



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

CCITT

E.506 (rev.1)

COMITÉ CONSULTIVO
INTERNACIONAL
TELEGRÁFICO Y TELEFÓNICO

**RED TELEFÓNICA Y RDSI
CALIDAD DE SERVICIO, GESTIÓN
DE LA RED E INGENIERÍA DE TRÁFICO**

**PREVISIONES DEL TRÁFICO
INTERNACIONAL**

Recomendación E.506 (rev.1)



Ginebra, 1992

PREFACIO

El CCITT (Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico) es un órgano permanente de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Plenaria del CCITT, que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiarse y aprueba las Recomendaciones preparadas por sus Comisiones de Estudio. La aprobación de Recomendaciones por los miembros del CCITT entre las Asambleas Plenarias de éste es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución N.º 2 del CCITT (Melbourne, 1988).

La Recomendación E.506 ha sido preparada por la Comisión de Estudio II y fue aprobada por el procedimiento de la Resolución N.º 2 el 16 de junio de 1992.

NOTA DEL CCITT

En esta Recomendación, la expresión «Administración» se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una Administración de telecomunicaciones como una empresa privada de explotación reconocida.

© UIT 1992

Es propiedad. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse o utilizarse, de ninguna forma o por ningún medio, sea éste electrónico o mecánico, de fotocopia o de microfilm, sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

PREVISIONES DEL TRÁFICO INTERNACIONAL¹⁾

(revisada en 1992)

1 Introducción

Esta Recomendación es la primera de una serie de tres Recomendaciones dedicadas a la previsión de las telecomunicaciones internacionales.

En las operaciones y la administración de la red telefónica internacional, las previsiones determinan en gran medida la posibilidad de un desarrollo adecuado y satisfactorio. Por consiguiente, con objeto de planificar la implantación de equipo y de circuitos, así como las inversiones en instalaciones telefónicas, es necesario que las Administraciones prevean el tráfico que ha de cursarse por la red. Es evidente la importancia económica que reviste el establecimiento de previsiones fidedignas en grado máximo, dadas las enormes inversiones de capital exigidas por la red internacional.

El objeto de esta Recomendación es proporcionar orientaciones sobre alguno de los prerequisites necesarios para efectuar previsiones del tráfico internacional de telecomunicaciones. Para efectuar las previsiones, revisten importancia fundamental los datos de base, no solamente los relativos al tráfico y a las llamadas, sino también los de tipo económico, social y demográfico. Estos conjuntos de datos pueden ser incompletos, recomendándose la adopción de estrategias para suplir la falta de datos. Se presentan distintos enfoques de previsión que comprenden métodos directos y compuestos, previsión matricial y procedimientos que van de lo general a lo particular y viceversa.

La Recomendación E.507, proporciona orientaciones para la elaboración de modelos de previsión y presenta una panorámica de las diversas técnicas de previsión. La Recomendación E.508 trata de la previsión de los nuevos servicios de telecomunicaciones internacionales.

2 Datos de base para las previsiones

Uno de los resultados del proceso de previsión del tráfico internacional, es el número estimado de circuitos requeridos para cada periodo del horizonte de previsión. Para obtener estos valores se aplican técnicas de ingeniería de tráfico, a fin de prever los erlangs, unidad de medida del tráfico. En la figura 1/E.506, se ilustran dos enfoques diferentes para obtener la previsión de los erlangs.

Las dos estrategias diferentes de previsión son el procedimiento directo y el procedimiento compuesto. El primer paso de cada proceso, es la recopilación de datos en bruto. Estos datos en bruto, tal vez ajustados, constituirán los datos de base utilizados para generar las previsiones de tráfico. Los datos de base pueden ser horarios, diarios, trimestrales o anuales. La mayoría de las Administraciones utilizan datos de contabilidad mensual con fines de previsión.

En el procedimiento directo, se utilizan como datos de base para prever el crecimiento del tráfico, los del tráfico cursado en erlangs o la utilización medida para cada relación. Estos datos deben ajustarse, para tener en cuenta situaciones tales como la regeneración (véase la Recomendación E.500).

En ambos procedimientos (directo y compuesto), es necesario convertir tráfico cursado en tráfico ofrecido en erlangs. Las fórmulas de conversión figuran en la Recomendación E.501, para el procedimiento directo y en la presente Recomendación para el procedimiento compuesto.

¹⁾ El texto de la antigua Recomendación E.506 del *Libro Rojo*, al que se ha añadido un volumen considerable de nuevos textos, se ha convertido en las Recomendaciones E.506 y E.507 actuales.

