

Mediciones de Tráfico

(Incluye ejercicios)

De TETRAPRO, editado por el Sr. H. Leijon, UIT



**UNION INTERNATIONALE DES TELECOMMUNICATIONS
INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION
UNION INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES**



MEDICIONES DE TRAFICO

1. INTRODUCCION
 - 1.1 La situación del tráfico
 - 1.2 Desarrollo histórico
 - 1.3 El sistema a ser medido
 - 1.4 El proceso de tráfico
 - 1.4.1 Distribuciones de tiempo de espera.
 - 1.4.2 Proceso de las llamadas que llegan
 - 1.4.3 El proceso de tráfico

2. TECNICAS DE MEDICION
 - 2.1 Tareas básicas para el equipo de medición
 - 2.2 Métodos clásicos de medición
 - 2.2.1 Medidores de llamadas
 - 2.2.2 Medición de tiempo
 - 2.2.3 Medición de carga de tráfico
 - 2.2.4 Encaminamiento de tráfico y calidad de tráfico
 - 2.3 Medición computarizada
 - 2.3.1 Monitores de software
 - 2.3.2 Monitores de hardware
 - 2.3.3 El principio de exploración
 - 2.3.4 Niveles de prioridad
 - 2.3.5 Ejemplos de sistemas de medición computarizados
 - 2.3.6 Ventajas del equipo computarizado

3. CAMPOS DE APLICACION DE DATOS
 - 3.1 Facturación de llamadas
 - 3.2 Aspectos operacionales
 - 3.3 Mantenimiento
 - 3.4 Planificación y pronóstico
 - 3.5 Investigación y teoría de tráfico
 - 3.6 Sistemas de medición futuros

4. CANTIDAD DE DATOS A RECOPIRAR
 - 4.1 Ejemplo
 - 4.2 Requisitos de los informes de medición

5. FIABILIDAD DE LA MEDICION
 - 5.1 Precisión de las exploraciones
 - 5.2 Conteo del número de sucesos
 - 5.3 Evaluación de resultados
 - 5.4 Comentarios finales

6. REFERENCIAS

7. EJERCICIOS

1. INTRODUCCION

Por el concepto **Medición De Tráfico** se entienden los métodos utilizados para recoger información de interés para el tráfico que se está manejando. La medición del tráfico implica: número de llamadas, número de llamadas perdidas, tiempos de espera, etc. Por **Supervisión De Tráfico** se entiende la supervisión del funcionamiento, a fin de mantener bajo control el tráfico y sus condiciones operativas. Una forma de supervisión de tráfico a largo plazo, consiste en la colección de datos estadísticos a intervalos regulares. Otra forma de supervisión del mismo tipo, es la supervisión de la calidad de servicio de una planta telefónica, es decir, la observación del número de fallas técnicas de diferente índole.

La medición y la supervisión de tráfico en una planta telefónica se pueden clasificar de la siguiente manera:

- 1a. Corto plazo (supervisión)
- 1b. Largo plazo (pronósticos)
- 1c. Investigaciones especiales ocasionales (diagramas)

- 2a. Mediciones continuas
- 2b. Mediciones recurrentes regulares
- 2c. Mediciones esporádicas (pueden comenzar como respuesta a una indicación de operación insatisfactoria)

- 3a. Medición basada en mediciones directas
- 3b. Medición basada en indicaciones de mediciones indirectas

- 4a. Medición para recolección estadística
- 4b. Mediciones que decidirán próximas acciones a tomar.

La supervisión es primordialmente a corto plazo (1a.) y debe ser continua (2a.). Uno puede utilizar tanto medidas directas como indirectas (3a ó 3b). El resultado de la supervisión puede requerir investigaciones especiales ocasionales (1c) o mediciones esporádicas (2c), las cuales pueden iniciarse automáticamente en respuesta a una indicación. Esto se lleva a cabo si la acción necesaria para tratar con una situación no es clara a partir de los datos observados.

Los pronósticos se basan en mediciones a largo plazo (1b), las que se realizan continuamente (2a) o a intervalos regulares (2b). Las mediciones para la obtención de datos estadísticos deben basarse, de preferencia, en medidas directas (3a) y no deben dar pie a acciones inmediatas (4a). Al trazar un programa de supervisión de tráfico uno debe tener una clara idea de los pasos a tomar para el mejoramiento del servicio, que pueden ejecutarse inmediatamente así como los pasos que requieren planificación a largo plazo, sobre un período tal vez de 6 meses, 1 año o 5 años. Todo ello depende de la flexibilidad del sistema telefónico, es decir, qué tan rápidamente puede disponerse del equipo de repuesto para usarlo en el lugar necesario, o con qué rapidez puede repararse una avería.

Otra pregunta que surge es la siguiente: Si se requieren medidas automáticas directas como resultado de una supervisión de tráfico y servicio, pueden estas estadísticas usarse con otros fines?. ¿Pueden las estadísticas obtenidas usarse también para el planeamiento a largo plazo de futuras ampliaciones de plantas, o es necesario reunir estadísticas especiales para estos pronósticos? Es siempre deseable no gastar más tiempo y dinero de los necesarios en la obtención de estadísticas. Por otra parte, el almacenamiento de datos de tráfico obtenido sin esfuerzos desmedidos, puede ser útil a futuro. Pero siempre es difícil prever lo que debería almacenarse y lo que debería descartarse. Demasiada información se puede almacenar, pero a muy alto costo.

1.1 La Situación de Tráfico

En el capítulo 1.1, Conceptos Fundamentales de Tráfico, hemos visto que el tráfico tiene diferentes tipos de variación. Estas pueden clasificarse como:

1. Variaciones durante el día
2. Variaciones del momento de la horas pico
3. Variaciones día a día
4. Variaciones de temporada
5. Variaciones de día de semana
6. Tendencia al aumento de tráfico

En consecuencia, tanto cuando se realizan mediciones ocasionales como periódicas, uno debe saber cómo el tráfico en esos momentos se relaciona con el tráfico cuando no se realizan observaciones. De aquí también se deriva que es difícil estimar si un valor singular o un cierto número de valores obtenidos de una determinada manera, son especialmente altos o bajos. Es por tanto necesario, hacer continuas observaciones de ciertas estadísticas a fin de ser capaces de juzgar el significado de las otras observaciones.

Al organizar un programa de supervisión de tráfico, es necesario trabajar contra criterios establecidos de servicio; deben usarse ciertos valores de partida en la supervisión. El nivel, o niveles, deben hacerse de tal modo que un recordatorio o una alarma operen sólo cuando sea realmente necesario. Si se establecen límites muy bajos, uno recibe demasiada información y resulta difícil discernir lo importante de lo que no lo es. Si se establecen límites demasiado altos, no se obtienen alarmas (alertas) cuando se presenta una situación seria.

Para determinar los umbrales adecuados, uno debe usar las experiencias disponibles de las variaciones de tráfico y tratar de estimar con qué frecuencia puede la congestión exceder ciertos valores en el futuro (ver Figura 1).

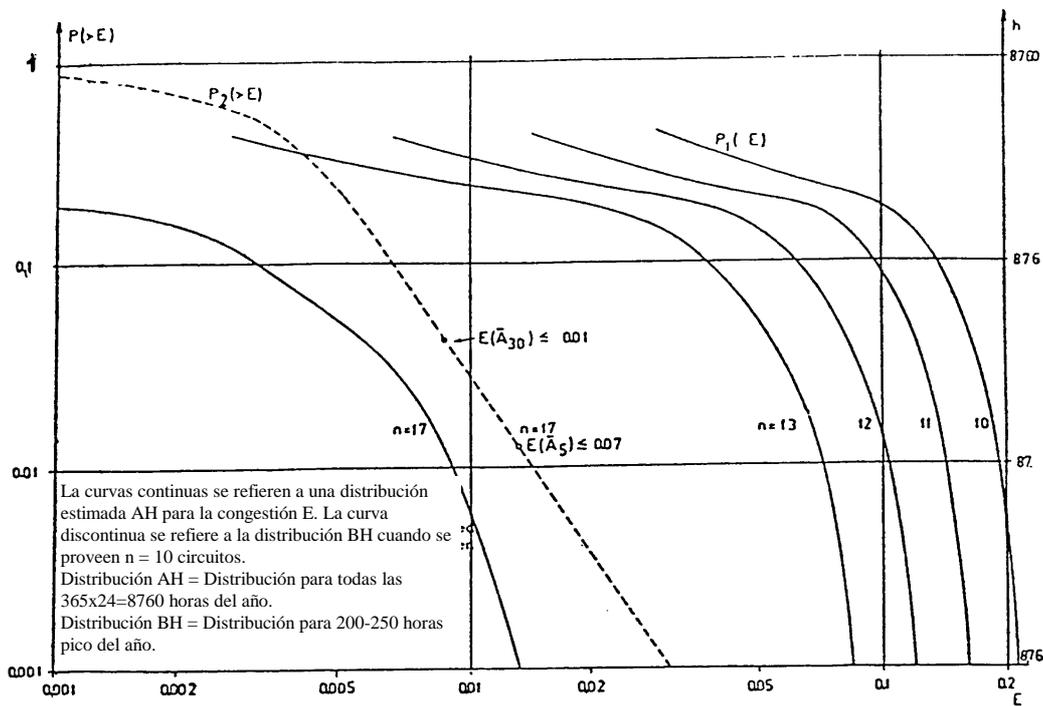


Fig. 1: Distribución resultante de la congestión en una ruta con N=10,11,12,13 y 17 circuitos, basada en la predicción de futuras variaciones de tráfico.

Explicación: Si consideramos el caso con N=17 circuitos sólo para las horas pico (curva punteada), podemos esperar que la congestión exceda el 1% ($E = 0.01$) en aproximadamente 25-30% de las horas pico; eso es, en aproximadamente 50 de las 200 - 250 horas pico durante el año. La congestión excederá el 2% en aproximadamente un caso de cada 250; eso es una vez al año en la hora pico

De la misma manera, si observamos la curva para todas las horas durante un año (= 8760 hrs) para $n = 17$, encontramos que $E=0.01$ sólo excederá con una probabilidad aproximada de $P(>E) = 0.006$, eso es, en $0.006 \cdot 8760 = 53$ ocasiones

(de las cuales 50 suceden durante las horas pico). También vemos que un valor de aproximadamente $E = 0.013$ se excederá una vez cada mil, eso es, más o menos 9 veces durante un año.

Aun si el ejemplo dado en la fig. 1 para $n = 17$ circuitos no se espera que dé congestión altamente perturbadora durante el año siguiente, puede ser una razón para establecer una alarma si E excede 2-3%, dado que la alta congestión ocurrirá si alguno de los circuitos queda fuera de servicio. La alarma parece entonces indicar más problemas operativos que alto tráfico, el cual podría ser el propósito primario de la alarma.

