales para que se puedan usar indistintamente en llamadas en cualquier dirección. ¿qué es mejor?



Ejemplo

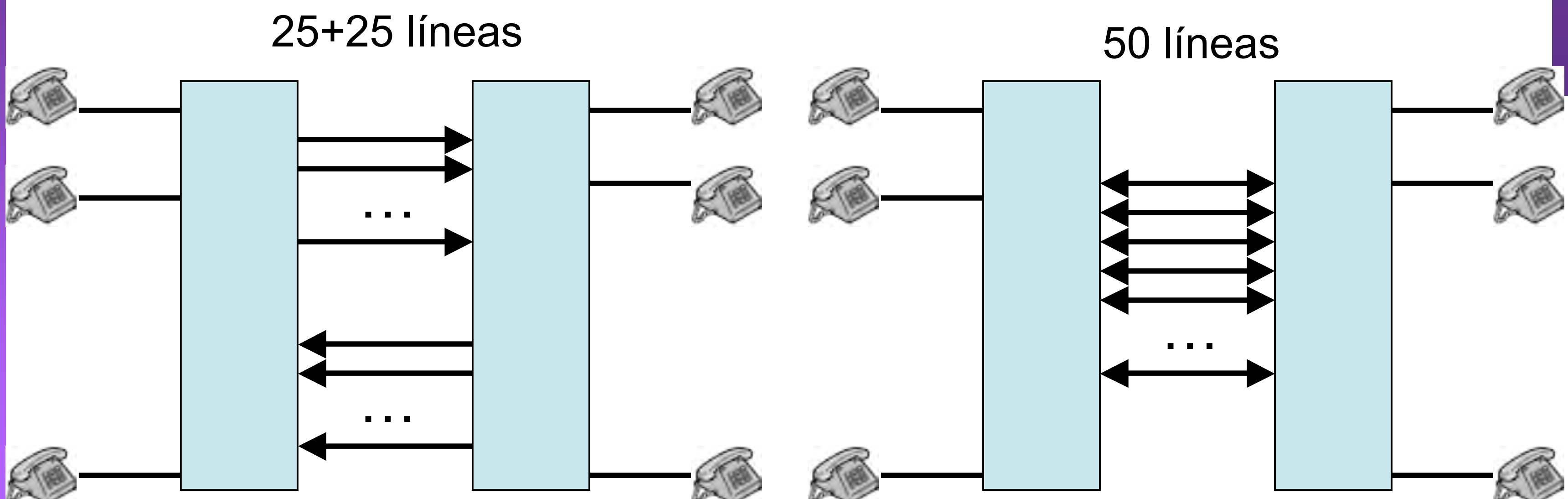
- Suponiendo que el tráfico que intenta ir de B a A es el mismo que el de A a B llamemosle a (pongamos 15 erlangs)
- Probabilidad de bloqueo en el caso 1

  P_b(A->B)=B(a,25) P_b(B->A)=B(a,25)

  B(15,25)=0.005 0.5%
- Probabilidad de bloqueo en el caso 2

  P_b(cualquier direccion)=B(a+a,50)

  B(30,50)=0.0002 0.02% 20 veces menos !!!



Mas complejidad

- *¿qué ocurre si las llamadas se retienen hasta que sean atendidas?*

  Mas teoría de colas función C de Erlang

- *¿qué ocurre si tenemos en cuenta que hay un numero finito (y conocido) de usuarios?*

  Formula de Engset

Preguntas pendientes

- *¿por qué estudiamos las prestaciones de conmutación de circuitos en lugar de las de conmutación de paquetes?*

  Porque el problema en conmutación de circuitos es razonablemente fácil para un curso de introducción

  Cuando hay colas y perdidas de paquetes los resultados son mas complicados. Además los modelos de llegadas aproximan peor el comportamiento de los paquetes que de los circuitos y hay más problemas abiertos

  Véase Teoría de Colas en cursos venideros

  Redes Sistemas y Servicios de 5º

Conclusiones

- El tráfico telefónico se modela mediante procesos de llegadas de Poisson y duraciones exponenciales
- La probabilidad de bloqueo se calcula mediante la B de Erlang

- Proximas clases:
  - Problemas de telefonía
  - Volviendo a conmutación de paquetes: Redes de área local
  - PDH y SDH ?