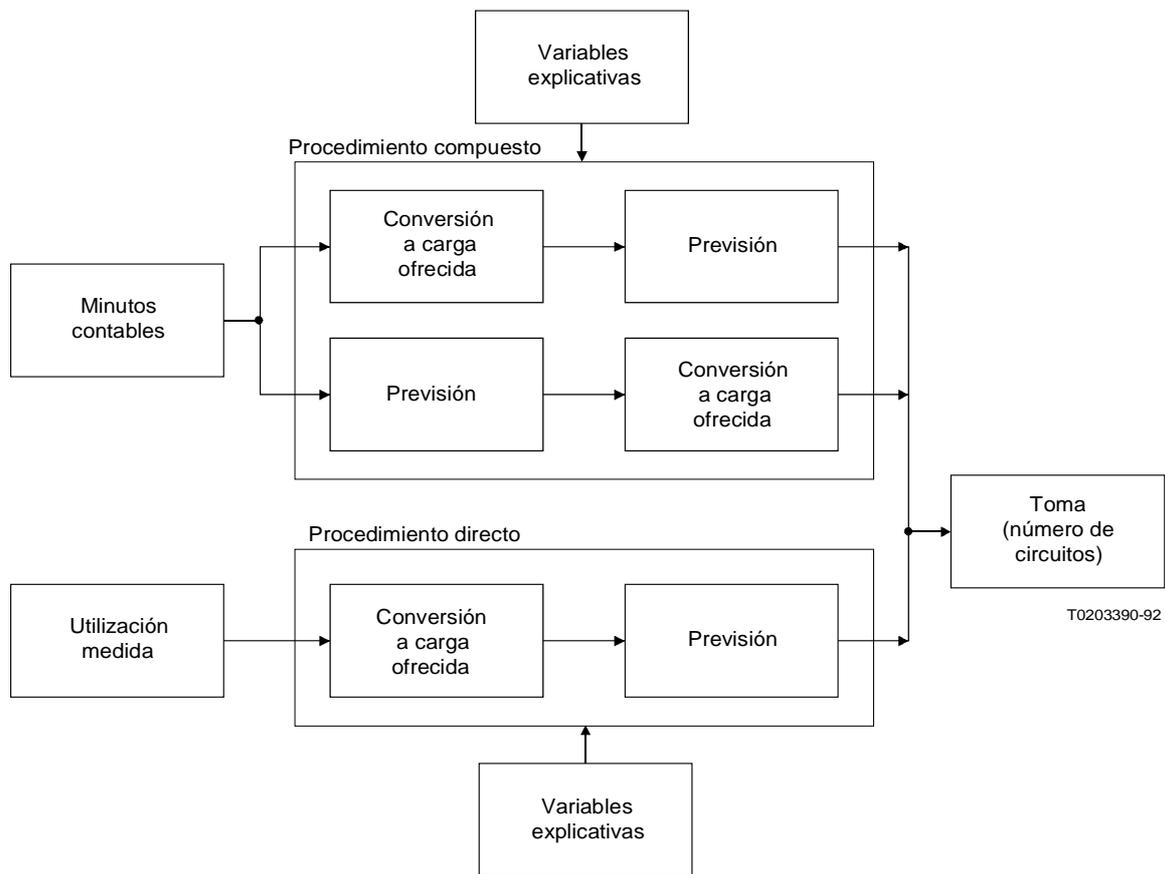


FIGURA 1/E.506
Procedimientos directo y compuesto

La previsión compuesta utiliza como datos de base, datos anteriores de contabilidad internacional, relativos al tráfico mensual de minutos tasados. Los datos pueden ajustarse antes o después del proceso de previsión, mediante diversos factores que se utilizan para convertir los minutos tasados obtenidos a partir de los datos contables, en previsiones de tráfico en erlangs para la hora cargada.

Como se observa en la figura 1/E.506, el proceso de previsión es común a los procedimientos directo y compuesto. Sin embargo, los métodos o modelos reales utilizados en el proceso son diferentes. Por ejemplo, pueden obtenerse las previsiones empleando métodos de matrices de tráfico (véase el § 4) modelos econométricos o modelos autorregresivos (véase el § 3 de la Recomendación E.507). Existen otros datos diversos que se utilizan como entrada en el proceso de previsión. Como ejemplos, pueden citarse las variables explicativas, la información de segmentación del mercado y las elasticidades de los precios.

Siempre que sea posible, deben utilizarse los métodos de previsión directa y compuesta y compararse sus resultados. Esta comparación puede revelar irregularidades que no se observarían con la utilización de un solo método. Si las irregularidades son importantes, sobre todo en el caso de la hora cargada, deberán determinarse las causas de la diferencia antes de aceptarse la previsión resultante.

En el modelo econométrico sobre todo, se utilizan variables explicativas para la previsión del tráfico internacional. Entre estas variables, las más importantes son:

- exportaciones,
- importaciones,

- grado de automatización,
- calidad de servicio,
- diferencias horarias entre países,
- tarifas,
- índices de precios al consumo, y
- producto nacional bruto.

Puede ser importante tener en cuenta otras variables explicativas, tales como los visitantes extranjeros en viajes de negocios, y compatriotas que viven en otros países. Se recomienda que las bases de datos correspondientes a las variables explicativas sean lo más exhaustivas posible, a fin de ofrecer más información para el proceso de previsión.

Las previsiones pueden basarse en la segmentación del mercado. Pueden segmentarse los datos de base, por ejemplo, según demarcaciones regionales, por actividades comerciales o no comerciales o por tipos de servicio. Si es posible deben examinarse también las elasticidades de los precios, para cuantificar la influencia de las tarifas sobre los datos de previsión.

3 Procedimiento compuesto – Método de conversión

Cuando se utilizan ambos procedimientos, compuesto y directo, y en cualquier otro caso en el que se disponga de datos pasados, debe obtenerse una relación minutos tasados/erlangs global basada en el valor actual de la relación considerada, tendencias observadas y objetivos futuros.

Si no se dispone de datos, la conversión debe realizarse según la fórmula:

$$A = Mdh/60e \quad (3-1)$$

donde

- A* es el tráfico medio estimado en la hora cargada,
- M* es el total mensual de minutos tasados,
- d* es la relación día/mes,
- h* es la relación hora cargada/día,
- e* es el factor de eficacia.

En el anexo A se describe detalladamente esta fórmula.

4 Procedimientos para la previsión de matrices de tráfico

4.1 Introducción

Para utilizar previsiones punto a punto o de matrices de tráfico, pueden utilizarse los siguientes procedimientos:

- previsiones directas punto a punto,
- método de Kruithof,
- extensión del método de Kruithof,
- método de los mínimos cuadrados ponderados.

También es posible desarrollar un modelo de filtro de Kalman para el tráfico punto a punto, teniendo en cuenta las previsiones acumuladas. Tu y Pack describen este modelo en [16].

Los procedimientos de previsión pueden emplearse para hacer previsiones del tráfico interno dentro de grupos de países, por ejemplo, los países nórdicos. Otra aplicación consiste en hacer previsiones del tráfico nacional en distintos planos.

4.2 *Previsiones directas punto a punto*

Es posible hacer mejores previsiones del tráfico acumulado que del tráfico de un nivel inferior.

Por ello, las previsiones del tráfico saliente (suma de las filas) o del tráfico entrante (suma de las columnas) entre un país y un grupo de países dará una precisión relativamente superior a las previsiones separadas entre países.

En esa situación es posible ajustar las previsiones individuales tomando en consideración las previsiones combinadas.

Por otra parte, si las previsiones de los distintos elementos de la matriz de tráfico resultan tan precisas como las previsiones acumuladas, entonces no es necesario ajustar las previsiones.

La evaluación de la precisión relativa de las previsiones puede realizarse comparando las relaciones $\hat{\sigma}(X)/X$, donde X es la previsión y $\hat{\sigma}(X)$ es el error estimado de la previsión.

4.3 *Método de Kruithof*

El método de Kruithof [11] es bien conocido y en él se utiliza la última matriz de tráfico conocida y las previsiones de las sumas de filas y columnas para efectuar previsiones de la matriz de tráfico. Se realiza mediante un procedimiento iterativo eficaz.

El método de Kruithof no toma en cuenta el cambio en el tiempo en el tráfico punto a punto. Como utiliza sólo la última matriz de tráfico conocida, la información sobre las matrices de tráfico precedentes no contribuye a las previsiones. Puede no ser ventajoso, en particular cuando varía el crecimiento de los distintos tráficos punto a punto. Igualmente, cuando las matrices de tráfico reflejan datos estacionales, el método de Kruithof puede dar previsiones mediocres.

4.4 *Extensión del método de Kruithof*

El método de Kruithof tradicional es una proyección del tráfico basado en la última matriz de tráfico conocida y en las previsiones de las sumas de filas y columnas.