1.2 Desarrollo Histórico

Las mediciones se han llevado a cabo desde los inicios de la telefonía. Algunas de las primeras observaciones de tráfico conducentes a los modelos analíticos de tráfico, fueron desarrolladas por el director de la compañía telefónica de Copenhague, quien publicó un trabajo sobre la materia en 1908. El empleó a **A. K Erlang** (1878-1929), el fundador de la teoría moderna de teletráfico.

El trabajo de Erlang fue continuado por **Conny Palm** (1907-1951), en Suecia. Palm desarrolló una filosofía general de medición y, en su tesis (1943), uno obtiene una idea de sus reflexiones cuando recoge datos para la verificación de sus modelos teóricos. Sus mediciones estaban sujetas a fuertes restricciones, debido a las limitadas posibilidades de colección, almacenamiento y evaluación de datos.

Durante las dos últimas décadas han surgido nuevas demandas en información de tráfico. Las centrales manuales han sido reemplazadas por equipo automático, que permite al abonado discar directamente a la troncal (subscriber trunk dialling, STD) y otras facilidades. El resultado de esto es que se pierde mucha información verbal de las operadoras, situación que tiene que reemplazarse con nuevas observaciones.

Las primeras centrales automáticas estaban escasamente provistas con facilidades de medición. Lo mismo sucedió cuando se introdujeron los sistemas de control por programa almacenado, CPA (stored program control, SPC).

Más aún, debido a consideraciones de corto plazo, muchas administraciones han sido renuentes a invertir en equipo de medición.

En años recientes, las redes telefónicas se ha convertido en redes mundiales, con la introducción del discado directo internacional (international subscriber dialling, ISD). Mientras más extensa sea la red a ser controlada, más importante es el papel de las mediciones. Por tal motivo, ha surgido una urgente demanda de datos de tráfico.

Por otro lado, las posibilidades de obtención de datos también han mejorado. La técnica de medición ha sido simplificada con el advenimiento de las computadoras (mini y microcomputadoras). Las mediciones, que antes requerían trabajo manual muy intenso de recuperación y procesamiento, ahora pueden llevarse a cabo por medio de las computadoras.

1.3 El Sistema a ser Medido

Para analizar un sistema de teletráfico, es necesario elaborar un modelo que lo describa total o parcialmente. Tal modelo puede consistir de tres elementos; ellos son:

1. Estructura (hardware)
2. Estrategia (software)
3. El proceso de tráfico (requerimientos del usuario)

La **estructura** está técnicamente bien definida y, en principio, estamos en capacidad de obtener cualquier grado de información detallada sobre partes del sistema.

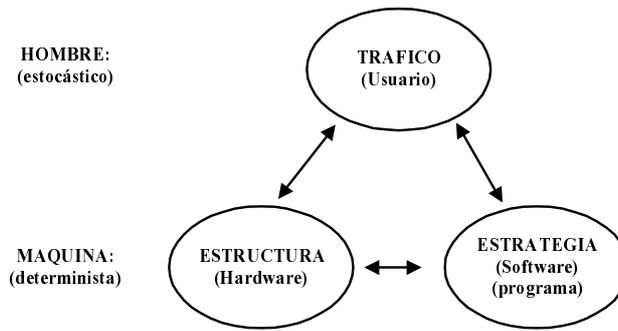


Figura 2: El sistema telefónico es un sistema hombre-máquina complejo. El propósito de la ingeniería de tráfico es diseñar sistemas óptimos. Esto sólo se puede cumplir haciendo observaciones del comportamiento del abonado.

La **estrategia** consiste de reglas y principios, que el ingeniero de tráfico aplica para obtener lo mejor del sistema en una situación de tráfico dada. En sistemas electromecánicos la estrategia es implementada en la “lógica cableada” (“wired logic”); en sistemas CPA, en el software (lógica programada).

Sólo se puede llegar a una descripción realista del proceso de tráfico por observaciones en sistemas operativos reales.

Por eso, los ingenieros de tráfico tratan de adaptar el sistema al proceso de tráfico, aplicando diferentes estrategias, tales como: encaminamiento, prioridad, etc.

Pueden surgir dificultades debido a la interacción de los tres elementos. Así, el tráfico observado NO es independiente de la estructura de la estrategia (Figura 2).

1.4 El proceso de tráfico

El número de abonados marcando simultáneamente, el número de llamadas de un grupo troncal, etc. varían incesantemente en el tiempo. El proceso de tráfico se lleva a cabo en un **tiempo continuo** y en un **espacio discreto**. Los cambios se deben, ya sea a la llegada de llamadas o a la terminación de las llamadas existentes (Fig. 3).

Por tanto, es natural dividir la descripción de las propiedades estadísticas del flujo de tráfico en dos procesos:

1. El proceso de tiempo de ocupación
2. El proceso de llegada de llamadas.

1.4.1 Distribuciones de tiempo de ocupación

Cada intervalo de tiempo (tiempo de ocupación, tiempo de congestión, etc.) es una variable estocástica no negativa **X**, que llamamos un tiempo de vida **X** que se caracteriza por una función de distribución:

$$F(t) = P(X \leq t) \quad t \geq 0 \quad (1.1)$$

Para este tipo de distribución, tenemos la útil identidad:

$$M_n = \int_0^{\infty} t^n \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} n \cdot t^{n-1} \{1 - F(t)\} dt \quad n=1,2,\dots \quad (1.2)$$

M_n es el n-ésimo momento no central y **f(t)** es la función de densidad. Para el primer momento obtenemos el valor medio:

$$\mu = M_1 = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} \{1 - F(t)\} dt \quad (1.3)$$

Palm introdujo un **factor de forma** ε para caracterizar la dispersión de una distribución de tiempo de vida:

$$\varepsilon = \frac{M_2}{M_1^2} = 1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2} \geq 1 \quad (1.4)$$

donde σ^2 es la varianza de la distribución. Para un intervalo de tiempo constante, obtenemos $\varepsilon = 1$. Si escogemos el valor medio como una unidad de tiempo, obtenemos $\varepsilon = M_2$.

En principio, podemos usar cualquier función de distribución con argumentos no negativos para describir tiempos de vida. Sin embargo, las aplicaciones prácticas y analíticas de **la distribución exponencial** tiene ciertas características sobresalientes, que la constituyen en la más importante de todas las distribuciones de tiempo de vida. También provee una buena descripción para muchas observaciones reales de intervalos de tiempo. Muestra la distribución y la función de densidad, respectivamente.

$$\left. \begin{aligned} F(t) &= 1 - e^{-\lambda \cdot t} \\ f(t) &= \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t} \end{aligned} \right\} \lambda > 0, \quad t \geq 0 \quad (1.5)$$

De este modo, la distribución es caracterizada por un parámetro, λ . El valor medio es y el factor de forma es igual a **2**. La propiedad esencial de la distribución exponencial es la memoria faltante. El tiempo de vida remanente es independiente del tiempo de vida actual.

Partiendo de la distribución exponencial, Palm define dos clases de distribución, que constituye una manera más conveniente de representar analíticamente las distribuciones obtenidas por mediciones. Además, éstas aparecen como consecuencia natural de la readecuación que el tráfico sufre en su trayecto por el sistema telefónico, como corresponde a los intervalos en serie **-distribuciones con pendiente** ($\varepsilon < 2$) y en paralelo **distribución horizontal** ($\varepsilon > 2$). Cualquier tiempo de vida puede describirse por una combinación de estas dos clases de distribución. Esta combinación se llama **distribución generalizada de Erlang** o **distribución de Cox**.

1.4.2 Proceso de llegada de llamadas

La llegada de llamadas, durante un período de tiempo, en un cierto punto de un sistema telefónico, está dentro de la teoría de procesos estocásticos conocida como **proceso puntual estocástico**. En un suceso puntual, dos sucesos (llamadas) solamente difieren por el instante en el tiempo en que ocurren. Se ignora la información sobre llamadas individuales.

Solamente consideraremos procesos puntuales regulares, es decir, excluirémos sucesos múltiples. En el campo de la telefonía, esto se hace escogiendo una unidad de tiempo suficientemente pequeña.

Comenzando observaciones en el tiempo $T_0 = 0$ y representando el tiempo de llegada de la i -ésima llamada por T_i , obtenemos:

$$0 = T_0 < T_1 < T_2 < \dots < T_n < \dots < K \quad (1.6)$$

El número de llamadas en el intervalo semiabierto $(0, t]$ se representa por N_t . Esta es una variable estocástica discreta. La distancia entre dos sucesos:

$$X_i = T_i - T_{i-1} \quad i = 1, 2, \dots, K \quad (1.7)$$

se llama **tiempo entre llegadas**. Esta es una variable estocástica continua, definida por la distribución entre llegadas.

Correspondiendo a N_t y X_t , un proceso puntual puede caracterizarse de dos maneras:

1. **Representación numérica** N_t : Se fija el intervalo de tiempo t y observamos la variable estocástica N_t .
2. **Representación del intervalo** T_t : Se fija el número de sucesos y observamos el tiempo T requerido para la ocurrencia de los sucesos.

Una simple pero fundamental relación entre ambas representaciones, es:

$$P\{N_t < n\} = P\{T_n > t\} \quad n = 1, 2, \dots \quad (1.8)$$

La representación del intervalo corresponde al análisis clásico de series de tiempo. Si por ejemplo $n = 1$, obtenemos estadísticas sobre las llamadas individuales, esto es, **promedios de llamadas**. Las estadísticas obtenidas de la representación numérica son en general **promedios de tiempo**. En medición de teletráfico, es muy importante distinguir entre estos dos tipos de promedios.

Cuando los tiempos entre llegadas se distribuyen exponencialmente, llegamos al **proceso de Poisson**, el cual es el más importante entre todos los procesos puntuales. Para la distribución **normal**, usada en estadística matemática, la superposición se implementa por **suma**. Para el proceso de Poisson, usado para describir procesos puntuales, la superposición se implementa por **multiplicación**. El proceso de Poisson da una buena descripción de muchos procesos físicos puntuales.

1.4.3 El proceso de tráfico

Por la expresión **tráfico** usualmente queremos decir **intensidad del tráfico**, la cual se define como sigue:

Para un grupo de circuitos o dispositivos, la intensidad promedio de tráfico durante un período T , es igual a la ocupación total dividida entre T .

La unidad de tráfico que acabamos de definir se llama **Erlang**; abreviada **Erl**.

En la teoría de teletráfico clásica y en métodos de medición clásicos, el proceso de tráfico se estudia a través del estado espacial (**medición vertical**), donde no es posible seguir las llamadas individuales.

Esta descomposición del proceso de tráfico arriba mencionada, no está de acuerdo con el principio de operación de equipo computarizado, el cual monitorea el circuito individual y, por tanto, opera en el espacio temporal (**medición horizontal**).

