UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

CCITT

COMITÉ CONSULTIVO
INTERNACIONAL
TELEGRÁFICO Y TELEFÓNICO

X.135

(11/1988)

SERIE X: REDES DE COMUNICACIÓN DE DATOS: TRANSMISIÓN, SEÑALIZACIÓN Y CONMUTACIÓN, ASPECTOS DE RED, MANTENIMIENTO, DISPOSICIONES ADMINISTRATIVAS

Redes de comunicación de datos – Aspectos de redes

VALORES DEL COMPORTAMIENTO CON RESPECTO A LA VELOCIDAD DE SERVICIO (RETARDO Y CAUDAL) PARA LAS REDES PÚBLICAS DE DATOS QUE PROPORCIONAN SERVICIOS INTERNACIONALES DE CONMUTACIÓN DE PAQUETES

Reedición de la Recomendación X.135 del CCITT publicada en el Libro Azul, Fascículo VIII.3 (1988)

NOTAS

1 La Recomendación X.135 del CCITT se publicó en el fascículo VIII.3 del Libro Azul. Este fichero es un extracto del Libro Azul. Aunque la presentación y disposición del texto son ligeramente diferentes de la versión del Libro Azul, el contenido del fichero es idéntico a la citada versión y los derechos de autor siguen siendo los mismos (véase a continuación).

2 Por razones de concisión, el término «Administración» se utiliza en la presente Recomendación para designar a una administración de telecomunicaciones y a una empresa de explotación reconocida.

© UIT 1988, 2008

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

Recomendación X.135

VALORES DEL COMPORTAMIENTO CON RESPECTO A LA VELOCIDAD DE SERVICIO (RETARDO Y CAUDAL) PARA LAS REDES PÚBLICAS DE DATOS QUE PROPORCIONAN SERVICIOS INTERNACIONALES DE CONMUTACIÓN DE PAQUETES

(Málaga–Torremolinos, 1984; modificada en Melbourne, 1988)

El CCITT,

considerando

(a) que la Recomendación X.1 especifica las clases de servicio internacional en las redes públicas de datos;

(b) que la Recomendación X.2 especifica los servicios de transmisión de datos y facilidades facultativas de usuario internacionales en redes públicas de datos;

(c) que la Recomendación X.25 especifica el interfaz ETD/ETCD para equipos terminales que funcionan en el modo paquete y están conectados a redes públicas de datos por circuitos especializados;

(d) que la Recomendación X.75 especifica el sistema de señalización con conmutación de paquetes entre centrales públicas que proporcionan servicios de transmisión de datos;

(e) que la Recomendación X.323 especifica las disposiciones generales para el interfuncionamiento entre redes públicas de datos con conmutación de paquetes;

(f) que la Recomendación X.96 especifica las señales de progresión de la llamada de las redes públicas de datos;

(g) que la Recomendación X.110 especifica los principios de encaminamiento y el plan de encaminamiento internacional para redes públicas de datos;

(h) que la Recomendación X.213 define el servicio de capa de red ISA;

(i) que la Recomendación X.140 define los parámetros generales de calidad de servicio para la comunicación a través de redes públicas de datos;

(j) que la Recomendación X.134 especifica las fronteras de tramo y los sucesos de referencia de la capa paquete para la definición de los parámetros de comportamiento de la conmutación de paquetes;

(k) que la Recomendación X.136 especifica los valores de comportamiento con respecto a la exactitud y la seguridad de funcionamiento (incluido el bloqueo) para redes públicas de datos que prestan el servicio internacional de conmutación de paquetes;

(l) que la Recomendación X.137 especifica los valores de comportamiento con respecto a la disponibilidad para las redes públicas de datos que prestan el servicio internacional de conmutación de paquetes,

recomienda por unanimidad

(1) que los parámetros de velocidad de servicio definidos en esta Recomendación se utilicen para la planificación y explotación de servicios internacionales de comunicación de datos con conmutación de paquetes de conformidad con las Recomendaciones X.25 y X.75;

(2) que en esos servicios, los valores de comportamiento especificados en esta Recomendación se adopten como límites para el caso más desfavorable en las condiciones aquí especificadas.