Puede extenderse el método de Kruithof tomando en cuenta no sólo las previsiones de las filas y columnas sino también las previsiones del tráfico punto a punto. El método de Kruithof se utiliza entonces para ajustar las previsiones de tráfico punto a punto a fin de obtener una coherencia con las previsiones de las sumas de filas y columnas.

El método de Kruithof extendido es superior al método de Kruithof tradicional y por ello se recomienda.

4.5 *Método de los mínimos cuadrados ponderados*

El método de los mínimos cuadrados ponderados es también una extensión del método precedente. Supongamos que $\{C_{ij}\}$, $\{C_{i.}\}$ y $\{C_{.j}\}$ son las previsiones del tráfico punto a punto y de las sumas de filas y columnas, respectivamente.

En el método de Kruithof extendido se supone que las sumas de filas y columnas son «verdaderas» y se ajusta $\{C_{ij}\}$ para obtener la coherencia.

El método de los mínimos cuadrados ponderados [2] se basa en el supuesto de que las previsiones punto a punto y las previsiones de las sumas de filas y columnas son inciertas. Un modo razonable de resolver el problema consiste en dar diferentes ponderaciones a las distintas previsiones.

Supongamos que las previsiones por el método de los mínimos cuadrados ponderados son $\{D_{ij}\}$. La suma de los cuadrados Q se define por:

$$Q = \sum_{ij} a_{ij} (C_{ij} - D_{ij})^2 + \sum_i b_i (C_{i.} - D_{i.})^2 + \sum_j c_j (C_{.j} - D_{.j})^2 \quad (4-1)$$

en donde $\{a_{ij}\}$, $\{b_i\}$, $\{c_j\}$ son constantes o ponderaciones (pesos) elegidas.

La previsión mediante los mínimos cuadrados ponderados viene dada por:

$$\text{Min } Q(D_{ij}) \\ D_{ij}$$

con

$$D_{i.} = \sum_j D_{ij} \quad i = 1, 2, \dots \quad (4-2)$$

y

$$D_{.j} = \sum_i D_{ij} \quad j = 1, 2, \dots$$

Una elección lógica de ponderaciones es la inversa de la varianza de las previsiones. Para estimar la desviación típica de las previsiones puede realizarse una previsión retroactiva y calcular entonces el error cuadrático medio.

En [14] se analizan las propiedades de este método.

5 Métodos ascendentes y descendentes

5.1 Elección del modelo

El objetivo consiste en hacer previsiones del tráfico entre distintos países. Para que el procedimiento tenga sentido, es menester que ese tráfico no sea demasiado reducido, y permita así obtener previsiones relativamente precisas. Los métodos de este tipo se denominan métodos ascendentes.

Cuando el tráfico entre los países de que se trata es reducido, es mejor empezar por la previsión del tráfico para un grupo más amplio de países. Estas previsiones se emplean a menudo como base para pronosticar el tráfico hacia cada país del grupo. Para ello se emplea un procedimiento de corrección que se describirá con más detalles más adelante. Los métodos de este tipo se denominan métodos descendentes. Seguidamente se proporcionan algunas indicaciones sobre los casos en que es preferible aplicar uno u otro método:

Sea σ^{2T} la varianza de la previsión acumulada, σ^{2i} , la varianza de la i -ésima previsión local y γ_{ij} , la covarianza de las previsiones locales i -ésima y j -ésima. Si se cumple la siguiente desigualdad:

$$\sigma_T^2 < \sum_i \sigma_i^2 + \sum_{i \neq j} \gamma_{ij} \quad (5-1)$$

no se recomienda, en general, utilizar el método ascendente, sino el descendente.

En muchas situaciones es posible emplear al nivel global un modelo de previsión más perfeccionado. Asimismo, los datos sobre un nivel global pueden ser más coherentes y verse menos afectados por cambios estocásticos que los datos correspondientes a un nivel inferior. Por ello, en la mayoría de los casos, la desigualdad anterior se cumplirá en el caso de países pequeños.

5.2 Método ascendente

Como se ha explicado en el § 5.1, este método consiste en la formulación directa y separada de las previsiones del tráfico entre distintos países. Si no se cumple la desigualdad del § 5.1, lo que puede suceder en el caso de países grandes, es suficiente utilizar el método ascendente. Por consiguiente, podrá emplearse uno de los modelos de previsión mencionados en la Recomendación E.507, para hacer previsiones del tráfico para distintos países.

5.3 Procedimiento descendente

En la mayoría de los casos se recomienda aplicar el procedimiento descendente para hacer previsiones del tráfico internacional de un país pequeño. En el anexo D se proporciona un ejemplo detallado de este procedimiento.

El primer paso consiste en hallar un modelo de previsión para el nivel global, que puede ser un modelo relativamente perfeccionado. Sean X_T las previsiones del tráfico a nivel global y σ_T la desviación típica estimada de las previsiones.

El paso siguiente consiste en elaborar modelos separados de previsiones de tráfico hacia los distintos países. Sea X_i la previsión del tráfico hacia el i -ésimo país y $\hat{\sigma}_i$ la desviación típica. Habrá que corregir seguidamente las previsiones separadas $[X_i]$, teniendo en cuenta las previsiones globales X_T . Sabemos que, en general,

$$X_T \neq \sum_i X_i \quad (5-2)$$

Sean $[X'_i]$ los valores corregidos de $[X_i]$ mientras que la previsión global corregida será $X'_T = \sum X'_i$.

El procedimiento para hallar $[X'_i]$ se explica en el anexo C.

6 Métodos de previsión cuando se carece de observaciones

6.1 Introducción

La mayoría de los modelos de previsión se basan en series temporales equiespaciadas. Si se carece de una observación o de un grupo de observaciones, es necesario utilizar una estimación de las observaciones que faltan y aplicar seguidamente el modelo de previsión o modificar el modelo.

Todos los modelos de suavizado, se aplican a observaciones equiespaciadas. Asimismo, los modelos de autorregresión integrados con media móvil (ARIMA, *autoregressive integrated moving average*) se adaptan a series temporales equiespaciadas, en tanto que los modelos de regresión sirven para observaciones espaciadas irregularmente sin modificaciones.

En las publicaciones técnicas, se demuestra que la mayoría de los métodos de previsión pueden formularse como modelos lineales dinámicos (DLM, *dynamic linear models*). El filtro de Kalman, es un método lineal para estimar estados en una serie temporal modelada según un modelo lineal dinámico. El filtro de Kalman establece un procedimiento recurrente para hacer previsiones mediante un DLM que es óptimo en el sentido de hacer mínimo el error cuadrático medio para el periodo subsiguiente al de previsión. El filtro de Kalman proporciona una solución óptima en caso de ausencia de datos.