Esta descomposición del proceso de tráfico ha resultado en una nueva aproximación al estudio de la exactitud estadística de las mediciones de teletráfico. Ella sólo requiere un conocimiento básico de teoría de probabilidad elemental.

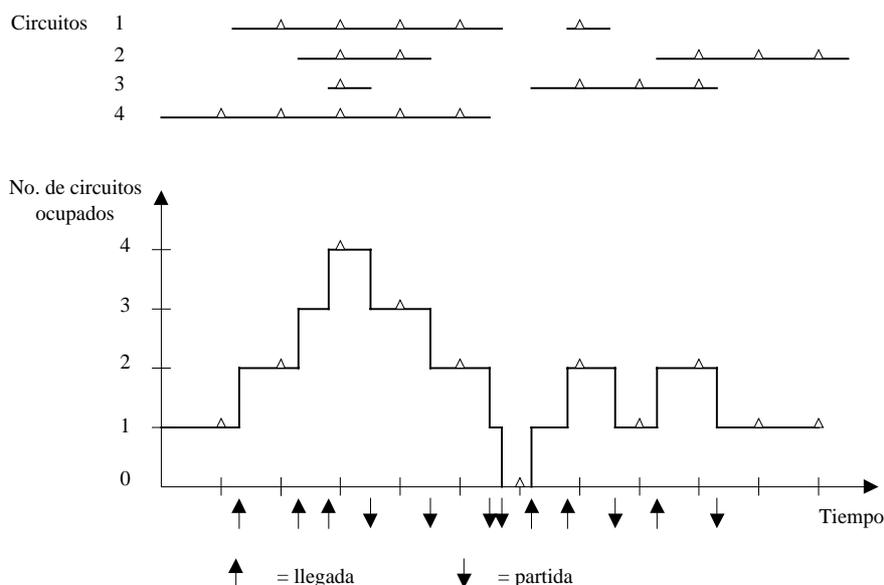


Figura 3: Proceso De Trafico Continuo

Cada proceso de tráfico se lleva a cabo en tiempo continuo y en espacio discreto. El curso del proceso de tráfico se registra de manera muy exacta mediante una medición continua. En mediciones clásicas, monitoreamos el número total de circuitos ocupados (**observación vertical**), y no es posible identificar las llamadas individuales. En medición computarizada (**observación horizontal**), se monitorean los circuitos individuales.

2. TECNICAS DE MEDICION

En esta sección nos concentraremos en los principios usados por el equipo de medición existente para la obtención de datos. No consideraremos observaciones manuales de operadores e ingenieros, no obstante estas observaciones son aún de gran valor. Desde un punto de vista estadístico, estas observaciones se tratan de la misma manera que aquéllas realizadas por equipo de medición automático.

2.1 Tareas básicas para equipos de medición

Para todas las mediciones es válido que el dispositivo individual sólo puede estar **libre** u **ocupado**.

Hay dos operaciones fundamentales en técnicas de medición:

1. **Contar el número de sucesos** (por ej. llamadas exitosas, llamadas perdidas, ocupaciones, desconexiones, impulsos facturados).
2. **Registro de intervalos de tiempo o fijación de puntos de tiempo** (por ej., tiempos de ocupación, tiempos entre llegadas, tiempos de espera, tiempos de congestión).

Cualquier equipo de medición debe ser capaz de realizar una o ambas de estas operaciones y de alguna manera, almacenar los resultados. Los datos usualmente se evalúan en línea (on - line), para reducir la cantidad de salidas. Hay una diferencia esencial entre puntos de medición activos y pasivos.

Los puntos de medición activos llaman la atención del equipo de medición cuando se lleva a cabo un suceso. Pueden iniciar un impulso cuando el estado cambia, o pueden operarse durante un intervalo de tiempo. Esto corresponde a casos en los que somos capaces de medir intervalos de tiempo. Aún si es un método de medición continua, el resultado puede ser un entero. (Ejemplo: contadores de llamadas)

Los puntos de medición pasiva tienen información del estado de los puntos de medición, pero el equipo de medición debe preguntar si los sucesos ocurrieron o no. Esto se hace, por ejemplo, mediante métodos de exploración y corresponde a casos cuando lo registrado es un número.

En general, los puntos de medición activos son más caros que los pasivos, pero los puntos de medición pasivos requieren equipo de control común más caro, por ejemplo, una computadora. La computadora investiga, a intervalos regulares, si los estados de los puntos de medición han cambiado. Así que el tiempo, de hecho, no se registra continuamente, sino como un número entero de intervalos de exploración. Este principio se aplica también para la facturación de llamadas por medio del método de **Karlsson**.

Las recomendaciones de la CCITT (CCITT, 1977) son útiles como un punto general de referencia para la medición y registro de tráfico, principalmente en cuanto a relaciones internacionales. La CCITT recomienda mayor uso de métodos automáticos para registrar y analizar datos de tráfico, porque se requerirá más información debido a la expansión de las redes.

El equipo debe ser capaz de proporcionar información de salida, de modo que se adapte al procesamiento automático de datos. De preferencia, el equipo debe ser capaz de funcionar continuamente. Aún más, debe ser fácil acondicionar un control remoto de tráfico.

2.2 Métodos de medición clásicos

Definición: Por este concepto entendemos equipo donde las lecturas de los puntos de medición y el procesamiento en línea se llevan a cabo por **lógica cableada**. La mayoría del equipo existente pertenece a este tipo. Las operaciones llevadas a cabo pueden ser más bien avanzadas. Con frecuencia el equipo explota la lógica inherente en las centrales y los datos reunidos pueden evaluarse fuera de línea (off - line) por una computadora.

2.2.1 Medidores de llamadas

El dispositivo clásico para contar el número de sucesos es el **contador electromecánico**, el cual recibe un impulso por cada suceso. Es útil para contar el número de impulsos a ser facturados, llamadas perdidas, desconexiones, etc. y, de hecho, para medir intervalos de tiempo. Los datos pueden leerse usando una cámara, que toma fotografías de un grupo de medidores en determinados puntos de tiempo.

En la mayoría de centrales se usan ampliamente los contadores de llamada. Puede haber medidores de llamadas para cada registrador y marcador y para las varias rutas desde los selectores de grupo (por ej., lectura del número de llamadas y el número de llamadas reportadas).

Por la combinación de varios medidores podemos llevar a cabo diferentes tareas. Un simple dispositivo para supervisión de relación se obtiene usando dos medidores, uno que cuenta el número total de sucesos y otro que cuenta el número de algunos sucesos pertinentes. Cuando cualquiera de los dos contadores llega a un número predeterminado, ambos se reinician (reset). Si el contador para sucesos críticos llega primero, también se activa una alarma.

2.2.2 Mediciones de tiempo

Estas se pueden llevar a cabo manualmente, con cronómetros manuales. Los tiempos de ocupación cortos se pueden tomar con un osciloscopio. Un método algo más automático, es el registrador gráfico. Estos métodos no pueden registrar grandes cantidades de datos, no obstante son aplicables a muchos propósitos. Requieren mantenimiento considerable y atención de operación, y la subsiguiente evaluación de resultados es muy tediosa.

Un método utilizado con frecuencia para medir intervalos de tiempo es el siguiente: Un contador se conecta a un dispositivo. Los impulsos de un reloj se cuentan solamente si el dispositivo está ocupado. La comparación entre el número de impulsos en el contador y el número total de impulsos del reloj dan la ocupación del dispositivo observado. Este contador de tiempo de ocupación se denomina con frecuencia: registro de uso del circuito individual, **ICUR** (Individual Circuit Usage Recording). Si por ejemplo se envían 3600 pulsos en una hora, el uso del circuito se obtiene sumando todos los segundos registrados en el contador y dividiéndolos luego entre 3600.

Los **tiempos medios de ocupación** se obtienen dividiendo el tráfico cursado entre el número de llamadas (este último obtenido mediante un medidor de llamadas). Los intervalos de tiempo individuales (es decir, la distribución) son más complicados de registrar. Deben obtenerse de un medio de salida (por ejemplo, cinta perforada) o de un histograma, usando un contador para cada clase de histograma. Esto requiere que el selector sea estimulado por impulsos durante el tiempo de ocupación.

2.2.3 Mediciones de carga de tráfico

Esto es, de hecho, un total de todos los tiempos de ocupación para un grupo troncal dentro de un intervalo de tiempo. Si el grado de servicio es bueno, el tráfico cursado puede usarse como un estimado del tráfico ofrecido. Hay principios de medición continuo y discreto.

El tráfico se define como el número medio de ocupaciones simultáneas. En una medición continua, el tráfico cursado es igual a la suma del tiempo para todas las ocupaciones, dividida entre el tiempo de medida (T).

$$A_{carr} = \frac{I}{T} \cdot \sum_{\mu} t_{\mu}$$

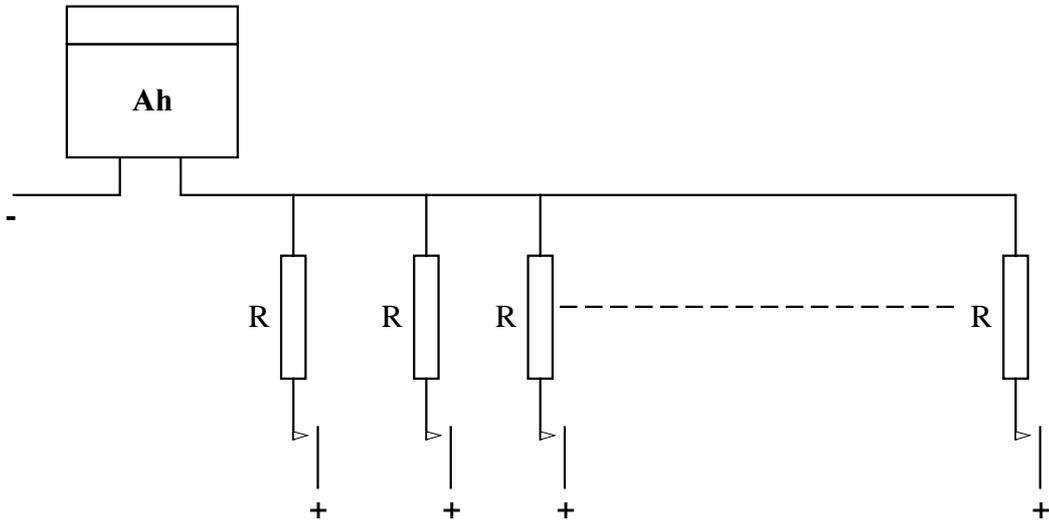


Figura 4: La corriente en el contador Ah es proporcional al número de contactos operados.

El principio de una medición continua se muestra en la Fig. 4. Cada dispositivo tiene una resistencia de medida, a través de la cual pasa corriente cuando el dispositivo está ocupado, pero no cuando está libre. La corriente del contador amperios-hora depende entonces de la resistencia paralela de las resistencias de medida conectadas. La corriente que pasa a través del medidor amperios-hora es entonces proporcional al número de dispositivos ocupados:

$$I(t) = U/R \cdot P(t)$$

donde $P(t)$ es el número de dispositivos ocupados al momento t .