1 Introducción

1.1 Esta Recomendación es la segunda de una serie de cuatro Recomendaciones (X.134 a X.137) que definen parámetros y valores de comportamiento para los servicios internacionales de comunicación de datos con conmutación de paquetes. La figura 1/X.135 ilustra el campo de aplicación de estas cuatro Recomendaciones y las relaciones entre las mismas.

1.2 La Recomendación X.134 divide una conexión virtual en dos secciones básicas cuyas fronteras se asocian con los interfaces X.25 y X.75; define colecciones particulares de secciones básicas, denominadas tramos de conexión

virtual, para las cuales se especificarán valores de comportamiento, y define un conjunto de sucesos de referencia de la capa paquete (SP) que suministran una base para la definición de los parámetros de comportamiento. Las secciones básicas consisten en secciones de red y secciones de circuito. Siempre están delimitadas por interfaces físicos de equipos terminales de datos (ETD) o de centrales de conmutación de datos (CCD). Los tramos de conexión virtual se identifican como tramos nacionales, o tramos internacionales. Por definición, cada SP ocurre cuando un paquete, al atravesar una frontera de sección, cambia el estado del interfaz de la capa paquete.

1.3 Para facilitar la comparación, ya para una exposición más completa, el comportamiento de la red con conmutación de paquetes se considera en el contexto de la matriz de comportamiento de 3×3 definida en la Recomendación X.140. En esa matriz se indican tres funciones de comunicación de datos independientes del protocolo: acceso, transferencia de la información de usuario y desocupación. Estas funciones generales corresponden al establecimiento de la llamada, transferencia de datos (e interrupciones) y liberación de la llamada en servicios de llamadas virtuales con conmutación de paquetes conformes a las Recomendaciones X.25 y X.75. Cada función se considera según tres aspectos generales del comportamiento (o «criterios de comportamiento»): velocidad, exactitud, y seguridad de funcionamiento. Estos criterios expresan, respectivamente, el retardo o la velocidad, el grado de corrección (en el sentido de perfección) y el grado de certidumbre con que se ejecuta una función.

1.4 Esta Recomendación define los parámetros y valores de velocidad de servicio relativos al protocolo, asociados con cada una de las tres funciones de comunicación de datos. La Recomendación X.136 define los parámetros y valores de exactitud y seguridad de funcionamiento relativos al protocolo asociados con cada función. Los parámetros de las Recomendaciones X.135 y X.136 se denominan «parámetros primarios», para destacar que se derivan directamente de sucesos de referencia de la capa paquete.