6.2 Procedimiento de ajuste basado en observaciones comparables

En situaciones en las que falten algunas observaciones, para estimar las observaciones ausentes puede ser posible utilizar datos conexos. Por ejemplo, si se efectúan medidas en un conjunto de haces de circuitos interurbanos de la misma zona, las medidas de tráfico efectuadas en haces de circuitos diferentes, están correlacionadas, lo que implica que la medida del tráfico en un haz de circuitos dado, puede, hasta cierto punto, explicar los resultados de las medidas de tráfico en otros haces de circuitos.

Cuando entre dos series temporales de medidas de tráfico existe una gran correlación, los cambios relativos de nivel y de tendencia serán del mismo orden.

Supongamos que una serie temporal x_t de observaciones equidistantes de 1 a n presenta una carencia de valores. x_t es, por ejemplo, el incremento anual. La serie no tiene los datos de k observaciones ausentes situadas entre r y $r + k + 1$.

Seguidamente se indica el procedimiento para estimar las observaciones que faltan:

- i) Examínense series temporales similares a la serie con observaciones ausentes y calcúlese la intercorrelación.
- ii) Identifíquense las series temporales con intercorrelación elevada para un desplazamiento nulo.
- iii) Calcúlese el factor de crecimiento Δ_{r+i} entre r y $r + k$ de la serie temporal similar y_r :

$$\Delta_{r+i} = \frac{y_{r+i} - y_r}{y_{r+k+1} - y_r} \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (6-1)$$

- iv) Las estimaciones de las observaciones ausentes vienen dadas entonces por:

$$\hat{x}_{r+i} = x_r + \Delta_{r+i} (x_{r+k+1} - x_r) \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (6-2)$$

Ejemplo

Supongamos que deseemos prever la serie temporal x_t . Se ha observado esta serie entre 1 y 10 pero faltan las observaciones correspondientes a los instantes de tiempo, 6, 7 y 8. Sin embargo, se ha medido la serie temporal y_t , conexas. En el cuadro 1/E.506 se indican las medidas.

CUADRO 1/E.506

Medidas de dos series temporales conexas, en una de las cuales faltan algunas observaciones

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x_t	100	112	125	140	152	-	-	-	206	221
y_t	300	338	380	422	460	496	532	574	622	670

La última observación conocida x_t en el instante 5, antes del intervalo vacío, es 152 y la primera observación tras dicho intervalo, en el instante 9, es 206.

En consecuencia, $r = 5$ y $k = 3$. El cálculo da:

$$\Delta_6 = \frac{496 - 460}{622 - 460} = \frac{36}{162}$$

$$\Delta_7 = \frac{532 - 460}{622 - 460} = \frac{72}{162}$$

$$\Delta_8 = \frac{574 - 460}{622 - 460} = \frac{114}{162}$$

$$\hat{x}_6 = 152 + \frac{36}{162} (206 - 152) = \underline{164}$$

$$\hat{x}_7 = 152 + \frac{72}{162} (206 - 152) = \underline{176}$$

$$\hat{x}_8 = 152 + \frac{114}{162} (206 - 152) = \underline{190}$$

6.3 Modificación de los modelos de previsión

La otra posibilidad de tratar las observaciones ausentes es ampliar los modelos de previsión mediante procedimientos específicos. Para estimar el tráfico, cuando faltan observaciones, puede utilizarse un procedimiento modificado en lugar del modelo de previsión ordinario.

Para explicar este procedimiento examinaremos un caso sencillo de suavizado exponencial. El modelo sencillo de suavizado exponencial viene dado por:

$$\hat{\mu}_t = (1 - a) y_t + a \hat{\mu}_{t-1} \quad (6-3)$$

donde

y_t es el tráfico medido en el instante t ,

$\hat{\mu}_t$ es el nivel estimado en el instante t ,

a es el factor de descuento [y $(1 - a)$ es el parámetro de suavizado].

La ecuación (6-3) es una fórmula recurrente. La recurrencia comienza en el instante 1 y termina en el n si no se ha perdido ninguna observación. En consecuencia, la previsión para la etapa siguiente viene dada por:

$$\hat{y}_t(1) = \hat{\mu}_t \quad (6-4)$$

Si se han perdido algunas observaciones comprendidas entre 1 y n , es necesario modificar el procedimiento de recurrencia. Supóngase ahora que se conocen $y_1, y_2, \dots, y_r, y_{r+k+1}, y_{r+k+2}, \dots, y_n$ y se desconocen $y_{r+1}, y_{r+2}, \dots, y_{r+k}$. Entonces la serie temporal tiene un intervalo vacío con k observaciones perdidas.

Aldrin [2], ha propuesto el siguiente modelo de previsión modificada para el suavizado exponencial simple:

$$\hat{\mu}_t = \begin{cases} (1 - a) y_t + a \hat{\mu}_{t-1} & t = 1, 2, \dots, r \\ (1 - a_k) y_t + a_k \hat{\mu}_t & t = r + k + 1 \\ (1 - a) y_t + a \hat{\mu}_{t-1} & t = r + k + 2, \dots, n \end{cases} \quad (6-5)$$

donde

$$a_k = \frac{a}{1 + k(1 - a)^2} \quad (6-6)$$

Utilizando las ecuaciones (6-5) y (6-6), es posible eludir el procedimiento recurrente en el intervalo comprendido entre r y $r + k + 1$.

En [2], Aldrin propone procedimientos similares para los siguientes modelos de previsión:

- método de Holt,
- suavizado exponencial doble,
- métodos de los mínimos cuadrados descontados con nivel y tendencia,
- métodos estacionales de Holt-Winters.

En [17] y [18] Wright, sugiere, asimismo, procedimientos específicos para modificar los modelos de suavizado, cuando faltan observaciones.

Como se mencionó en el primer párrafo, los modelos de regresión son invariantes con relación a las observaciones ausentes. Cuando se utiliza el método de los mínimos cuadrados, se atribuye el mismo peso a todas las observaciones. En consecuencia, las observaciones ausentes no afectan al procedimiento de estimación, pudiéndose efectuar la previsión según el procedimiento usual.

Por otro lado, cuando faltan observaciones es necesario modificar los modelos ARIMA. En caso de falta de datos se sugieren diversos procedimientos en las publicaciones técnicas. El concepto básico consiste en formular el modelo ARIMA como un modelo lineal dinámico. Entonces es fácil de obtener la función de verosimilitud, pudiéndose estimar los parámetros del modelo de forma recurrente. Como trabajos de referencia en esta materia, pueden consultarse los de Jones [9] y [10], Harvey y Pierse [8], Ansley y Kohn [3] y Aldrin [2].