En el contador amperios-hora, la corriente se integra sobre la duración total de la medición, de tal modo que el tráfico cursado se obtiene de la ecuación siguiente, donde K es una constante de calibración que debe determinarse para cada medidor amperios-hora individual.

$$A_{carr} = K \cdot \int_{t=0}^T I(t) dt$$

El otro método de medición de tráfico consiste en contar el número de dispositivos ocupados en determinados momentos. Esto se denomina exploración. El tráfico cursado se estima entonces como:

$$A_{carr} = \frac{I}{N} \cdot \sum_i P_i$$

donde P_i es el número de dispositivos ocupados en la i -ésima exploración. N es el número total de exploraciones.

La exploración implica contar el número de dispositivos ocupados en tiempos dados. El estimado de tráfico ($A_{curs.}$) se determina entonces como el número promedio de dispositivos ocupados simultáneamente. Como el tráfico no se observa continuamente, la exploración implica un elemento de incertidumbre y el error aleatorio en una medición puede estimarse a partir de fórmulas presentadas en la sección 2.4.5. La precisión aumenta con la disminución del intervalo de exploración.

El método de exploración puede usarse también para la medición del tiempo de congestión y del tiempo medio de espera. El intervalo de exploración debe entonces ajustarse en concordancia.

En la mayoría de medidores fabricados para exploración, el medidor amperios-hora es reemplazado por una resistencia puente que se conecta a intervalos regulares. El puente compara la resistencia paralela para el número de dispositivos ocupados, con una resistencia de comparación y el número de ocupaciones así determinadas se transmite entonces mediante impulsos a contadores de llamadas o a una máquina de tarjetas perforadas. El medidor es conmutado automáticamente de un grupo de dispositivos a otro. Un medidor de tráfico puede servir, por ejemplo, a 60 grupos de un máximo de 20 dispositivos o; en otros casos, a 20 ó 40 grupos de 30 dispositivos cada uno. En mediciones de tráfico de conversación normal, uno usualmente hace alrededor de 100 por grupo y hasta 1000 exploraciones para registradores y otros dispositivos con tiempo de ocupación corto. Algunas administraciones hacen sólo una exploración por grupo, cada 120 ó 180 segundos. Este tipo de contador se desarrolló antes de la presente era electrónica, pero todavía se usa.

La exploración está más orientada a la computación, que el método de medición continuo. Los métodos de medición computarizados realizan sin embargo, exploraciones en los dispositivos individuales y no en el grupo como un todo.

2.2.4 Encaminamiento de tráfico y calidad de tráfico

Para poder decidir sobre las acciones de gestión de la red, es necesario tener información precisa sobre la dispersión de tráfico dentro de una red telefónica automática, especialmente cuando se aplica encaminamiento alternativo.

El equipo moderno basado en información de registradores es capaz tanto de registrar los dígitos marcados como el destino de la llamada, es decir, la calidad del tráfico (por ej. registradores de control). Así, la dispersión de llamadas (matriz de llamada) se obtiene registrando los dígitos marcados. Si las llamadas son ponderadas por su duración, obtenemos la dispersión de tráfico (matriz de tráfico). Estas mediciones se hacen en base a tráfico real.

Para verificar el funcionamiento del servicio se usan llamadas de prueba. En las llamadas de prueba se generan llamadas artificiales y se registra el destino de las llamadas. Este es un método que sólo aumenta ligeramente la carga, pero los resultados son a veces difíciles de evaluar desde un punto de vista estadístico, debido a que las estadísticas obtenidas son dependientes del momento del día en que se realizan. Desde un punto de vista práctico, la información obtenida es aún muy útil para identificar puntos problema en la red.

2.3 Medición computarizada

Definición: Por mediciones computarizadas se entienden aquellas mediciones donde la obtención de los datos y/o el procesamiento de datos en línea es controlado por software. Muchas mediciones convencionales aplican electrónica, y la evaluación fuera de línea puede realizarse por computadores.

Las mediciones computarizadas pueden implementarse de dos maneras: por monitores de software o por monitores de hardware.

2.3.1 Monitores de software

Estos se implementan en sistemas de control por programa almacenado, CPA (SPC) y en computadores de propósito general, dejándoles realizar las observaciones por sí mismos. El equipo de medición es simplemente un programa de computadora. Si a este programa se asigna una alta prioridad, podría influir el proceso de tráfico, impidiendo el servicio de algunas llamadas.

Si al programa se le otorga una prioridad baja, no se influye el proceso de tráfico, pero durante períodos pico puede no haber tiempo para mediciones.

En muchos casos se ha encontrado que la carga extra de la medición de tráfico ha degradado ocasionalmente la capacidad de manejo de tráfico del procesador central de un sistema CPA.

En sistemas CPA, la estrategia puede ser registrar, por ejemplo, cada milésima llamada en cinta magnética. Esto carga la computadora de una manera regular y los resultados son estadísticas de llamadas, que son útiles para estimar el grado de servicio.

2.3.2 Monitores de hardware

Este es un equipo autónomo, por ejemplo, un minicomputador o un microprocesador, que tiene libre acceso a la información necesaria en un sistema CPA, un computador o una central. convencional.

Trataremos principalmente con monitores de hardware. El primer monitor de hardware para aplicaciones en teletráfico se desarrolló en 1969, en IMSOR, Universidad Técnica de Dinamarca (Figura 6). En la actualidad se han diseñado equipos similares en muchos otros lugares. En general, este equipo se basa en una mini computadora comercial. Sin embargo un microprocesador es suficiente para muchos propósitos.

2.3.3 El principio de exploración (Fig. 5)

El equipo computarizado tiene la ventaja de las **memorias masivas**. Actualmente, se aplica el principio de exploración tradicional, pero se monitorean los puntos de medición individuales y sólo se registran los cambios relevantes.

Opera de acuerdo al “**principio de última apariencia**” (“**last - look principle**”), por el cual ejecuta las dos operaciones básicas: contar el número de sucesos y fijar puntos de tiempo.

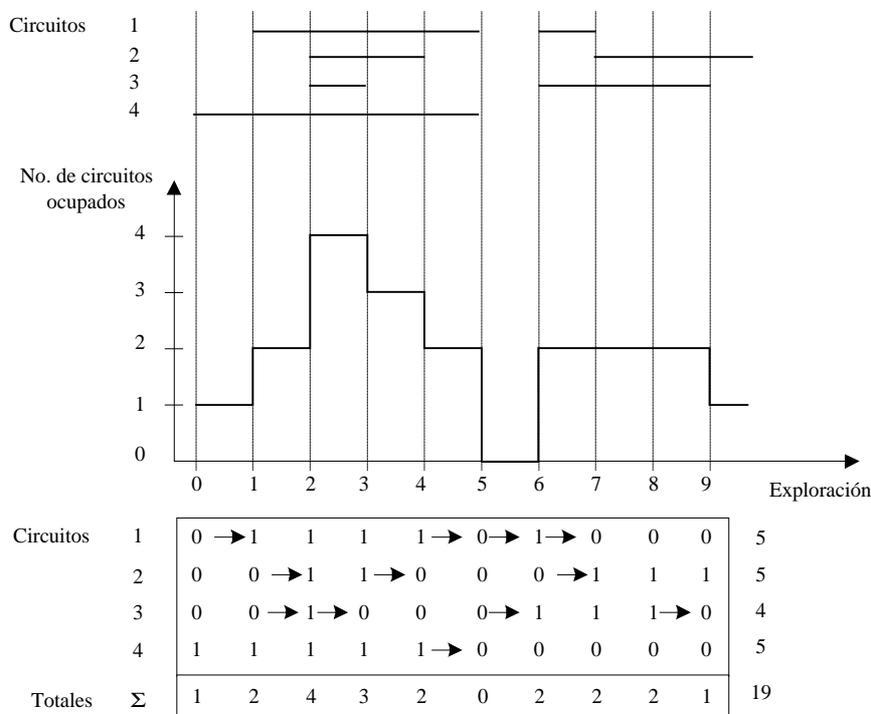


Fig. 5 Proceso de tráfico discreto: Principio de exploración con intervalos regulares de exploración, aplicado al proceso de tráfico de la Figura 2.4.3. En registro convencional de tráfico, no se obtiene información de los circuitos individuales. Sólo se registra la cuenta total del conmutador por cada exploración o para todo el período de medición. Equipos computarizados monitorean los circuitos individuales y registran todos los cambios relevantes por: a) número de circuito, b) tiempo= número de exploración, y c) tipo de cambio 0→1 o 1→0.

Un punto de medición está libre u ocupado. Su estado puede almacenarse en un solo bit. A intervalos regulares, **intervalos de exploración** (por ej. cada 10mo. ms), se lee el estado de un punto de medición en la computadora y se compara con la lectura anterior.

Si no se observan cambios, (0 → 0) o (1 → 1) no se hace nada. Si el estado difiere de la lectura anterior, (0→1 = inicio de ocupación), (1 → 0 = terminación de la ocupación), ello se registra para procesamiento en línea, o se almacena en una unidad de memoria

Contar el número de sucesos equivale a contar todos los cambios (0 → 1) o (1 → 0).

Medir **intervalos de tiempo** equivale a calcular las longitudes de las secuencias de “1” (ó “0”). Así, el tiempo se mide como una variable discreta.

Cuando se escoge un intervalo de exploración, consideramos varios factores:

1. Debe ser tan largo que la computadora pueda completar la ejecución de los programas necesarios antes del próximo momento de exploración
2. Para asegurar el registro de cada suceso, éste debe ser menor que el tiempo menor de ocupación y también menor que el más pequeño intervalo entre dos ocupaciones del mismo circuito
3. La exactitud de los datos y la cantidad de salida dependen del intervalo de exploración.

En algunos casos, es práctico escoger varios intervalos de exploración. En una medición en una central troncal de barras cruzadas en Dinamarca, se aplicó 20 ms para registradores y marcadores y 200 ms para líneas troncales. En general, cada suceso debe detectarse al menos dos veces.

Intervalos de exploración típicos son 10-100ms. El equipo de registro de datos de IMSOR puede manejar 1024 puntos de medición dentro de un intervalo de exploración de 5 ms. Ahora se usa generalmente 10 ms para la mayoría de puntos de medición.

2.3.4 Niveles de prioridad

Para la utilización óptima de la computadora, se asignan prioridades para sus diversas funciones. Es necesario un mínimo de dos niveles. Estos pueden implementarse por software o hardware.

El nivel de **más alta prioridad** se asigna a programas que deben ejecutarse dentro de cada intervalo de exploración. Estos programas leen los puntos de medición, registran los cambios de estado y reúnen estadísticas simples.