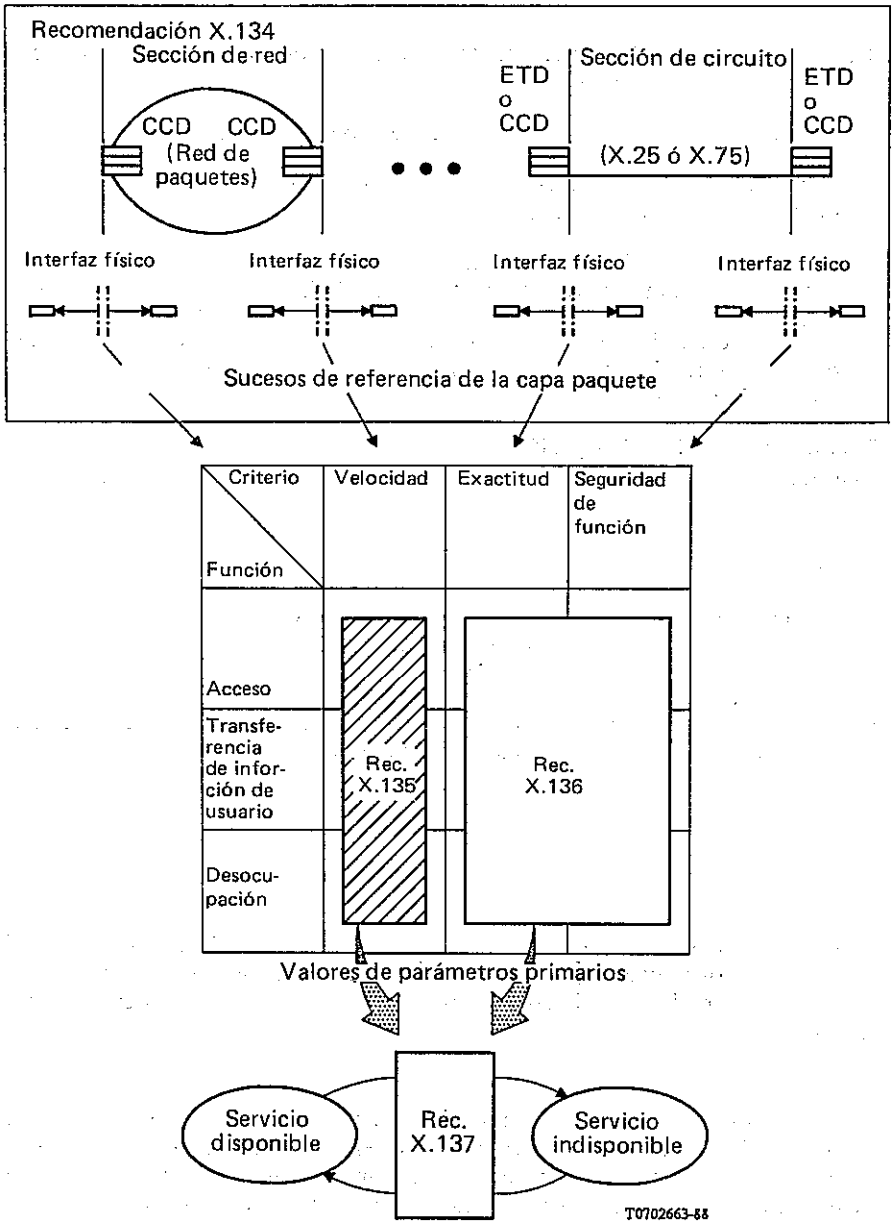


FIGURA 1/X.135

Descripción esquemática del comportamiento del servicio de comunicación de datos con conmutación de paquetes

1.5 Un modelo asociado de dos etapas sirve de base para describir la disponibilidad de servicio global. Una función de disponibilidad especificada compara los valores para un subconjunto de los parámetros primarios con los umbrales de interrupción correspondientes para clasificar el servicio como «disponible» (no interrupción del servicio) o «indisponible» (interrupción del servicio) durante el tiempo de servicio previsto. La Recomendación X.137 especifica la función de disponibilidad y define los parámetros y valores de disponibilidad que caracterizan el proceso aleatorio binario resultante.

1.6 Se definen en esta Recomendación cuatro parámetros de velocidad de servicio: un parámetro de acceso (tiempo de establecimiento de la llamada), dos parámetros de transferencia de información de usuario (tiempo de transferencia de paquetes de datos y capacidad de caudal), y un parámetro de desocupación (retardo de indicación de liberación). Cada parámetro puede aplicarse a cualquier sección básica o porción de una conexión virtual. Esta cualidad de los parámetros, de ser generales, es muy conveniente para la distribución y la concatenación del comportamiento.

1.7 Esta Recomendación especifica valores de retardo y caudal para tramos nacionales y tramos internacionales de dos tipos (cuadro 1/X.135). No se especifican valores de comportamiento para el equipo terminal de datos, pero los parámetros definidos en esta Recomendación pueden emplearse en tal especificación para ayudar a los usuarios a establecer relaciones cuantitativas entre el comportamiento de la red y la calidad de servicio (véase la Recomendación X.140).