Los modelos espaciales de estados o modelos lineales dinámicos y el filtro de Kalman constituyen una amplia clase de modelos. Los modelos de suavizado, los modelos de ARIMA y los modelos de regresión pueden formularse como modelos lineales dinámicos. Esto puede verse por ejemplo en Abraham y Ledolter [1]. Utilizando modelos lineales dinámicos y el filtro de Kalman se estiman los parámetros del modelo de forma recurrente. Pueden verse las descripciones, por ejemplo, en Harrison y Stevens [7], Pack y Whitaker [13], Moreland [12], Szlag [15] y Chemouil y Garnier [6].

Jones [9] y [10], Barham y Dunstan [4], Harvey y Pierse [8], Aldrin [2] y Bølviken [5] muestran la forma en la que los modelos lineales dinámicos y el filtro de Kalman tratan las observaciones ausentes.

ANEXO A

(a la Recomendación E.506)

Procedimiento compuesto – Método de conversión

A.1 *Introducción*

En este anexo se describe un método para la estimación del tráfico internacional basado en los minutos tasados por mes y en varios factores de conversión. Su objetivo es el de mostrar las posibilidades de este método, examinando dichos factores y mostrando su utilidad.

Se considera que el método tiene dos características principales:

- 1) La información sobre el número de minutos tasados por mes intercambiada continuamente entre Administraciones para fines de contabilidad, proporciona un gran volumen continuo de datos.
- 2) Los factores de conversión del tráfico son directamente afectados por las modificaciones de explotación y cambios operativos tales como tarifas y mejoras de la red, lo que permite que las previsiones reflejen los objetivos de los programas en estas áreas.

A.2 *Procedimiento básico*

A.2.1 *Generalidades*

Las conversiones deben ser específicas de cada relación de tráfico. Pueden también efectuarse por separado para cada sentido y clase de tráfico, pero en tales casos debe tenerse cuidado al tratar las llamadas de cobro revertido, llamadas con tarjeta de crédito, llamadas directas al país de origen y llamadas de cobro revertido automático, que pueden figurar en sentido opuesto al del flujo de tráfico real en los registros de contabilidad.

El tráfico medio estimado cursado en la hora cargada (en erlangs) se determina a partir de los minutos tasados por mes aplicando la fórmula:

$$A = Mdh/60e \quad (A-1)$$

donde

- A* es el tráfico medio estimado, en erlangs, cursado en la hora cargada,
- M* es el total mensual de minutos tasados,
- d* es la relación día/mes; esto es, relación entre la duración tasada media en días laborables y la duración tasada mensual,
- h* es la relación hora cargada/día; esto es, la relación entre la duración tasada durante la hora cargada y la duración tasada media diaria,
- e* es el factor de eficacia; esto es, la relación entre la duración tasada en la hora cargada y la duración de ocupación en la hora cargada.

A.2.2 *Total de minutos tasados por mes (M)*

Las Administraciones intercambian información sobre el número de minutos tasados de cada mes a efectos de contabilidad, por lo que suele disponerse fácilmente de historiales correspondientes a muchos años. En algunas aplicaciones (por ejemplo, previsiones a largo plazo), puede ser conveniente utilizar el total de minutos tasados de cada año. En este caso, se aplica la misma fórmula, pero con un factor adicional para establecer la relación entre el total de minutos tasados del año y el total de minutos tasados del mes cargado.

A.2.3 *Relación día/mes (d)*

Esta relación está vinculada al volumen de tráfico cursado durante un día laborable típico y al volumen total de tráfico cursado durante un mes.

Este factor refleja tanto el número de días laborables de un mes como los niveles relativos del tráfico en días laborables y días no laborables.

Puede basarse en:

- medias globales «típicas» (por ejemplo, d en la gama 0,03-0,04), o
- medidas de muestras en esa relación de tráfico, o
- número de días y cálculos de interés social en esa relación de tráfico y ese mes, u
- objetivos de los programas tarifarios y de promoción para reducir las variaciones de un día a otro.

Debe señalarse que cuando el tráfico en días no laborables es superior al tráfico en días laborables, puede convenir modificar las bases de previsión y dimensionado para tener en cuenta este fenómeno.

A.2.4 *Relación hora cargada/día (h)*

El volumen relativo del tráfico medio en días laborables en la hora cargada depende principalmente de la diferencia horaria entre los puntos de origen y de destino. Se han llevado a cabo intentos moderadamente satisfactorios para predecir la distribución diurna del tráfico a base de esta información junto con el «grado de conveniencia» supuesto en los puntos de origen y de destino. No obstante, existen discrepancias suficientes para justificar la medida de la distribución diurna, a partir de la cual puede calcularse la relación hora cargada/día.

Cuando no se dispone de datos de medida, la Recomendación E.523 es un buen punto de partida. De acuerdo con las distribuciones teóricas que figuran en la Recomendación E.523, se observan variaciones en la relación hora cargada/día que oscilan del 10% para una diferencia en las horas locales de cero a dos horas hasta el 13,5% para una diferencia de siete horas.

Esta relación es afectada por las percepciones de calidad y de la política tarifaria por parte de los abonados. En algunas aplicaciones, puede ser conveniente elegir un valor basado en los objetivos de mejora del servicio, de promoción del tráfico o en los programas tarifarios. La experiencia acumulada permite a largo plazo producir una reducción de la relación h al 6% o a valores aún inferiores.

A.2.5 *Factor de eficacia (e)*

El factor de eficacia (relación entre el tiempo tasado en la hora cargada y el tiempo ocupado en la hora cargada) e , permite determinar, partiendo de la duración tasada, la ocupación total de los circuitos.

El factor de eficacia tiende a variar con el tiempo. A este respecto, la eficacia depende principalmente del método de operación (marcación manual, semiautomática, o internacional por el abonado), de la existencia de abonados B ocupados (comunicando) y de la calidad de la red distante.

Las previsiones de la eficacia pueden obtenerse extrapolando las tendencias pasadas y ajustándolas para tener en cuenta las mejoras proyectadas.

La consideración detallada de la eficacia incluidas las medidas, es también una ventaja desde el punto de vista operacional, ya que permite identificar mejoras que pueden realizarse y cuantificar las ventajas derivadas de tales mejoras.

En funcionamiento automático con los modernos sistemas de señalización, e puede alcanzar valores superiores a 0,9.

A.2.6 *Tráfico medio ofrecido en la hora cargada*

Debe señalarse que A es el tráfico medio cursado en la hora cargada (expresado en erlangs).

El tráfico ofrecido puede calcularse en forma aproximada:

- considerándolo igual al tráfico cursado (cuando el bloqueo no es significativo o es desconocido), o
- por los métodos de la Recomendación E.501.

A.3 *Relaciones o ratios globales*

La conversión detallada descrita anteriormente permite hacerse una idea de los factores que influyen en la eficacia de tráfico total y aumenta la exactitud de las previsiones a corto plazo.

