

## Conmutación de circuitos Traffic Analysis

Area de Ingeniería Telemática  
<http://www.tim.unavarra.es>

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

---

---

---

---

---

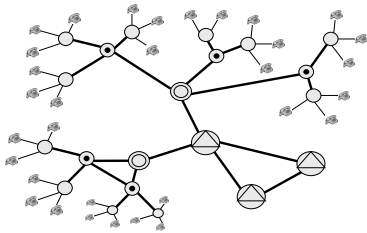
---

---

---

## Hemos visto

- Arquitectura de la red telefónica



---

---

---

---

---

---

---

---

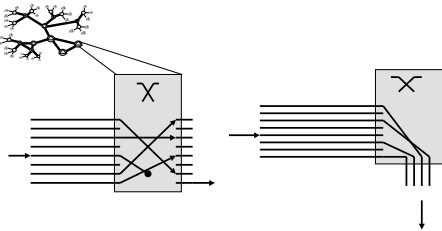
## Hemos visto

### Bloqueo interno

- El conmutador no tiene recursos para hacer llegar un circuito de la entrada a la salida

### Bloqueo externo

- El conmutador no tiene suficientes recursos de salida para cursar una nueva llamada



---

---

---

---

---

---

---

---

**upna**  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 Ingeniería de Telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería Telemática

## Objetivo: Diseño

- Normalmente el equipamiento asume que no todos los usuarios requerirán servicio al mismo tiempo
- Diseñar la red (topología)

---

---

---

---

---

---

---

---

**upna**  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 Ingeniería de Telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería Telemática

## Objetivo: Diseño

- Normalmente el equipamiento asume que no todos los usuarios requerirán servicio al mismo tiempo
- Diseñar la red (topología)
- Capacidad de conmutación interna de las centrales (bloqueo interno)

---

---

---

---

---

---

---

---

**upna**  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 Ingeniería de Telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería Telemática

## Objetivo: Diseño

- Normalmente el equipamiento asume que no todos los usuarios requerirán servicio al mismo tiempo
- Diseñar la red (topología)
- Capacidad de conmutación interna de las centrales (bloqueo interno)
- Capacidad de los enlaces (llamadas simultáneas)

---

---

---

---

---

---

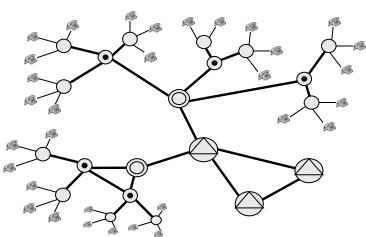
---

---

**upna**  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 Ingeniería de Telecomunicaciones,  
 Área de Ingeniería Telemática

## Objetivo: Diseño

- Normalmente el equipamiento asume que no todos los usuarios requerirán servicio al mismo tiempo
- Objetivos de calidad (ej: número de llamadas que no se pueden cursar)




---

---

---

---

---

---

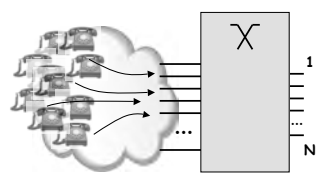
---

---

**upna**  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 Ingeniería de Telecomunicaciones,  
 Área de Ingeniería Telemática

## Problema tipo a resolver

- Conmutador con líneas de entrada y de salida
- Entradas usuarios finales o troncales: lo que nos importará es la cantidad de llamadas que llegan al conmutador
- Salidas troncales (máximo N llamadas simultáneas salen)
- Decidir N para poder cursar las llamadas con una probabilidad de bloqueo objetivo
- o decidir la cantidad de llamadas que puede cursar para un N




---

---

---

---

---

---

---

---

**upna**  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 Ingeniería de Telecomunicaciones,  
 Área de Ingeniería Telemática

## 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 tráfico)**

- 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 y la carga típica que soporta pierde menos del 0.1% de las llamadas

---

---

---

---

---

---

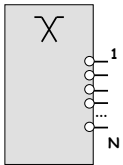
---

---

upna  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA NACIONAL  
ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS DE OPERACIONES Y TELECOMUNICACIONES  
Área de Ingeniería y Tecnología

## Capacidad

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




---

---

---

---

---

---

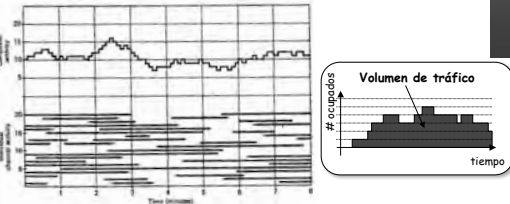
---

---

upna  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA NACIONAL  
ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS DE OPERACIONES Y TELECOMUNICACIONES  
Área de Ingeniería y Tecnología