Los niveles de **prioridad más baja** se asignan a programas que supervisan las mediciones, hacen listados de información, se comunican con el operador y aseguran el control corriente y el curso correcto de programas. Es muy importante tomar precauciones en línea para descubrir y eliminar fuentes de error.

En principio, puede introducirse un número arbitrario de intervalos de exploración y clases de prioridad. Sin embargo, el tiempo requerido para la administración también aumenta y los programas se vuelven más vulnerables a los errores.

2.3.5 Ejemplos de sistemas de medición computarizados

El equipo de medición que se muestra en la Figura 2.4/6, se usó por primera vez en 1969 para las **mediciones de Holbæk** (Iversen, 1973). La central que se midió fue una central troncal de barras cruzadas. (ARM 201/2 L.M. Ericsson)

El equipo se aplicó posteriormente en mediciones detalladas en otros tipos de centrales, entre otras:

- AKD 791 y ARD (PABX's) (L.M. Ericsson)
- ESK-10.000 (Siemens)
- Pentaconta (ITT)

Además, ha sido usado por L.M. Ericsson, en Estocolmo, para varias mediciones.

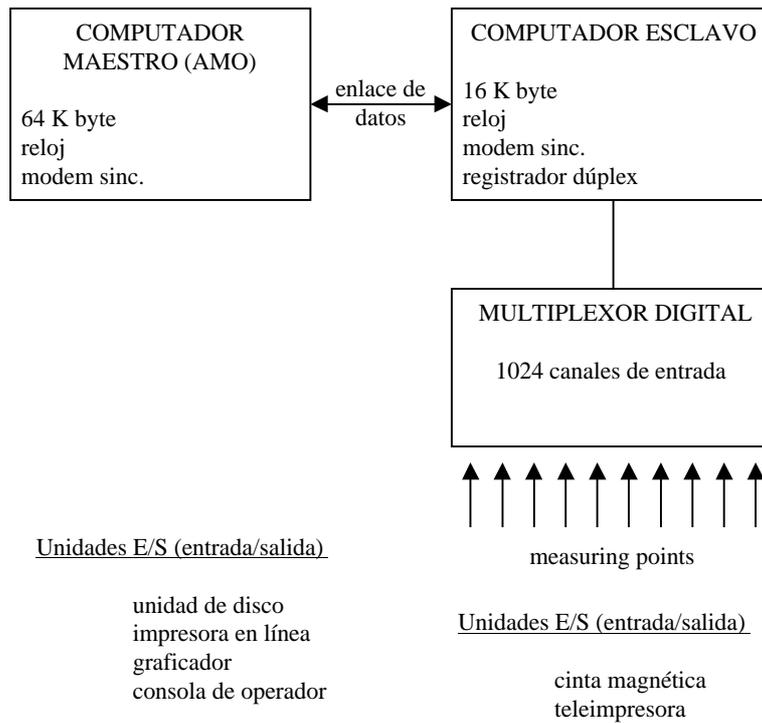


Fig. 6: Configuración actual del equipo de registro de datos de IMSOR. La computadora maestra es un computador de propósito general en el Instituto, utilizada para investigación y enseñanza.

En la actualidad existen muchos sistemas de medición basados en la misma filosofía, que cada vez se expande más. L.M. Ericsson y la Administración Sueca de Telecomunicaciones han adquirido conjuntamente equipo similar basado en el mismo multiplexor.

La Compañía Telefónica de Copenhague tiene equipo de medición basado en el mismo principio. Durante varios años ha monitoreado en detalle aproximadamente a 1600 abonados en la central local de **Ordrup**. La compañía telefónica de Jutland en Dinamarca, tiene equipo similar operando en la central de **Grindsted** con ambos propósitos: mantenimiento y tráfico. En Noruega, equipo similar (**CARAT**) ha venido monitoreando 500 abonados por varios años. En Francia, ha habido recientemente gran actividad en este campo y ESTOC, OCTOPUS II y ASMODEE son ejemplos de tales equipos de medición.

Estos sistemas de medición se han utilizado con propósitos de investigación y desarrollo. Varias compañías han introducido sistemas de medición basados en principios similares para la gestión de sistemas telefónicos completos. Mencionamos unos pocos ejemplos: Autrax (Telesciences & ITT), Alston y Atemis (Conrac-Corp.), TIS (GTE Int.) y AOM (L.M. Ericsson).

La mayoría de las compañías tienen ahora equipo de este tipo. El sistema Bell introdujo TNDS (Total Network Data System), el cual ha estado involucrado en la implementación a gran escala de la gestión de datos centralizada. Sapsford, Jamison y Holloway, Spiegehalter y Brown, dieron una descripción del diseño de un centro de medición y análisis. Connell brindó una descripción general de equipo basado en computador. Bernard y le Gall propocionaron una descripción del equipo desarrollado en Francia.

2.3.6 Ventajas del equipo computarizado

Comparado con el equipo convencional, usualmente diseñado para un propósito específico, el equipo computarizado tiene varias ventajas.

Cumple todas las recomendaciones de la CCITT (1977) y es a la vez **flexible** y **automático**. Es capaz de **funcionar continuamente** y puede operarse desde un **centro de control remoto**.

El equipo convencional usualmente registra valores medios. Con equipo computarizado podemos registrar las propiedades **dinámicas** del tráfico. Todas las mediciones convencionales pueden integrarse en un solo equipo de medición. Sin embargo a largo plazo no es razonable copiar todas las mediciones convencionales, establecidas bajo restricciones de la tecnología electromecánica. Estas mediciones sólo pueden ser necesarias durante un período transitorio, para proveer datos de comparación.

Con equipo computarizado y puntos de medición bien definidos puede hacerse cualquier tipo de obtención de datos. La información registrada, que en las mediciones convencionales está sujeta a muchas inconsistencias, puede validarse en línea. Los datos pueden evaluarse en línea (informes “**quick look**”) y la edición de los datos puede dirigirse hacia el **equipo de mantenimiento**, o hacia **llamadas para ingeniería de tráfico**. También los datos pueden almacenarse para posterior evaluación fuera de línea. (facturación, planeamiento, investigación, etc.).

La información se presenta en formatos compatibles donde sea necesario: un informe en palabras sencillas para el personal de la central o del centro de control centralizado, cintas compatibles con la computadora para evaluación fuera de línea, etc. Las fórmulas de la teoría de tráfico pueden programarse de tal forma que las decisiones sobre ampliaciones, encaminamiento alternativo, etc. sean sugeridas por el monitor.

De hecho, las posibilidades sólo dependen de la disponibilidad de puntos de medición y los costos de conectar esos puntos con el equipo de medición. Los cambios en tecnología de conmutación, el incremento de tráfico y la disminución de costos de las computadoras hablan en favor del equipo computarizado.

En los futuros sistemas CPA, el equipo de medición y el sistema de conmutación pueden estar totalmente integrados. En principio, no hay diferencia entre la información necesaria para los sistemas CPA y la información que necesita el personal.

Las descripciones anteriores sobre equipo pueden considerarse como una mirada retrospectiva de lo que se ha hecho hasta ahora.

3. CAMPOS DE APLICACION DE DATOS

Centraremos nuestra atención en sistemas telefónicos, aún cuando hay problemas similares en sistemas de computadoras y redes de datos.

Hoy en día muchas administraciones de telecomunicaciones gastan significativos recursos en medición, con el propósito de obtener datos fiables. En las referencias bibliográficas se dan ejemplos de programas de medición

Un programa de medición debe diseñarse con gran cuidado, para asegurar que no registren datos innecesarios. El propósito de cada registro debe estar bien definido y debe formularse el propósito de los diferentes métodos de medición. Es muy importante eliminar datos inútiles y no interesantes con la mayor rapidez posible.

Preguntas generales acerca de valores de medición son:

- disponibilidad: fáciles de reunir?
- actualidad : se requieren en línea?
- calidad : se requieren continua y exactamente?
- cantidad : confianza estadística?

3.1 Facturación de llamadas

La base económica de todas las administraciones es el pago hecho por los abonados y por otras administraciones. Es importante supervisar continuamente que la facturación sea correcta. Estas son tareas mejor manejadas por mediciones computarizadas.

3.2 Aspectos operativos

El **propósito** de la ingeniería de tráfico es maximizar la eficiencia del equipo existente. Hay una relación estrecha entre medición, dimensionamiento y criterio de servicio. Los datos de tráfico son la base de la ingeniería de tráfico. El uso primario de los datos es para la gestión diaria del equipo. Para ello se necesita la pronta recepción de los registros de tráfico.

El perfil diario de tráfico puede observarse durante todo el día. Por medio de equipo computarizado, el promedio de hora pico consistente en el tiempo puede cambiar cuando se observa más de cerca. Los datos sólo pueden registrarse cuando el tráfico es más alto que un nivel preestablecido, y debe ser posible distinguir entre la congestión causada por errores técnicos y por tráfico alto.

Debe prestarse atención especial a sucesos inusuales (desastres, corte de cables, etc.). También es importante darse cuenta de los circuitos artificialmente ocupados.

El **desempeño de la conmutación** se controla por congestión de carga, datos de balance, mediciones de carga, tiempos de espera, temporizaciones, etc.

El **desempeño de la red** se controla principalmente por mediciones de carga, las cuales dan un panorama actualizado de la carga en las rutas de tráfico existentes.

Aún la más sofisticada red requiere un nivel alto de eficiencia debido a su alta inversión. Sin embargo, la alta eficiencia hace a la red más sensible a variaciones de tráfico. Una vez que ocurre congestión o **sobrecarga**, es muy difícil estimar niveles verdaderos de tráfico o interpretar los resultados de las mediciones.

La congestión en algunas partes críticas de la red puede causar intentos de llamadas más frecuentes, lo cual incrementa la carga en el equipo de control común. Es por tanto importante, detectar e identificar problemas de la red y tomar acción antes que los problemas se vuelvan demasiado serios. Estos problemas se tratan de manera dinámica mediante acciones de **gestión de la red**.

La distribución de tráfico en la red (matriz de tráfico) debe registrarse regularmente, especialmente donde se aplica encaminamiento alternativo.

3.3 Mantenimiento

El propósito de la supervisión a corto plazo es posponer ampliaciones, verificando que el equipo se use de la manera más eficiente posible. Los datos se recogen para mantenimiento preventivo y correctivo. Las investigaciones muestran que el 30% de los errores pueden interceptarse por mantenimiento correctivo y preventivo.

Aunque parezca que un sistema funciona tan bien como es posible, las mediciones detalladas pueden revelar que algunos circuitos son inoperantes. El monitoreo de circuitos individuales es importante ya que puede prevenir serias perturbaciones del tráfico. El monitoreo en línea del funcionamiento permite informes "quick - look" e informes de excepción.