En las previsiones a largo plazo y otras aplicaciones en las que no se dispone de medidas detalladas o éstas son inadecuadas, es suficiente considerar valores «típicos» o valores objetivo de la relación global erlang/minutos tasados. Esta relación podría variar de 1/10 000 en relaciones de tráfico internacionales existentes de baja eficacia en 1990 hasta 1/25 000 como objetivo a largo plazo en relaciones más eficaces.

En algunas aplicaciones podría ser práctico realizar directamente previsiones a largo plazo basadas en las relaciones circuito/minutos tasados.

ANEXO B

(a la Recomendación E.506)

Ejemplo de aplicación del método de los mínimos cuadrados ponderados

B.1 *Datos de tráfico télex*

Se ha analizado el tráfico télex entre los siguientes países:

- República Federal de Alemania (D)
- Dinamarca (DNK)
- Estados Unidos de América (USA)
- Finlandia (FIN)
- Noruega (NOR)
- Suecia (S).

Los datos se obtuvieron de observaciones anuales en el periodo comprendido entre 1973 y 1984 [19].

B.2 *Previsión*

Antes de utilizar el método de mínimos cuadrados ponderados, deben efectuarse previsiones separadas para la matriz de tráfico. En este ejemplo se utiliza para la previsión un modelo ARIMA (0,2,1) simple, con observaciones transformadas logarítmicamente sin variables explicativas. Cabe que se puedan desarrollar modelos de previsión mejores para el tráfico télex entre los diversos países. Sin embargo, la intención principal de este ejemplo es explicar la utilización, de la técnica de los mínimos cuadrados ponderados.

En el cuadro B-1/E.506, se recogen las previsiones para 1984 basadas en observaciones efectuadas entre 1973 y 1983.

Debe observarse que no hay coherencia entre las previsiones totales por filas y columnas y las previsiones de los elementos de la matriz de tráfico. Por ejemplo la suma del tráfico de salida previsto en Alemania es 28 005 y la suma de la fila de previsiones es 27 788.

Para ajustar las previsiones a fin de conseguir su coherencia y poder utilizar tanto las previsiones de fila/columna, como las previsiones de elementos de tráfico, se utiliza el método de los mínimos cuadrados ponderados.

CUADRO B-1/E.506

Previsiones de tráfico télex entre la República Federal de Alemania (D), Dinamarca (DNK), Estados Unidos de América (USA), Finlandia (FIN), Noruega (NOR) y Suecia (S) en 1984

Desde Hacia	D	DNK	USA	FIN	NOR	S	Suma	Suma de las previsiones
D	–	4869	12 630	2879	2397	5 230	28 005	27 788
DNK	5 196	–	1 655	751	1 270	1 959	10 831	10 805
USA	11 103	1313	–	719	1 657	2 401	17 193	17 009
FIN	2 655	715	741	–	489	1 896	6 496	6 458
NOR	2 415	1 255	1 821	541	–	1 548	7 580	7 597
S	4 828	1 821	2 283	1 798	1 333	–	12 063	12 053
Suma	26 197	9973	19 130	6688	7146	13 034		
Suma de las previsiones	26 097	9967	19 353	6659	7110	12 914		

B.3 Ajuste de las previsiones de la matriz de tráfico

Para poder utilizar el método de los mínimos cuadrados ponderados es necesario conocer las previsiones separadas y sus ponderaciones. En el cuadro B-2/E.506, figuran las previsiones separadas en tanto que los pesos se basan en la media de los cuadrados de los errores de previsión siguiente.

Sea y_t el tráfico en el instante t . El modelo ARIMA (0,2,1) con datos transformados logarítmicamente es:

$$z_t = (1 - B)^2 \ln y_t = (1 - \theta B) a_t$$

ó

$$z_t = a_t - \theta a_{t-1}$$

donde

$$z_t = \ln y_t - 2 \ln y_{t-1} + \ln y_{t-2},$$

a_t es ruido blanco,

θ es un parámetro,

B es el operador de desplazamiento regresivo.

La media de los cuadrados de los errores de previsión para el periodo siguiente de z_t es:

$$MSQ = \frac{1}{n} \sum (z_t - \hat{z}_{t-1}(1))^2$$

donde

$\hat{z}_{t-1}(1)$ es la previsión para el periodo siguiente.

En el cuadro B-3/E.506 figuran los resultados obtenidos utilizando el método de los mínimos cuadrados ponderados. Dichos resultados ponen de manifiesto que se han ajustado las previsiones del cuadro B-1/E.506. En este ejemplo, se han realizado cambios de menor importancia debido a la buena concordancia de las previsiones de sumas de filas/columnas con los elementos del tráfico.

CUADRO B-2/E.506

Ponderaciones inversas y medias de los cuadrados de los errores de previsión para el periodo siguiente, del tráfico télex (100⁻⁴) entre la República Federal de Alemania (D), Dinamarca (DNK), Estados Unidos de América (USA), Finlandia (FIN), Noruega (NOR) y Suecia (S) en 1984

Desde Hacia	D	DNK	USA	FIN	NOR	S	Suma
D	–	28,72	13,18	11,40	8,29	44,61	7,77
DNK	5,91	–	43,14	18,28	39,99	18,40	10,61
USA	23,76	39,19	–	42,07	50,72	51,55	21,27
FIN	23,05	12,15	99,08	–	34,41	19,96	17,46
NOR	21,47	40,16	132,57	24,64	–	17,15	20,56
S	6,38	12,95	28,60	28,08	8,76	–	6,48
Suma	6,15	3,85	14,27	9,55	12,94	8,53	

CUADRO B-3/E.506

Provisiones télex ajustadas utilizando el método de los mínimos cuadrados ponderados

Desde Hacia	D	DNK	USA	FIN	NOR	S	Suma
D	–	4850	12 684	2858	2383	5 090	27 865
DNK	5 185	–	1 674	750	1257	1 959	10 825
USA	11 001	1321	–	717	1644	2 407	17 090
FIN	2 633	715	745	–	487	1 891	6 471
NOR	2 402	1258	1 870	540	–	1 547	7 617
S	4 823	1817	2 307	1788	1331	–	12 066
Suma	26 044	9961	19 280	6653	7102	12 894	

ANEXO C
(a la Recomendación E.506)

Descripción de un procedimiento descendente

Sean

X_T la previsión del tráfico a nivel global,

X_i la previsión del tráfico hacia el país i ,

$\hat{\sigma}_T$ la desviación típica estimada de la previsión global.

$\hat{\sigma}_i$ la desviación típica estimada de la previsión correspondiente al país i .