## Carga o Tráfico

- Medida de la demanda de servicio al sistema
- Agregación de todas las peticiones de servicio de los usuarios
- = recursos en uso del sistema bajo condiciones de servicio ideales
- **Variable aleatoria**
  - Peticiones de servicio llegan de forma aleatoria
  - Solicitan servicio durante una cantidad de tiempo no predecible
- Volumen de tráfico: suma de las duraciones de los servicios




---

---

---

---

---

---

---

---

upna  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA NACIONAL  
ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS DE OPERACIONES Y TELECOMUNICACIONES  
Área de Ingeniería y Tecnología

## Carga o Tráfico

- Depende de
  - Número de usuarios ( $n$ )
  - Tasa a la que generan llamadas ( $\lambda_i$ )
  - Duración de las llamadas ( $s$ )
- El servidor no distingue el efecto del  $n$  o de  $\lambda_i$ 
  - Ej: 600 usuarios, cada uno con una petición por hora, es equivalente a 10 usuarios con una petición por minuto cada uno
- Se reduce a:
  - Tasa de generación de llamadas de todos los usuarios ( $\lambda$ )
  - Duración de las llamadas ( $s$ )
- El primer paso del análisis de tráfico es la caracterización de las llegadas de peticiones y la duración de las mismas

---

---

---

---

---


---


---

---

upna  
 ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES Y SISTEMAS DE TELEVISIÓN  
 Área de Ingeniería Telemática

## Medida del Tráfico

- Intensidad de tráfico
 
- Sin unidades físicas. Se mide en *Erlangs* (Agner Krarup Erlang 1878-1929)
- 1 Erlang** = el tráfico 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
  - T. acumulado de ocupación : 600llamadas x 3minutos/llamada = 1800min
  - 1800/60 = 30 Erlangs




---

---

---

---

---

---

---

---

upna  
 ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES Y SISTEMAS DE TELEVISIÓN  
 Área de Ingeniería Telemática

## Medida del Tráfico

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



- En telefonía se caracteriza por horas
- Varia entre meses, entre días y entre horas del mismo día (y dentro de la hora)
- Suele haber patrones semanales
- Días de fiesta, el clima, etc. afectan al patrón

---

---

---

---

---

---

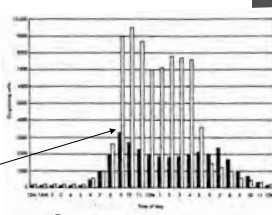
---

---

upna  
 ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES Y SISTEMAS DE TELEVISIÓN  
 Área de Ingeniería Telemática

## Hora cargada (“busy hour”)

- Periodo de 60 minutos consecutivos durante los cuales el volumen de tráfico es máximo
- Los análisis para dimensionamiento de equipos se efectúan siempre sobre la **hora cargada**
- Para determinarla se toman medidas en **intervalos de 15min** y entonces es el periodo de tiempo de 4 intervalos consecutivos con mayor volumen de tráfico
- Se calcula la hora cargada en un periodo largo (unas semanas) en la época del año de mayor tráfico
- Diferentes patrones usuarios residenciales y empresariales
- No es el volumen de tráfico mayor del año (nochevieja, día de la madre,...) pues llevaría a un sobredimensionamiento para la mayor parte del tiempo
- 1 teléfono en hora cargada approx. 0.05-0.1 E y 3-4min duración




---

---

---

---

---

---

---

---

**upna**  
 ARQUITECTURA DE REDES, Ingeniería de Telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería Telemática

## Calidad de servicio

- Medida de la bondad del servicio proporcionado
- En telefonía:
  - 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 (*congestion theory*)
  - 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 (*queueing theory*)
- 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 será rechazada
  - Sistema en **situación de Congestión**  
 Se han empezado a rechazar llamadas

---

---

---

---

---

---

---

---

**upna**  
 ARQUITECTURA DE REDES, Ingeniería de Telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería Telemática

## Tráfico ofrecido vs cursado

- Tráfico ofrecido: el tráfico total que sería cursado por una red que pudiera dar servicio a todas las peticiones
- Diseño (por economía) hace que en ciertas situaciones no se pueda cursar todo el tráfico (llamadas bloqueadas)
- Asumiremos que las llamadas bloqueadas se "pierden" (no hay reintento)
- El tráfico cursado es siempre menor o igual al ofrecido

---

---

---

---

---

---

---

---

**upna**  
 ARQUITECTURA DE REDES, Ingeniería de Telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería Telemática

## Modelando la carga

### Variable aleatoria (V)

- No tiene un valor sino que describe el resultado de un experimento 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

Variable continua

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


---

---

---

---

---

---

---

---

**upna**  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 Ingeniería de Telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería Telemática

## Proceso de llegadas

- Hipótesis fundamental en teoría clásica: llegadas independientes
- Tasa media de llegadas de llamadas de una gran población de fuentes (usuarios) independientes:  $\lambda$ .