3.4 Planificación y proyección

La reunión de datos para planificación y proyección a largo plazo define la demanda actual y ayuda al planificador a prever el desarrollo futuro. Sin embargo, las proyecciones basadas en registros medidos deben tomar en cuenta muchos otros factores que pueden afectar el crecimiento del tráfico.

3.5 Investigación y teoría de tráfico

Las observaciones sobre el tráfico real son esenciales para la realimentación de los diseñadores de sistemas cuando evalúan nuevos tipos de equipo de conmutación, así como para la descripción y explicación del comportamiento del complejo hombre-máquina, constituido por el sistema telefónico y los abonados.

La teoría de tráfico es una disciplina inductiva. Es necesario usar datos reales para obtener ideas y elaborar nuevos modelos. Frecuentemente se usan datos reales en **simulaciones** de computador para evaluar nuevos sistemas, que son tan complejos que no se pueden evaluar con modelos analíticos.

4. LA FIABILIDAD DE LA MEDICION

En esta sección consideramos la base estadística general para estimar la fiabilidad de la medición.

4.1 Precisión de la exploración

Cuando se usa el método de exploración con intervalos de exploración constantes de longitud h , el proceso de tráfico continuo de la Fig. 3 se transforma en un proceso de tráfico discreto, mostrado en la Fig. 5. Observamos que no hay una relación uno a uno entre un intervalo de tiempo real continuo y el intervalo de tiempo discreto observado. Sin embargo, las dos distribuciones tendrán siempre el mismo valor medio.

TIEMPO DISCRETO OBSERVADO	TIEMPO CONTINUO REAL
0	0 - h
h	0 - 2h
2h	h - 3h
3h	2h - 4h
4h	3h - 5h
...

Tabla 1 : La relación entre los intervalos de tiempo discreto, observados por intervalos de exploración regulares de longitud h y rango del intervalo de tiempo continuo real. (Compare con la Fig. 7)

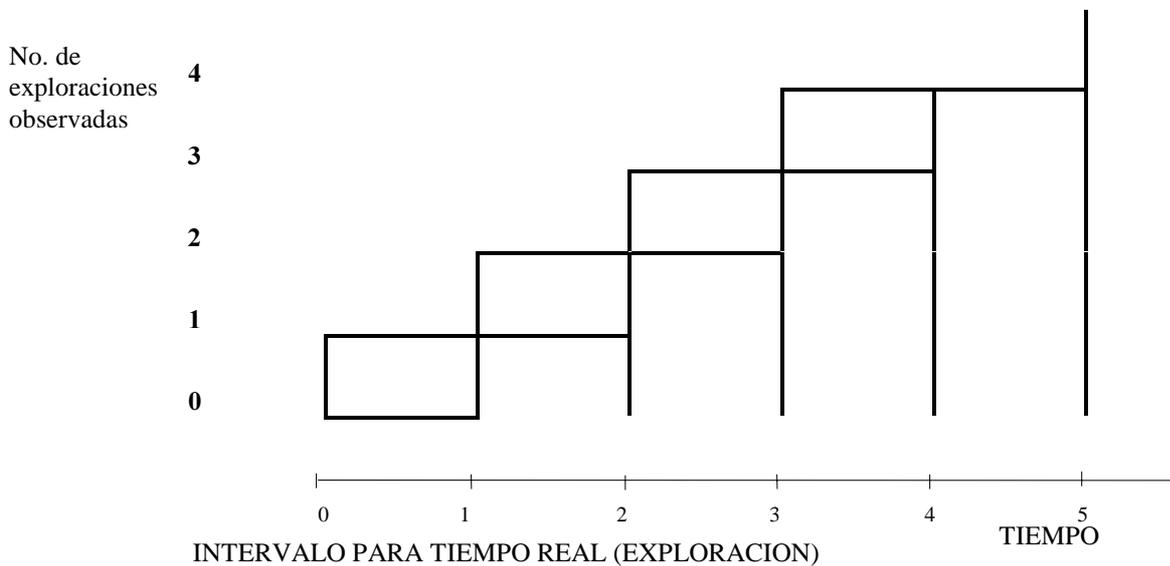


Fig. 7 : Mediante el principio de exploración con intervalos de exploración regulares, un intervalo de tiempo real continuo se transforma en un intervalo de tiempo discreto. Esta transformación es ambigua.

Con la exploración tenemos la posibilidad de estimar la duración de los intervalos de tiempo. Nuestro estimado, entonces, se expresa en cuántas veces consecutivas encontramos el estado del dispositivo observado sin cambio. Esto significa que podemos expresar debidamente la duración en múltiplos del intervalo de exploración, como se muestra en la tabla 1.

Si observamos tiempo distribuido exponencialmente, podemos transformar los intervalos en una **distribución de Westenberg** discreta, la cual nos dice cuántas exploraciones sucesivas se obtendrán dependiendo de la media de la distribución exponencial $1/\lambda$ y el intervalo de exploración h :

$$\begin{aligned}
 p(0) &= 1 - \frac{1}{\lambda \cdot h} \cdot (1 - e^{-\lambda h}) \\
 p(k) &= \frac{1}{\lambda \cdot h} \cdot (1 - e^{-\lambda h})^2 \cdot e^{-(k-1)\lambda h}, \quad k = 1, 2, K
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

El valor medio de (4.1) es $\frac{1}{\lambda \cdot h}$. El factor de forma es

$$\varepsilon = \lambda \cdot h \cdot \frac{e^{\lambda \cdot h} + 1}{e^{\lambda \cdot h} - 1} > 2 \tag{4.2}$$

Así, el proceso de exploración aumenta el factor de forma de la distribución exponencial.

Hay dos fuentes de error en la observación de un intervalo de tiempo:

- a) error debido a la muestra
- b) error debido al método de medición

Sólo el segundo puede reducirse mediante el incremento de la frecuencia de exploración.

Un ejemplo del uso de la distribución de Westenberg en la exploración de los tiempos de llegada entre llamadas, que se muestra en la tabla 2. El texto estadístico aplicado parece indicar que los tiempos entre llegadas de las llamadas, pueden distribuirse exponencialmente.

Exploracion	Observado	Westerberg	Geometric
0	1115	1150	2162
1	1776	1799	1479
2	1268	1230	1011
3	886	841	692
4	579	575	473
5	387	393	323
6	254	269	222
7	180	184	151
8	122	126	103
9	94	86	71
10	56	59	48
11	45	40	33
12	24	28	23
13	10	19	16
14	15	13	10
15	8	9	7
16	9	6	5
17-18	8	7	6
19-00	4	6	5

Tabla 2 : Tiempos entre llegadas observados en Holbaek-MC (lunes 4.8.1969, de 9-10 a.m., 6840 llamadas). Una prueba (chi - square) basada en la distribución de Wasterberg tiene una probabilidad de 40% (aceptadas). Una prueba basada en una distribución exponencial discreta (distribución geométrica) resulta en una probabilidad de 100% (rechazadas). El intervalo de exploración es de 200ms.

Si el proceso de llegada es del tipo Poisson con intensidad y , entonces el valor medio y la varianza de la media observada es:

$$\mu_i = A \tag{4.3}$$

$$\sigma_i^2 = y \cdot M_2 / T = A \cdot \varepsilon \cdot s / T \tag{4.4}$$

donde A es el tráfico ofrecido (sin congestión), T es el período de medición, M_2 el segundo momento y ε es el factor de forma del tiempo de ocupación (ver sección 2.1.4), que tiene el valor medio s . El factor de forma, ε , puede evaluarse para cualquier medición continua y para cualquier método de exploración, en un período de medición limitado o ilimitado

Para intervalos de exploración constantes y tiempos de ocupación distribuidos exponencialmente, obtenemos:

$$\sigma_i^2 = \frac{A}{T} s \lambda h \cdot \frac{e^{\lambda h} + 1}{e^{\lambda h} - 1} \tag{4.5}$$

Este es el resultado clásico obtenido por Palm (1946) y Hayward (1952).

La fiabilidad estadística de una medición se obtiene entonces de la manera usual. El rango dentro del cual se ubica la verdadera media de la intensidad de tráfico, está dado por:

$$\mu_i \pm \sigma_i \times \text{constante}$$

donde la constante es un cuantil (fractile) de la distribución normal. Para 95% de confianza, esta constante es 1.96.

Ejemplo : $T = 5$ horas período de medición
 $h = 1$ minuto de intervalo de exploración
 $s = 1/\lambda = 3$ minutos tiempo medio de ocupación
 $A = 5$ erlang

A partir de (4.5) encontramos: $\lambda \cdot h = 1/3$

$$\sigma_i^2 = \frac{5}{5} \cdot \frac{3}{60} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{e^{1/3} + 1}{e^{1/3} - 1}$$

$$\sigma_i^2 = 0.1009$$

y, por tanto, un intervalo de confianza para A de 95%: (4.38 - 5.62)

Si el intervalo de exploración es más corto que el tiempo medio de ocupación, la precisión es por lo general suficiente. El factor de forma del tiempo de ocupación, el cual está con frecuencia alrededor de 2, es entonces más importante para la exactitud.

El error relativo σ_i / μ_i depende sólo del volumen del tráfico total $A \cdot T$.

4.2 Cuenta del número de sucesos

Se cuenta el número de sucesos en base a la recepción de un impulso por cada suceso. El número de impulsos se almacena en una memoria, la cual en su forma más simple consiste de un contador de llamadas. De esta manera uno puede, por ejemplo, registrar las siguientes estadísticas:

Número de llamadas
" " ocupaciones
" " llamadas perdidas
" " tiempos de congestión
" " desconexiones
" " averías registradas

Para determinar la exactitud de observaciones de esta clase, uno puede usar métodos estadísticos para sucesos raros, es decir, uno puede estimar la certeza para un pequeño número de sucesos observados por la distribución de Poisson. Digamos que una medición muestra x_0 llamadas perdidas. Si el número varía de acuerdo a la distribución de Poisson, uno puede escribir la probabilidad de x llamadas perdidas como sigue:

$$P(x) = \frac{\lambda^x}{x!} \cdot e^{-\lambda} \tag{4.6}$$

El valor medio y la varianza para el número de llamadas perdidas observadas, será entonces

$$\begin{aligned} E x &= \lambda \\ D x &= \lambda \end{aligned} \tag{4.7}$$

El error medio en el número de llamadas perdidas observadas será entonces

$$dx = \sqrt{x}$$

$$\delta \quad \frac{dx}{x} = \frac{1}{\sqrt{x}} \quad (4.8)$$

Esto ilustra muy bien que uno debe ser sumamente cauteloso de extraer conclusiones de un número pequeño de observaciones, porque así el error medio dx es relativamente grande.

4.3 Evaluación de resultados

Desafortunadamente, los mismos equipos de medición y supervisión de tráfico no se encuentran libres de error y pueden a veces presentar resultados incorrectos. Aparte de las incertidumbres inherentes al método de observación actual, uno debe contar con posibles fallas técnicas de una clase o de otra. Entonces, es recomendable revisar todo el equipo de medición antes, durante y después de usarlo.