Generalmente

$$X_T \neq \sum_i X_i \quad (C-1)$$

con lo que es necesario hallar una corrección

$$[X'_i] \text{ de } [X_i] \text{ y } [X'_T] \text{ de } [X_T]$$

determinando el mínimo para la expresión

$$Q = \alpha_0 (X_T - X'_T)^2 + \sum_i \alpha_i (X_i - X'_i)^2 \quad (C-2)$$

con la condición de que

$$X'_T = \sum_i X'_i \quad (C-3)$$

donde α y $[\alpha_i]$ se eligen de modo tal que

$$\alpha_0 = \frac{1}{\hat{\sigma}_T^2} \text{ y } \alpha_i = \frac{1}{\hat{\sigma}_i^2} \quad \text{con } i = 1, 2, \dots \quad (C-4)$$

La solución del problema de optimización da los valores de $[X'_i]$:

$$X'_i = X_i - \hat{\sigma}_i^2 \frac{\sum_i X_i - X_T}{\sum_i \hat{\sigma}_i^2 + \hat{\sigma}_T^2} \quad (C-5)$$

Un examen más detenido de la base de datos puede conducir a otras expresiones para los coeficientes $[\alpha_i]$, con $i = 0, 1, \dots$. En algunas ocasiones, será también razonable utilizar otros criterios para hallar los valores previstos corregidos $[X'_i]$. Esto puede verse en el ejemplo del método descendente del anexo D.

Si, en cambio, la varianza de la previsión general X_T es bastante pequeña, puede elegirse el procedimiento siguiente:

Las correcciones $[X_i]$ se hallarán determinando el mínimo para la expresión

$$Q' = \sum_i \alpha_i (X_i - X'_i)^2 \quad (C-6)$$

con la condición de que

$$X_T = \sum X'_i \quad (C-7)$$

Si se eligen para α_i , con $i = 1, 2, \dots$, las inversas de las varianzas estimadas, la solución del problema de optimización viene dada por la expresión

$$X'_i = X_i - \hat{\sigma}_i^2 \frac{\sum X_i - X_T}{\sum \hat{\sigma}_i^2} \quad (C-8)$$

ANEXO D

(a la Recomendación E.506)

Ejemplo de método descendente de elaboración de modelos

El modelo de previsión del tráfico telefónico de Noruega a los países europeos se divide en dos partes. El primer paso es la elaboración de un modelo econométrico para el tráfico total de Noruega a Europa. Seguidamente, se aplica el modelo para descomponer el tráfico total, por países.

D.1 Modelo econométrico para el tráfico total de Noruega a Europa

Con un modelo econométrico se procura explicar la evolución del tráfico telefónico, medido en minutos tasados, en función de las principales variables explicativas. Debido a la falta de datos sobre algunas variables, tales como el turismo, éstas han debido omitirse en el modelo.

El modelo general puede expresarse del modo siguiente:

$$X_t = e^K \cdot PIB_t^a \cdot P_t^b \cdot A_t^c \cdot e^{u_t} \quad (t = 1, 2, \dots, N) \quad (D-1)$$

donde

- X_t es la demanda de tráfico telefónico de Noruega a Europa en el instante t (minutos tasados);
- PIB_t es el producto interior bruto de Noruega en el instante t (precios reales);
- P_t es el índice de tasas para el tráfico de Noruega hacia Europa en el instante t (precios reales);
- A_t es el porcentaje del tráfico telefónico de Noruega a Europa establecido por marcación directa (a fin de tener en cuenta el efecto de la automatización). Por razones estadísticas (la imposibilidad de calcular el logaritmo de cero) A_t varía entre 1 y 2 en lugar de entre 0 y 1;
- K es la constante;
- a es la elasticidad con respecto al PIB;
- b es la elasticidad del precio;
- c es la elasticidad con respecto a la automatización;
- u_t es la variable estocástica que agrupa los efectos de las variables que no se han introducido en forma explícita en el modelo y que tienden a compensarse entre sí (esperanza matemática de $u_t = 0$ y varianza de $u_t = \sigma^2$).

Aplicando el análisis de regresión (método de los mínimos cuadrados) obtuvimos los coeficientes (elasticidades) del modelo de previsión del tráfico telefónico de Noruega a Europa que figuran en el cuadro D-1/E.506 (en nuestros cálculos utilizamos datos correspondientes al periodo 1951-1980).

Los estadísticos t deben compararse con la distribución de Student con $N - d$ grados de libertad, donde N es el número de observaciones y d el número de parámetros estimados. En este ejemplo, $N = 30$ y $d = 4$.

El modelo «explica» el 99,7% de la variación de la demanda de tráfico telefónico de Noruega a Europa en el periodo 1951-1980.

Este modelo logarítmico indica que:

- un aumento del 1% en el PIB origina un aumento del 2,80% en el tráfico telefónico,
- un aumento de las tarifas del 1%, medido en precios reales, origina una disminución del tráfico telefónico del 0,26% y
- un aumento del 1% en A_t origina un aumento del tráfico del 0,29%.

Seguidamente, sobre la base de la evolución prevista de las tarifas para Europa, del PIB y de la automatización futura del tráfico hacia Europa, se prevé la evolución del tráfico telefónico de Noruega hacia Europa, utilizando la ecuación:

$$X_t = e_t^{-16,095} \cdot PIB_t^{2,80} \cdot P_t u^{-0,26} \cdot A_t^{0,29} \quad (D-2)$$

CUADRO D-1/E.506

Coefficientes	Valores estimados	Estadísticos t
K	-16.095	-4.2
a	2.799	8.2
b	-0.264	-1.0
c	0.290	2.1

D.2 Modelo para desglosar el tráfico total de Noruega hacia Europa

El método de desglose consiste primeramente en aplicar la tendencia a la previsión del tráfico hacia cada país. No obstante, la importancia de la tendencia se reduce a medida que se avanza en el periodo de previsión, es decir, que se hace converger la tendencia para cada país al aumento del tráfico total para Europa. Seguidamente se ajusta en más o en menos el tráfico hacia cada país, con arreglo a un porcentaje que es igual para todos ellos, de modo que la suma de los valores del tráfico hacia los distintos países sea igual al tráfico total hacia Europa previsto de acuerdo con la ecuación (D-2).

Matemáticamente, el modelo de desglose puede expresarse del modo siguiente:

Cálculo de la tendencia para el país i :

$$R_{it} = b_i + a_i \cdot t, \quad i = 1, \dots, 34 \quad t = 1, \dots, N \quad (D-3)$$

donde

$R_{it} = \frac{X_{it}}{X_t}$ es la parte alícuota del país i del tráfico total hacia Europa;

X_{it} es el tráfico hacia el país i en el instante t ;

X_t es el tráfico hacia Europa en el instante t ;

t es la variable de tendencia;

a_i y b_i son dos coeficientes propios del país i ; a_i es la tendencia del país i . Los coeficientes se estiman utilizando el análisis de regresión, y los cálculos se basaron en el tráfico observado durante el periodo 1966-1980.