---

---

---

---

---

---

---

---

**upna**  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 Ingeniería de Telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería Telemática

## Número de llegadas

- Hipótesis:
  - En un intervalo suficientemente pequeño solo puede producirse una llegada
  - La probabilidad de una llegada en un intervalo suficientemente pequeño es directamente proporcional a la longitud del mismo (probabilidad  $\lambda \Delta t$ )
  - La probabilidad de una llegada en un intervalo es independiente de lo que suceda en otros intervalos
- Se demuestra que el número de llegadas en un intervalo sigue una distribución de Poisson

---

---

---

---

---

---

---

---

**upna**  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 Ingeniería de Telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería Telemática

## Distribución de Poisson

- Es una función de densidad:
- Su valor medio es  $\lambda \Delta t$  :

---

---

---

---

---

---

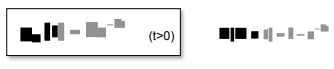
---


---

**upna**  
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA NACIONAL  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 SISTEMAS DE COMUNICACIONES Y  
 SISTEMAS OPERATIVOS Y TELECOMUNICACIONES

## Tiempos entre llegadas

- Se demuestra que: si el número de eventos que ocurren en un intervalo sigue una distribución de Poisson los tiempos entre llegadas de eventos siguen una distribución exponencial
- El tiempo entre llegadas sigue una v.a. exponencial de media  $\lambda$
- $X_i$  variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas (i.i.d.) ( $X$ )



- Media: 
- Tiempo medio entre llegadas  $1/\lambda \Rightarrow$  en media  $\lambda$  llegadas por segundo

tiempo

---

---

---

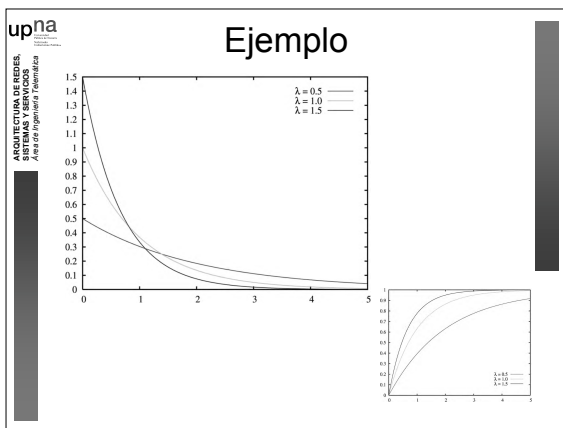
---

---

---

---

---




---

---

---

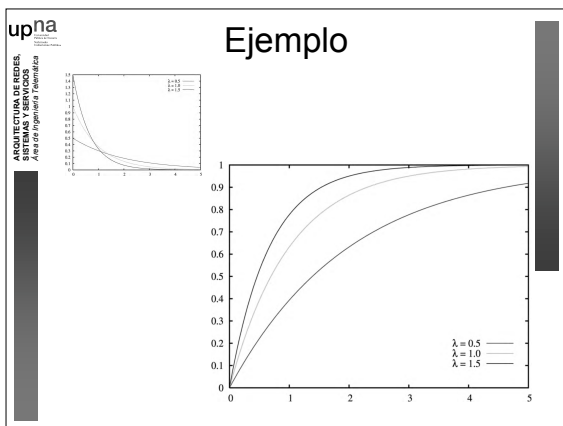
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---



**upna**  
 ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES Y SERVICIOS DE RED  
 Área de Ingeniería Telemática

## Tiempo de ocupación

- Duración de las llamadas
- Lo más simple: tiempo constante
  - Poco realista para llamadas
  - Actividades automáticas: reproducción de mensajes, procesado de señalización, etc.
- Tiempo exponencial
  - Variables aleatorias (continuas) 's'
  - i.i.d. ('s')
  - Tiempos menores de la media muy comunes
  - Cada vez menos comunes tiempos mayores que la media
  - Propiedad: el tiempo restante de una llamada es independiente de lo que haya durado hasta ahora
- Duración exponencial: 's' caracterizada por su función de densidad

---

---

---

---

---

---

---

---

**upna**  
 ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES Y SERVICIOS DE RED  
 Área de Ingeniería Telemática

## Intensidad de tráfico

- Infinitas líneas
- Llamadas que se generan con una tasa media  $\lambda$ .
- Tiempo medio de duración  $s$
- ¿ Intensidad de tráfico que representan ?