CUADRO 1/X.135

Tipos de tramos de la conexión virtual para los cuales se especifican valores de comportamiento a)

Tipo de tramo	Características técnicas
Nacional A	Conexión terrenal vía una sección de red de acceso
Nacional B	Conexión vía una sección de red de acceso con un circuito por satélite, o vía una sección de red de acceso y una o más secciones de red de tránsito
Internacional A	Conexión vía una sección terrenal directa de circuito interredes
Internacional B	Conexión vía dos circuitos por satélite y una sección de red de tránsito, o vía un circuito por satélite y dos o más secciones de red de tránsito.

a) Los valores especificados para los tramos tipo B se aplican también a tramos de la conexión virtual no identificadas explícitamente como tipo A o tipo B.

1.8 A continuación se especifican los valores de la media y la probabilidad del 95% de caso más desfavorable para el tiempo de establecimiento de la llamada, el tiempo de transferencia de paquetes de datos, la capacidad de caudal y el retardo de indicación de liberación, para cada uno de los tipos de tramo de la conexión virtual identificados en el cuadro 1/X.135. El término «caso más desfavorable» (denominado también «peor caso») significa que estos valores deben satisfacerse durante la hora cargada normal en el tramo de la conexión virtual de peor comportamiento utilizada para proporcionar el servicio internacional con conmutación de paquetes. El comportamiento de un tramo de la conexión virtual será normalmente mucho mejor que los valores del caso más desfavorable especificados en esta Recomendación[1)]. Se estudiarán ulteriormente objetivos de diseño que tengan en cuenta aplicaciones de usuarios más exigentes y mejoras del comportamiento y la conectividad de la red.

En esta Recomendación se indican también los métodos numéricos para combinar los valores de calidad de comportamiento de cada tramo a fin de estimar el comportamiento de extremo a extremo. En el anexo C se calculan valores de ETD a ETD para dos conexiones ficticias de referencia determinadas, utilizando estos métodos.

2 Tiempo de establecimiento de la llamada

El tiempo de establecimiento de la llamada sólo es aplicable a la capacidad de llamada virtual de las redes que funcionan con conmutación de paquetes.

En primer lugar se define el tiempo de establecimiento de la llamada observado en una sola frontera de tramo, B_i, después se define el tiempo de establecimiento de la llamada entre un par de fronteras de tramo (B_i, B_j) en base a la definición anterior. En el primer caso, el tiempo de establecimiento de la llamada incluye el retardo de todos los tramos de la conexión virtual del lado usuario llamado de B_i, y el tiempo de respuesta del usuario llamado. En el segundo caso, el tiempo de establecimiento de la llamada incluye solamente los retardos entre B_i y B_j. Se especifican valores para el tiempo de establecimiento de la llamada observados entre fronteras de tramo.

1) En el suplemento N.º 1 figuran valores de retardo y caudal medidos en determinadas conexiones y en determinados instantes, a modo de ilustración solamente.

2.1 *Definición del tiempo de establecimiento de la llamada en una sola frontera de sección*