Las partes alícuotas previstas para el país i se calculan seguidamente mediante

$$R_{it} = R_{iN} + a_i \cdot (t - N) \cdot e^{-\frac{t-5}{40}} \quad (\text{D-4})$$

donde N es el último año de observación, y e es la función exponencial.

El factor $e^{-\frac{t-5}{40}}$ es un factor de corrección aplicado para que el crecimiento del tráfico telefónico hacia los distintos países converja hacia el crecimiento del tráfico total hacia Europa después del ajuste introducido en la ecuación (D-6).

A fin de que la suma de las partes alícuotas de los países sea igual a la unidad, es menester que

$$\sum_i R_{it} = 1 \quad (\text{D-5})$$

Esto se obtiene haciendo que la parte alícuota ajustada \tilde{R}_{it} , sea

$$\tilde{R}_{it} = R_{it} \frac{1}{\sum_i R_{it}} \quad (\text{D-6})$$

Seguidamente, se calcula el tráfico previsto para cada país multiplicando el tráfico total hacia Europa, X_t , por la parte alícuota de cada país del tráfico total:

$$X_{it} = \tilde{R}_{it} \times X_t \quad (\text{D-7})$$

D.3 *Modelo econométrico del tráfico telefónico de Noruega hacia América Central y América del Sur, África, Asia y Oceanía*

Para el tráfico telefónico de Noruega hacia estos continentes hemos utilizado las mismas variables explicativas y coeficientes estimados. Nuestro análisis demostró que, con respecto al tráfico hacia estos continentes, el número de estaciones telefónicas de cada continente es una variable explicativa más útil y significativa que el producto interior bruto.

Después de aplicar un procedimiento de estimación simultánea de sección transversal/serie cronológica obtuvimos los coeficientes del modelo de previsión para el tráfico de Noruega a estos continentes indicados en el cuadro D-2/E.506 (los cálculos para los distintos continentes se basaron en datos del periodo 1961-1980).

CUADRO D-2/E.506

Coefficientes	Valores estimados	Estadísticos t
Tasas	-1,930	-5,5
Aparatos telefónicos	2,009	4,2
Automatización	0,5	-

Tenemos $R^2 = 0,96$. El modelo puede formularse del modo siguiente:

$$X_t^k = e^{K^k} \cdot (TS_t^k)^{2,009} \cdot (P_t^k)^{1,930} \cdot (A_t^k)^{0,5} \quad (D-8)$$

donde

X_t^k es el tráfico telefónico hacia el continente k ($k =$ América Central, . . . , Oceanía) en el instante t ,

e^{K^k} es una constante propia de cada continente. Para el tráfico telefónico de Noruega hacia:

América Central: $K^1 = -11,025$

América del Sur: $K^2 = -12,62$

África: $K^3 = -11,395$

Asia: $K^4 = -15,02$

Oceanía: $K^5 = -13,194$

TS_t^k es el número de estaciones telefónicas del continente k en el instante t ,

P_t^k es el índice de las tasas para el tráfico, hacia el continente k en el instante t (precios reales),

A_t^k es el porcentaje de tráfico telefónico con marcación directa hacia el continente k .

La ecuación (D-8), junto con las previsiones relativas a la evolución futura de las tasas de las comunicaciones con cada continente, del número de estaciones telefónicas instaladas en cada continente y de la automatización del tráfico telefónico de Noruega hacia el continente, se emplea para prever la evolución futura de ese tráfico.

Referencias

- [1] ABRAHAM (A.) y LEDOLTER (J.): Statistical methods for forecasting. *J. Wiley*, Nueva York, 1983.
- [2] ALDRIN (M.): Forecasting time series with missing observations. *Stat 15/86 Norwegian Computing Center*, 1986.

- [3] ANSLEY (C. F.) y KOHN (R.): Estimation, filtering and smoothing in state space models with incomplete specified initial conditions. *The Annals of Statistics*, 13, pp. 1286-1316, 1985.
- [4] BARHAM (S. Y.) y DUNSTAN (F. D. J.): Missing values in time series. *Time Series Analysis: Theory and Practice 2*: Anderson, O. D., ed., pp. 25-41, North Holland, Amsterdam, 1982.
- [5] BØLVIKEN (E.): Forecasting telephone traffic using Kalman Filtering: Theoretical considerations. *Stat 5/86 Norwegian Computing Center*, 1986.
- [6] CHEMOUIL (P.) y GARNIER (B.): An adaptive short-term traffic forecasting procedure using Kalman Filtering. *XI International Teletraffic Congress*, Kyoto, 1985.
- [7] HARRISON (P. J.) y STEVENS (C. F.): Bayesian forecasting. *Journal of Royal Statistical Society. Ser B* 37, pp. 205-228, 1976.
- [8] HARVEY (A. C.) y PIERSE (R. G.): Estimating missing observations in econometric time series. *Journal of American Statistical As.*, 79, pp. 125-131, 1984.
- [9] JONES (R. H.): Maximum likelihood fitting of ARMA models to time series with missing observations. *Technometrics*, 22, No. 3, pp. 389-396, 1980.
- [10] JONES (R. H.): Time series with unequally spaced data. *Handbook of Statistics 5*. Ed. Hannah, E. J. et al., pp. 157-177, North Holland, Amsterdam, 1985.
- [11] KRUITHOF (J.): Telefoonverkeersrekening. *De Ingenieur*, 52, No. 8, 1937.
- [12] MORELAND (J. P.): A robust sequential projection algorithm for traffic load forecasting. *The Bell Technical Journal*, 61, pp. 15-38, 1982.
- [13] PACK (C. D.) y WHITAKER (B. A.): Kalman Filter models for network forecasting. *The Bell Technical Journal*, 61, pp. 1-14, 1982.
- [14] STORDAHL (K.) y HOLDEN (L.): Traffic forecasting models based on top down and bottom up models. *ITC 11*, Kyoto, 1985.
- [15] SZELAG (C. R.): A short-term forecasting algorithm for trunk demand servicing. *The Bell Technical Journal*, 61, pp. 67-96, 1982.
- [16] TU (M.) y PACK (D.): Improved forecasts for local telecommunications network. 6th International Forecasting Symposium, Paris, 1986.
- [17] WRIGHT (D. H.): Forecasting irregularly spaced data: An extension of double exponential smoothing. *Computer and Engineering*, 10, pp. 135-147, 1986.
- [18] WRIGHT (D. H.): Forecasting data published at irregular time intervals using an extension of Holt's method. *Management science*, 32, pp. 499-510, 1986.
- [19] *Cuadro de las relaciones y del tráfico télex internacionales*, UIT, Ginebra, 1973-1984.