---

---

---

---

---

---

---

---

**upna**  
 ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES Y SERVICIOS DE RED  
 Área de Ingeniería Telemática

## Intensidad de tráfico

- $E[n] = \lambda s$
- Esto es conocido como la Fórmula de Little
- $\lambda s$ 
  - Es el tráfico medido en Erlangs
  - Equivalente al número de recursos que se ocuparían en el sistema con esa carga si el sistema tuviera infinitos recursos (condiciones de servicio ideales)

---

---

---

---

---

---

---

---

**upna**  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 Ingeniería de Telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería Telemática

## Número de líneas ocupadas

- Llamadas proceso de Poisson con tasa  $\lambda$ .
- Solicitudes de servicio de duración constante 's'
- ¿ Número de líneas ocupadas en un instante cualquiera ?
  - Es una variable aleatoria
  - La probabilidad de que 'j' líneas estén ocupadas en un instante es la probabilidad de 'j' llegadas en el intervalo previo de duración 's'
  - Depende solo de la intensidad de tráfico  $\lambda \cdot s$ , que es la media de esta variable ( $A = \lambda \cdot s$ )
  - Resulta ser válido independiente de la distribución de 's' (sin demostración)

Intensidad de tráfico

$\lambda$  Llegadas por segundo

1 llegada mantiene una línea ocupada durante s segundos

# ocupadas

tiempo

---

---

---

---

---

---

---

---

**upna**  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 Ingeniería de Telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería Telemática

## 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 número de líneas necesarias para una probabilidad objetivo ?
  - ¿Cuál es el tráfico que atraviesa ese sistema y forma la carga del siguiente sistema ?

---

---

---

---

---

---

---

---

**upna**  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 Ingeniería de Telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería Telemática

## Probabilidad de bloqueo

- Llegadas según proceso de Poisson de tasa  $\lambda$ .
- Duración exponencial de media s
- Variable aleatoria (o más bien proceso aleatorio)
  - I número de servidores ocupados en cada instante de tiempo
  - La intensidad de tráfico es  $E[I] = A = \lambda \cdot s$

I líneas ocupadas

# ocupadas

tiempo

Llegadas Poisson

Duración exponencial

---

---

---

---

---

---

---

---

upna  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES  
 Área de Ingeniería Telemática

## Probabilidad de bloqueo

- Cuando la variable  $I$  toma valor = número de servidores el sistema está en BLOQUEO
- ¿Cuál es la probabilidad de que el sistema esté en situación de bloqueo?

Todos los servidores ocupados = BLOQUEO

Si llegan llamadas durante el tiempo de bloqueo son rechazadas

---

---

---

---

---

---

---

---

upna  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES  
 Área de Ingeniería Telemática

## Probabilidad de bloqueo

- En un sistema con
  - Llegadas Poisson( $\lambda$ )
  - Duraciones Exp( $1/s$ )
  - Tráfico de entrada  $A = \lambda \cdot s$
  - $k$  servidores
  - Las llamadas que llegan al sistema bloqueado se pierden
  - Probabilidad de bloqueo: ¿Cuál es  $P[I=n]$ ? (...)
- $P[I=n] = B(a, k)$
- $B(a, k)$  es conocida como función B de Erlang (o ErlangB)

---

---

---

---

---

---

---

---

upna  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES  
 Área de Ingeniería Telemática

## B de Erlang

- Fórmula:
- Cálculo recursivo:

Probabilidad de bloqueo

A (intensidad de tráfico, Erlangs)

K=5  
K=10  
K=15  
K=20  
K=25  
K=30

---

---

---

---

---

---

---

---

upna  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 para la Ingeniería de Telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería de Telecomunicaciones

## Tráfico cursado

- Si un conjunto de líneas tiene un tráfico ofrecido de  $I$  erlangs y una probabilidad de bloqueo, ¿cuánto 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

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

$I_c$  : tráfico cursado  
 $I_{in}$  : tráfico ofrecido o de entrada

---

---

---

---

---

---

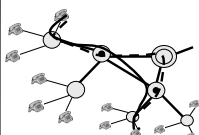
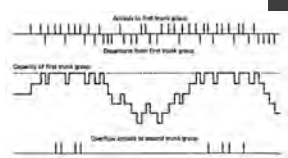
---

---

upna  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 para la Ingeniería de Telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería de Telecomunicaciones