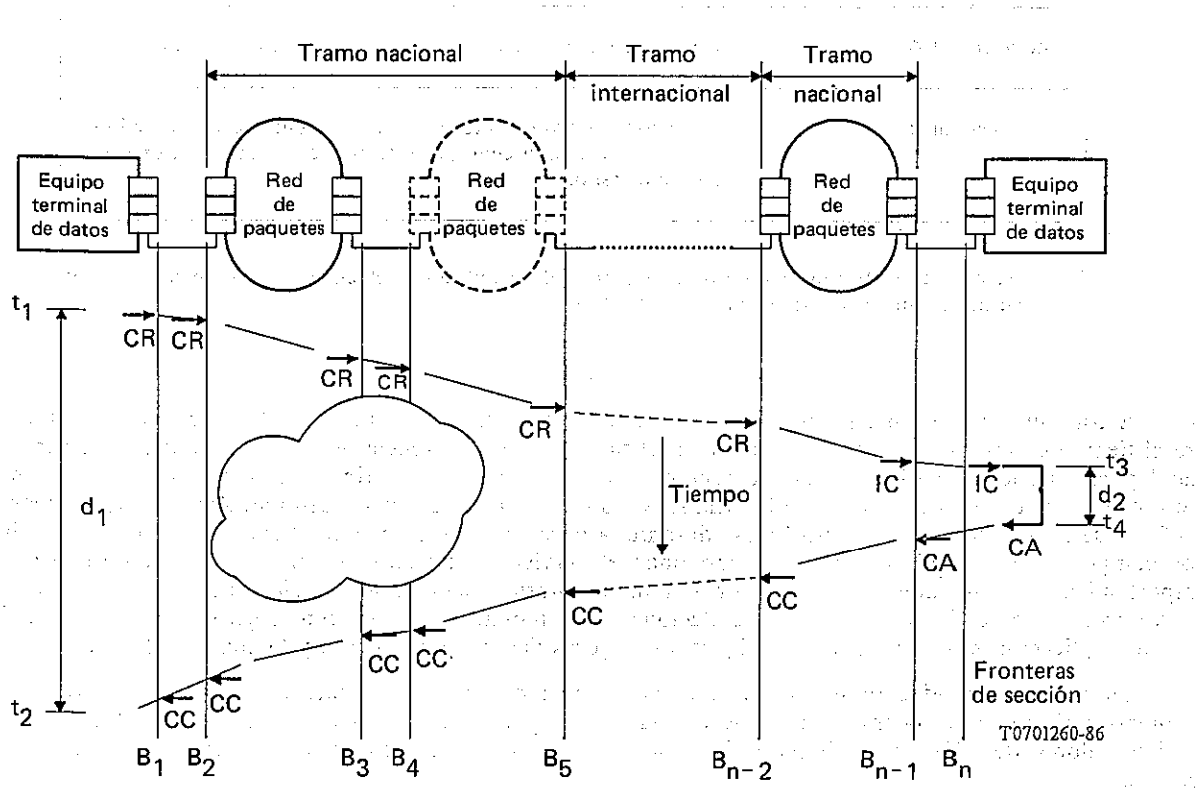
El **tiempo de establecimiento de la llamada en una frontera de sección** B_i, se define por dos sucesos de referencia de la capa paquete (SP) de la Recomendación X.134. Es el lapso de tiempo que transcurre desde el instante en que un paquete de llamada entrante crea un SP en B_i y el instante en que el paquete correspondiente de comunicación establecida o de llamada aceptada, que acepta la llamada virtual, retorna y crea su SP en B_i.

Tiempo de establecimiento de la llamada en una frontera de sección = $\{t_2 - t_1\}$ donde:

t_1 es el instante en que ocurre el primer SP,

t_2 es el instante en que ocurre el segundo SP.

Los dos SP pueden ocurrir en cualquier frontera de sección de una conexión virtual. Las identidades de los paquetes dependen de la frontera en cuestión, como se indica en la figura 2/X.135. El primer paquete es el paquete de petición de llamada y el segundo es el correspondiente paquete de comunicación establecida en cada una de las fronteras salvo las dos que delimitan la sección de circuito de acceso asociada al ETD llamado. El primer paquete es el paquete de llamada entrante y el segundo es el de llamada aceptada en las dos últimas fronteras. Los SP X.134 específicos utilizados para medir el tiempo de establecimiento de la llamada en cada frontera de sección se indican en cuadro 2/X.135.



Nota – (t_1, t_2) y (t_3, t_4) pueden observarse en el lado llamante y en el lado llamado de cualquier porción de la conexión virtual.

FIGURA 2/X.135

Sucesos relacionados con el tiempo de establecimiento de la llamada

CUADRO 2/X.135

Sucesos de referencia de la capa paquete (SP) utilizados para medir el tiempo de establecimiento de la llamada [a)]

Suceso de referencia de la capa paquete X.134 / Sección de circuito	SP inicial	SP final
Sección de circuito de acceso del ETD llamante	2 (X.25)	3 (X.25)
Sección de circuito de acceso del ETD llamado	1 (X.25)	4 (X.25)
Sección de circuito interredes	1 (X.75)	2 (X.75)

[a)] Los números de SP en este cuadro hacen referencia a los cuadros 1/X.134 y 2/X.134.