También es muy común que ciertos conmutadores, circuitos y troncales estén bloqueados y fuera de servicio. Algunas veces también, se llevan a cabo en partes de la central trabajos de instalación y de reparación durante la medición. Esto complica la interpretación de los resultados de las mediciones. Por tanto, uno debe saber lo que está sucediendo en la central cuando se están efectuando las mediciones.

El desempeño del servicio de una central telefónica puede, en cierta medida, evaluarse a partir de los resultados de las mediciones. Un método simple y efectivo es calcular los tiempos medios de ocupación para diferentes dispositivos. Uno usualmente sabe bastante bien por experiencia, cuáles deberían ser éstos y las desviaciones de lo normal pueden, como regla, explicarse mediante algunas razones técnicas.

Una comparación entre el tráfico medido y la congestión puede, a veces, proveer información que ciertos dispositivos deben estar fuera de servicio.

Una observación del número de averías registradas durante una medición de tráfico puede proporcionar información sobre si la central estaba funcionando satisfactoriamente durante la medición. Por tanto, todas las alarmas de servicio y de averías técnicas deben registrarse como información de base.

4.4 Comentarios Finales

Cuando se juzga la precisión de las mediciones, surgen dos preguntas:

- ¿Cuál es la precisión de la medición efectuada?
- ¿Cuán representativos son los valores observados?

La primera pregunta ha sido ampliamente tratada en esta sección y los estimados de precisión deben ser bastante satisfactorios desde el punto de vista práctico, mientras los supuestos para las distribuciones estadísticas sean suficientemente realistas.

La respuesta a la segunda pregunta depende del propósito de las observaciones.

Si las mediciones buscan definir el actual desempeño del servicio - determinado día y a cierta hora- los valores son, por supuesto, representativos para ese momento de tiempo, siempre que el método de medición sea correcto y que el equipo de medición trabaje sin errores. Esto se aplica a todos los tipos de observaciones diarias, donde no se incluyen aspectos de largo plazo.

Por otro lado, si el propósito es proveer datos de pronóstico, es importante que los valores provistos sean representativos y puedan usarse para la recopilación de datos históricos.

Esto es válido especialmente para registros de **tráfico de horas pico**, ya que estos valores no son promedios sino valores extremos. Estos extremos se sitúan en algún lugar en la parte superior de la curva de distribución, para todos los valores de una hora durante un año o cualquier otro período más largo que se defina. Es esencial que las observaciones sean comparables con observaciones anteriores, de modo que el crecimiento del tráfico pueda ser pronosticado por el planificador. Sin embargo, ya que el tráfico varía constantemente, nunca podremos estar seguros si las observaciones en otros momentos pudieran haber dado valores más representativos. Esto es siempre verdadero si el tráfico no se observa continuamente.

CONSECUENTEMENTE: La precisión de mediciones puede estimarse sólo para los momentos en que se hicieron las observaciones. Nada sabemos acerca de las ocasiones en las que no se hicieron observaciones. Por tanto, no hay razón para gastar demasiado esfuerzo tratando de definir la exactitud de las mediciones, si no sabemos qué tan representativos son nuestros valores.

5 REFERENCIAS

- Anderberg, M., y G. Wikell (1976): Un Sistema de MiniComputador para Mediciones de Tráfico Real de Telecomunicación. TELE (Edic.inglesa) No. 1, pp. 52-60.
- Andersen, B., N.H. Hansen y V.B. Iversen (1971): Uso de Mini Computador para Mediciones de Tráfico Telefónico. Teleteknik (Edic. inglesa), Vol. 15, No. 2, pp. 33-46.
- Brockmeyer, E. (1957): Una Encuesta sobre Métodos de Medición de Tráfico en las Centrales Telefónicas de Copenhague. Primer Congreso Internacional de Teletráfico. Copenhague, 1955, Teleteknik (Edic.inglesa), Vol. 1, No. 1, pp. 92-105.
- Buchner, M.M. y W.S. Hayward (1976): Sistema de Red de Datos Total. Octavo Congreso Internacional de Teletráfico. 10-17 noviembre, Melbourne, Australia, Documento 261, 7 pp.
- CCITT (1977): Libro Naranja, Vol. II.2: Operación Telefónica, Calidad de Servicio y Tarifas (Medición de Flujo de Tráfico.) y Rec. E501(Dispositivos de Registro Automático de Tráfico), pp. 195-200. Estas recomendaciones serán reemplazadas por el Grupo de Estudio II, Documento Provisional No. 26-E. marzo 1980, 25 pp.
- Coates, F.A. (1978): Un Sistema de Datos de Tráfico y de Proyección para Papúa Nueva Guinea. Telecommunication Journal, Vol. 45, No. 12, pp. 649-657.
- Connel, J. (1979): Sistemas Computarizados de Adquisición de Datos de Tráfico. IX Congreso Internacional de Teletráfico. Torremolinos, 1979, Documento 210, 6 pp.
- Conrac Corporation, Alston Division (1973): ATEMIS: Ingeniería de Tráfico Automático y Sistema de Información de Gestión. Brochures.
- Elldin, A. y G. Lind (1967): Teoría de Tráfico Telefónico Elemental. Capítulo 8: Mediciones de Tráfico y Supervisión de Tráfico. L. M. Ericsson AB, Estocolmo, pp. 21.
- Elldin, A. (1970): Sobre Mediciones de Rutina en la Planta Telefónica. Una Aproximación de Investigación Operacional. VI Congreso Internacional de Teletráfico, München, 1970, Documento 531, 6 pp. Publicado en Ericsson Technics, Vol. 26, No. 4, pp. 219-236.
- Ericsson, L:M: (1977): Operación de la Red y Sistema de Mantenimiento AOM 101. 16 pp.
- Erke, T. y K. Rahko (1976): Mediciones de Tráfico y el Grado de Servicio. VIII Congreso Internacional de Teletráfico, 10-17 noviembre, Melbourne, Australia, Documento 244, 7 pp.
- Gaustad, O., A. Flo y R.L. Dadswell (1973): Investigaciones de Tráfico Extensivo en una Central Telefónica Local (CARAT). VII Congreso Internacional de Teletráfico. Estocolmo, Junio, Documento 138/1-6.
- Gosztony, G., y G. Honi (1976): Algunos Problemas Prácticos de la Ingeniería de Tráfico de Redes Telefónicas Sobrecargadas. VIII Congreso Internacional de Teletráfico, 10-17 noviembre, Melbourne, Australia, Documento 141, 8 pp. Publicado en Budavox Telecommunication Review 1977, No. 2, pp. 1-12.
- Graves, R.D. y D.A. Pearson (1976): Mediciones de Circuito Individual. VIII Congreso Internacional de Teletráfico, 10-17 noviembre, Melbourne, Australia, Documento 445, 6 pp. Observe el registro de Discusión.
- GTE International (1975): TIS Sistema de Información de Teletráfico. Descripción del Sistema, 125 pp.
- Hayward, W.S. Jr. (1952): La Fiabilidad de las Mediciones de Carga de Tráfico Telefónico por Cómputos del Conmutador. The Bell System Technical Journal, Vol. 31, No. 2, pp. 357-377
- Holmes, H.S. (1975): Registro y Proyección del Tráfico Telefónico. Post Office Electrical Engineers Journal, Vol. 67, pp. 200-206.
- Inversen, V.B. (1973): Análisis de Procesos Reales de Teletráfico, Basados en Mediciones Computarizadas. Ericsson Technics, Vol. 29, No. 1, pp. 1-64.

- Inversen, V.B. (1980): Medición, Registro y Validación de Datos de Tráfico. UIT, Seminario de Ingeniería de Teletráfico. Estambul, 5-16 mayo.
- Johannsen, Fr. (1908): “OCUPADO” La Frecuencia de Informar “OCUPADO” y el Costo que ello ocasiona. La Compañía Telefónica de Copenague, 1908, 4 pp.
- Kosberg, J.E. (1978): Algunas Tendencias en Mediciones y Análisis de Datos Telefónicos. Centenario de Erlang, 5-6 septiembre 1978. Copenague, 7 pp.
- Marlow, G. O'H. (1976): CENTOC - Hacia la Medición Centralizada de Tráfico. Telecommunication Journal of Australia, Vol. 26, No. 1, pp. 72-82.
- O'Shaughnessy, J.J. (1976): Datos de Tráfico - La Necesidad, Naturaleza y Uso. VIII Congreso Internacional de Teletráfico, 10-17 noviembre, Melbourne, Australia, Documento 241, 8 pp.
- Pallini, R. y M. Buchmayer (1972): Medición de Tráfico Electrónico. Equipo MET 2. Ericsson Review No. 3, pp. 86-91.
- Palm, Conny (1957): Fluctuaciones del Tráfico Telefónico Medido. TELE (Edic. inglesa.), No. 2, pp. 1-9. Publicado Primero en Sueco en Tekn. Medd. K. Telegr. Styr., 1946, No. 3, pp. 127-135.
- Parviala, A. (1976): Requisitos de Exactitud concernientes a las Mediciones de Tráfico Rutinario, con relación a los Objetivos de Nivel de Servicio en Redes Telefónicas, y a ciertos Factores de Error yCosto. VIII Congreso Internacional de Teletráfico, Melbourne, Australia, Documento 245, 7 pp.
- Sapsford, B.G. (1977): Centros de Medición y Análisis - Concepto de Sistema y Descripción de Equipo. POEEJ, Vol. 70, pp. 243-247.
- Spiegelhalter, B.R. y R.S. Brown (1979): Centros de Medición y Análisis. Diseño de Software. POEEJ, Vol. 71, enero, pp. 233-238.
- Telesciences, Inc. (ITT), 1974: AUTRAX. Un Sistema de Información de Gestión Integrada para la Moderna Compañía Telefónica en Operación, 16 pp.
- Turner, D.T. (1975): Métodos de Medición de Tráfico. En Procedimientos, del Seminario sobre Ingeniería de Tráfico y Planificación de Redes. Nueva Delhi, publicado por UIT, pp. 153-162.