## Tráfico de desbordamiento

- No puede ser cursado por el camino principal (por bloqueo)
- Se "desborda" (overflow) a una ruta secundaria
- Un proceso de Poisson del que se eliminan aleatoriamente (iid) muestras con probabilidad  $p$  sigue siendo un proceso de Poisson, pero con menor tasa ( $p\lambda$ )
- En nuestro caso las llamadas desbordadas suelen ir en bloques
- Eso da mayores probabilidades de bloqueo que con un proceso de Poisson de igual media
- Se aproxima con un proceso de Poisson de mayor tasa
- (En los problemas en caso de no disponer de las tablas emplearemos Poisson de igual tasa, aunque esto es subdimensionar)


---

---

---

---

---

---

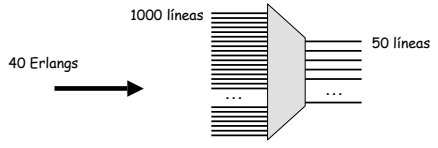
---

---

upna  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 para la Ingeniería de Telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería de Telecomunicaciones

## Ejemplos (1)

- 1000 líneas llegan a un concentrador que selecciona 50 para entrar a una centralita
- Los usuarios generan un tráfico de 40 Erlangs
- ¿Cuál es la probabilidad de bloqueo?




---

---

---

---

---

---

---

---

upna  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 Ingeniería de Telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería Telemática

## Ejemplos (2)

- 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 a uno de B ?

Demanda en Erlangs

Origen	a A	a B	Al exterior
De A	2	4,5	4,5
De B	3	3,2	5
Exterior	2	2	-

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

upna  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 Ingeniería de Telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería Telemática

## Ejemplos (2)

Demanda en Erlangs

Origen	a A	a B	Al exterior
De A	2	4,5	4,5
De B	3	3,2	5
Exterior	2	2	-

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

upna  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 Ingeniería de Telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería Telemática

## Ejemplos (2)

Demanda en Erlangs

Origen	a A	a B	Al exterior
De A	2	4,5	4,5
De B	3	3,2	5
Exterior	2	2	-

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

upna  
ARQUITECTURA DE REDES  
para el sector de Telecomunicaciones  
en la Argentina

## Ejemplos (2)

Demanda en Erlangs

Origen	a A	a B	Al exterior
De A	2	4,5	4,5
De B	3	3,2	5
Exterior	2	2	-

---

---

---

---

---

---

---

---

upna  
ARQUITECTURA DE REDES  
para el sector de Telecomunicaciones  
en la Argentina

## Ejemplos (2)

Demanda en Erlangs

Origen	a A	a B	Al exterior
De A	2	4,5	4,5
De B	3	3,2	5
Exterior	2	2	-

---

---

---

---

---

---

---

---

upna  
ARQUITECTURA DE REDES  
para el sector de Telecomunicaciones  
en la Argentina

## Ejemplos (2)

Demanda en Erlangs

Origen	a A	a B	Al exterior
De A	2	4,5	4,5
De B	3	3,2	5
Exterior	2	2	-

---

---

---

---

---

---

---

---

upna  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 Ingeniería de Telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería Telemática

### Ejemplos (3)

- 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 ?

---

---

---

---

---

---

---

---

upna  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 Ingeniería de Telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería Telemática

### Ejemplos (3)

---

---

---

---

---

---

---

---

upna  
 ARQUITECTURA DE REDES,  
 Ingeniería de Telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería Telemática

### Mayor complejidad

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

Teoría de colas (función C de Erlang)
- ¿ Qué ocurre si tenemos en cuenta que hay un número finito (y conocido) de usuarios ?
 

Fórmula de Engset

---

---

---

---

---

---

---

---

upna  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA NACIONAL

ARQUITECTURA DE REDES,  
 para ingenieros en telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería Telemática

## Preguntas pendientes

- ¿Y en el caso de conmutación de paquetes?
  - Teoría de colas
  - Problemas más complicados
  - Peores aproximaciones
  - Mayor número de problemas sin resolver

Redes Sistemas y Servicios (5° curso)

---

---

---

---

---

---

---

---

upna  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA NACIONAL

ARQUITECTURA DE REDES,  
 para ingenieros en telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería Telemática

## 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

---

---

---

---

---

---

---

---

upna  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA NACIONAL

ARQUITECTURA DE REDES,  
 para ingenieros en telecomunicaciones  
 Área de Ingeniería Telemática

## Referencias

- Richard A.Thompson, "Telephone switching systems", Ed. Artech House, capítulo 5
- John C. Bellamy, "Digital Telephony", Ed. Wiley Interscience, último capítulo

---

---

---

---

---

---

---

---