2.2 *Definición del* **tiempo de establecimiento de la llamada entre dos fronteras de sección**

Para una determinada llamada virtual, el tiempo de establecimiento de la llamada puede medirse en una frontera B_i, y también en otra frontera, B_j, más alejada del ETD llamante. La diferencia entre los valores obtenidos es el tiempo de establecimiento de la llamada introducido por la o las secciones de la conexión virtual comprendidas entre estas dos fronteras.

Tiempo de establecimiento entre dos fronteras de sección = $\{d_1 - d_2\}$ donde:

d_1 es el tiempo de establecimiento de la llamada medido en B_i

d_2 es el tiempo de establecimiento de la llamada medido en B_j.

El **tiempo de establecimiento de la llamada de extremo a extremo** es el tiempo de establecimiento de la llamada entre las fronteras de los ETD, por ejemplo, B_1 y B_n en la figura 2/X.135. Este tiempo de extremo a extremo no incluye el tiempo de respuesta del usuario llamado. El **tiempo de establecimiento de la llamada del tramo nacional** es el tiempo de establecimiento de la llamada entre las fronteras que delimitan un tramo nacional, por ejemplo, B_1 y B_5 en la figura 2/X.135. El **tiempo de establecimiento de la llamada del tramo internacional** es el tiempo de establecimiento de la llamada entre las fronteras que delimitan el tramo internacional, es decir B_5 y B_{n-2} en la figura 2/X.135.

2.3 *Valores*

El cuadro 3/X.135 define valores del tiempo de establecimiento de la llamada del caso más desfavorable para cada uno de los cuatro tipos de tramo de la conexión virtual identificados en el cuadro 1/X.135. En el anexo C se calculan valores del tiempo de establecimiento de la llamada de ETD a ETD para dos conexiones ficticias de referencia. Todos los objetivos se basan (y sólo son aplicables) en los supuestos siguientes[2)]:

1) Condiciones normales de tráfico en la hora cargada de la conexión virtual observada. La definición de «tráfico normal en la hora cargada» como medio de descripción del tráfico será objeto de ulterior estudio.
2) Una llamada básica en la cual no se utiliza ninguna de las facilidades facultativas de usuario definidas en la Recomendación X.25, ni se envían datos de usuario de llamada.
3) Las ventanas de la capa de enlace de datos de las entidades no pertenecientes al tramo que se especifica están abiertas (sin control de flujo).

[2)] Los valores para otras condiciones se estudiarán ulteriormente. En el caso de líneas de acceso sumamente largas y/o retardos excesivos en los equipos de transmisión de la sección de circuito de acceso, estos valores pueden ser rebasados.

Los valores definidos consisten en valores de la media y de la probabilidad del 95%. La media es el valor esperado de la distribución de los tiempos de establecimiento de la llamada. El valor de la probabilidad del 95% es el valor por debajo del cual están el 95% de los valores de los tiempos de establecimiento de la llamada. Las tentativas de establecimiento de la llamada que resultan infructuosas (es decir, que no son completadas) en las condiciones de la Recomendación X.136 no se tienen en cuenta y se tratan separadamente en esa Recomendación.

CUADRO 3/X.135

Valores de tiempo de establecimiento de la llamada del caso más desfavorable para los tramos de la conexión virtual

Estadístico	Tipo de tramo de la conexión virtual			
	Nacional		Internacional	
	A	B	A	B
Media (ms)	1000 *X*	1600 *X*	250	1600
95% (ms)	1500 *X*	2100 *X*	250	1800

En el cuadro 3/X.135, el valor de *X* depende de la velocidad de señalización de la sección de circuito de acceso incluida en el tramo nacional. El cuadro 4/X.135 presenta los valores de *X* para las clases de servicio de usuario 8 a 11, de la Recomendación X.1[3)]. Para otras velocidades de señalización, los valores de *X* se pueden calcular mediante la formula:

$$X = 400/R \text{ ms},$$

donde *R* es la velocidad de señalización en kilobits por segundo[4)].