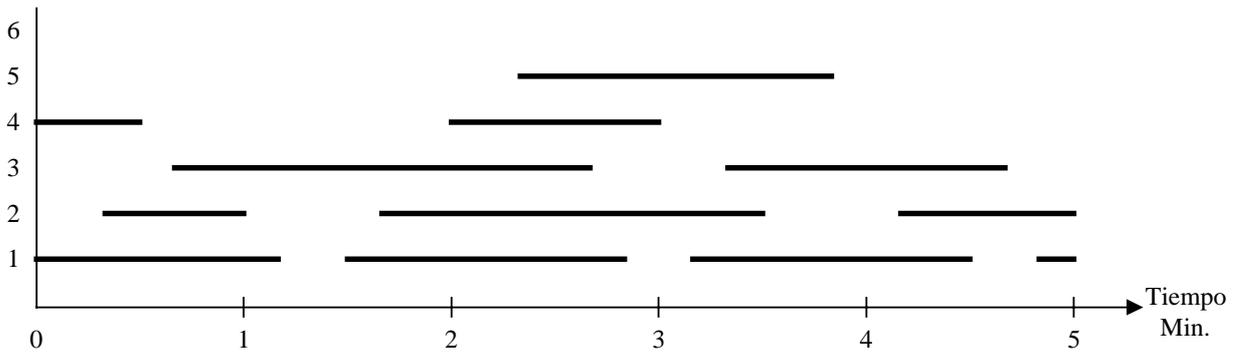
Nota: Este capítulo es una versión ligeramente revisada de los artículos de Iversen (1980), y de Elldin, Lind (1967) que aparecen en la lista anterior de artículos sobre mediciones de tráfico.

7 EJERCICIOS - MEDICIONES DE TRAFICO

1. En la hoja de diagrama se muestra una parte de un proceso de tráfico. El diagrama está referido a las ocupaciones durante cinco minutos de un grupo de disponibilidad total de 6 circuitos. Las líneas horizontales marcan la ocupación de los circuitos. La escala de tiempo es de 10 seg. en el eje de tiempo.

- Señale en la línea marcada “sucesos” con \uparrow cada vez que una nueva ocupación comienza y con \downarrow cada vez que termina.
- Cuántos sucesos se muestran en el diagrama?
- Complete en el diagrama el número de dispositivos ocupados en el período de 5 minutos.
- Calcule el tráfico cursado en el período. (Intente diferentes maneras).
- Asuma que el grupo se explora cada 30 segundos, comenzando en $t = 5$. Cuál sería el trafico de acuerdo al resultado de la exploración?
- Cuál es el tiempo de ocupación promedio de aquellas ocupaciones que se completan totalmente dentro del intervalo de cinco minutos?

No. de circuitos



Sucesos

No. DE CIRCUITOS OCUPADOS



2. Una medición especial durante una hora dio un estimado de la distribución de tráfico de un grupo de 5 dispositivos. El resultado fue el siguiente:

No. de circuitos ocupados	0	1	2	3	4	5
Parte del tiempo	0.086	0.214	0.268	0.222	0.140	0.070

- Cuál fue el tráfico cursado?
- Cuál fue la congestión temporal, si el grupo solo tenía cinco circuitos?
- Cuál era el tráfico ofrecido, si asumimos $B = E$?
- Cuántas llamadas serían rechazadas durante la hora, si asumimos el tiempo de ocupación promedio $\bar{h} = 100$ segundos?

3. El tráfico en un grupo de circuitos fue medido por exploraciones cada 30 segundos durante un período de dos horas. El contador se leía cada 30 minutos sin reinicializarlo. El contador se puso a cero al inicio de la medición.

Determine la hora pico más alta y el tráfico cursado durante esa hora. Cuál es el error estándar del tráfico ofrecido observado? (El tiempo medio de ocupación fue de dos minutos).

Hora	Lectura	Valor
9.30	1	172
10.00	2	434
10.30	3	622
11.00	4	848

4. Una medición en un grupo de disponibilidad total se toma por exploraciones de tres minutos, en el período de 8 am - 12 am, durante 10 días laborables. Para este grupo de circuitos, se encontraron los siguientes totales de 15 minutos (sumados los 10 días):

340, 400, 430, 440, 500, 480, 470, 450, 450, 435,
400, 380, 365, 350, 310, 340.

Asumimos que es un sistema de pérdida de Erlang y que los tiempos de ocupación están distribuidos exponencialmente, con la media igual a 2 minutos.

- a. Encuentre la hora pico consistente en el tiempo.
- b. Encuentre el valor esperado (media) del tráfico cursado durante la hora pico.
- c. Encuentre la varianza del tráfico medido (intensidad) cuando su valor se obtiene por:
 - i) exploración
 - ii) observaciones continuas.
- d. Encuentre el intervalo de confianza de 95% de la intensidad de tráfico.

5. El número de llamadas llegando a un grupo de dispositivos en un sistema telefónico, se registró en un contador. El contador se leyó cada tres minutos. Se obtuvieron los siguientes valores durante la hora pico.

16, 13, 21, 17, 23, 22, 13, 18, 23, 21, 19, 16, 18, 19,
28, 23, 22, 20, 29, 17.

- a. Calcule el valor medio (valor esperado) del número de llamadas que llegan cada dos minutos.
- b. Calcule la varianza del número de llamadas que llegan cada dos minutos.
- c. Estime el intervalo de confianza de 95% de la intensidad de llamada.

6. El número de llamadas cursadas por un grupo de circuitos se cuenta a intervalos de 10 minutos durante una hora y el tiempo promedio de ocupación es de 3 minutos. El número de llamadas en progreso simultáneamente fue:

12, 13, 10, 15, 10, 12

- Encuentre el tráfico cursado.
 - Encuentre el número promedio de llamadas durante la hora.
 - Encuentre el número de llamadas durante un período de tres minutos.
 - Qué exactitud tiene la medición?
7. En un grupo de disponibilidad total de 10 circuitos, la carga observada en el último circuito fue de 0.05 Erlang durante una hora.
- ¿Cuál es su estimado del tráfico ofrecido al grupo ?
8. Una ruta de larga distancia entre dos grandes ciudades A y B se usa también para tránsito a otras seis ciudades pequeñas. Si queremos encontrar la dispersión de las llamadas con 90% de seguridad y un intervalo de confianza de 90%, cuántas llamadas desde A hacia B deben analizarse?. La dispersión es aproximadamente la siguiente:

Ciudad	% de llamadas
B	60
C	10
D	10
E	5
F	6
G	5
H	5

9. Se conectó un medidor de modo que recibiera un impulso cada seis segundos cuando un grupo estuviera totalmente ocupado. Durante una cierta hora, el contador del medidor aumentó de 2430 a 2439. ¿ De cuánto fue la congestión temporal?
10. Un grupo de 40 circuitos se conecta a un medidor Ah. Las resistencias usadas son 100 K-ohm y el voltaje es 50V. ¿Cuántos circuitos están ocupados si la corriente al medidor Ah es 10 mA? ¿ Qué error se introduce si el voltaje sube hasta 52V?
11. Durante una hora, se efectuaron tres tipos de mediciones en un grupo de circuitos.
- Cada 36 seg. (comenzando en $t = 0$) se explora el número de ocupaciones y se añaden al contador A.
 - El grupo se explora cada 2 segundos (empezando en $t = 0$). Si todos los dispositivos están ocupados, el contador B se mueve un paso.
 - El número de llamadas se registra en el contador C. Las lecturas fueron:

Contador A: 1500
Contador B: 54
Contador C: 500

-. Estime el tráfico cursado, el tiempo medio de ocupación y la congestión temporal.

12. En el país de Ut- O- Pía la administración de telecomunicación decidió aplicar la recomendación E 500 de la CCITT (ahora UIT - T) para mediciones de las relaciones automáticas internacionales. Las aplicaron en una ruta de larga distancia nacional (STD). El tráfico de la hora pico se registró cada día normal de trabajo durante un año. Encuentre cuántos circuitos se requerirán si se aplican los estándares de grado de servicio de la CCITT.

$$E(\bar{A}_{30}) \leq 0.01 \quad E(\bar{A}_5) \leq 0.07$$

Los registros para ese año fueron los siguientes, luego de eliminar registros dudosos y erróneos:

Enero:	33	37	43	48	46	33	38	30	40	45	
Febrero:	43	49	43	45	38	39	53	49	50		
Marzo:	51	42	56	46	59	45	55	52	45	40	
Abril:	48	49	60	64	47	60	63	57	53	53	51
Mayo:	60	51	66	56	66	65	57	63			
Junio:	55	58	54	48	55	59	44	45	40	55	
Julio:	39	26	38	30	25	31	43				
Agosto:	21	28	35	28	27	35	32	26			
Septiembre:	42	36	41	45	44	48	46	36	52	51	
Octubre:	48	54	59	50	45	53	64	61	53		
Noviembre:	57	60	64	52	56	56	56	66	60	59	
Diciembre:	68	58	73	62	61	66	63	61	69	70	

Encuentre los 30 y los 5 valores máximos durante el año y además estime cuántos circuitos serán requeridos.

13. Considere de nuevo los datos dados en el ejercicio No. 3, en Bcx /2.3, el cual proporciona 3 x 12 valores de tráfico mensualmente. Asumimos que los valores individuales en la tabla son los resultados de mediciones mensuales, ejecutadas en base a una rutina definida.

- Evalúe qué rutina de medición mensual debería aplicarse para obtener valores representativos para realizar proyecciones.
- ¿Qué datos se adecuan mejor al planificador, si va a proyectar el tráfico de los próximos 5 años?

TRAFICO TOTAL ORIGINADO

MES	1979	1980	1981
Enero	38.6	39.4	45.6
Febrero	37.9	43.7	46.2
Marzo	42.1	48.7	47.2
Abril	40.6	43.8	46.2
Mayo	40.1	40.2	45.6
Junio	38.1	42.6	48.5
Julio	37.7	41.1	44.4
Agosto	39.9	44.2	47.4
Septiembre	40.4	41.0	49.1
Octubre	40.7	43.8	48.7
Noviembre	40.8	41.8	45.0
Diciembre	42.2	49.5	49.5

14. En vecino país de Teleria se hicieron mediciones en 8 rutas, como se muestra en la tabla siguiente. Revise los registros y señale si alguna información es errónea.

Observaciones en algunos grupos troncales de Teleria
18 de Agosto 1980; 9:30 - 10:30

Grupo troncal	No. de circuitos	Tráfico observado Erlangs	Congestión observada %	No. de ocupaciones	Reclamos	Otras observaciones
1	18	10.51	1.8	300	No	
2	24	12.03	12	827	Sí	Trabajos de instal. en ejecuc.
3	36	24.52	6.8	503	No	
4	10	11.52	10.5	27	No	
5	20	18.6	31.5	1865		
6	16	5.0	0	148	No	
7	75	68.0	4	2101	No	Baja tasa de llamad. complet.
8	75	60.0	2.1	1487	Sí	

15. Un martes durante la hora pico, ocurrieron seis “errores” en una central. Esto se consideró excesivo, así que el miércoles se hicieron ciertos ajustes. El siguiente jueves durante la hora pico, ocurrieron dos “errores”. Asuma que el tráfico ofrecido a la central en ambas horas pico es el mismo, y que la ocurrencia de error puede describirse por un proceso de Poisson.

- ¿Es la reducción en el número de “errores” evidencia de mejora en la fiabilidad del sistema ?
- La misma pregunta, si el número de errores fuese 22 antes y 9 después de los ajustes.