CUADRO 4/X.135

Valores de X para el cuadro 3/X.135

Clase de servicio de usuario X.1	*R* (kbit/s)	*X* (Milisegundos)
8	2,4	167
9	4,8	84
10	9,6	42
11	48,0	9

Se tiene el propósito de que los valores del tiempo de establecimiento de la llamada definidos en el cuadro 3/X.135 se utilicen como límites del caso más desfavorable en la planificación de los servicios internacionales con conmutación de paquetes. El funcionamiento real, desde el punto de vista del tiempo de establecimiento de la

3) Estos valores de *X* no tienen por finalidad representar la característica de retardo de la sección de circuito de acceso, pues no incluyen los tiempos de propagación, los retardos de la multiplexación, ni los efectos de la transmisión.

4) La fórmula supone que la transferencia de cada paquete de establecimiento de llamada a través de una sección de circuito de acceso entraña la transmisión de 25 octetos: 5 octetos de tara («overhead») a nivel de trama, un encabezamiento de paquete de 5 octetos y 15 octetos de información de dirección del ETD.

llamada, obtenido en un tramo de conexión virtual dependerá de muchos factores entre los cuales está el tráfico esperado y el efectivamente ofrecido, la topología de la red interna, y las velocidades de señalización en las secciones de circuito interredes. Para cada factor, toda variación con respecto al valor de caso más desfavorable puede traducirse en un mejor comportamiento.

El valor global del tiempo de establecimiento de la llamada para un conjunto de tramos concatenados de una conexión virtual puede calcularse directamente por la suma de la media de cada uno de los tramos indicados en el cuadro 3/X.135. El método para el cálculo del valor global del tiempo de establecimiento de la llamada con una probabilidad del 95%, para un conjunto de tramos concatenados de una conexión virtual, partiendo de los valores de la probabilidad del 95% de cada una de las secciones, se describe en el anexo C.

3 Tiempo de transferencia de los paquetes de datos

Este es el tiempo que toma la transferencia completada de un paquete de datos y se aplica tanto a la capacidad de llamada virtual como a la capacidad de circuito virtual permanente de las redes de datos con conmutación de paquetes. Se define solamente entre pares de fronteras de sección.

3.1 *Definición del* **tiempo de transferencia de paquetes de datos**

El tiempo de transferencia de paquetes de datos es el lapso de tiempo que comienza cuando un paquete de datos crea un SP en una determinada frontera, B_i, y termina cuando este mismo paquete crea un SP posterior en otra frontera B_j. Los SP X.134 utilizados específicamente para medir el tiempo de transferencia de los paquetes de datos en cada frontera de sección se indican en el cuadro 5/X.135.

Tiempo de transferencia de paquetes de datos = $\{t_2 - t_1\}$, donde:

t_1 es el instante en que se produce el primer SP,

t_2 es el instante en que se produce el segundo SP

CUADRO 5/X.135

Sucesos de referencia de la capa paquete (SP) utilizados para medir el tiempo de transferencia de los paquetes de datos

Suceso de referencia de la capa paquete X.134 / Sección de circuito	SP inicial/final
Sección de circuito acceso de destino	10a (X.25)
Sección de circuito acceso de destino	9a (X.25)
Sección de circuito interredes	5a (X.75)

El **tiempo de transferencia de paquetes de datos de extremo a extremo** es el tiempo de transferencia en un solo sentido entre las fronteras de los ETD, por ejemplo, B_1 y B_n en la figura 2/X.135. El **tiempo de transferencia de paquetes de datos en un tramo nacional** es el tiempo para la transferencia entre las fronteras que delimitan un tramo nacional, por ejemplo, B_1 y B_5 en la figura 2/X.135. El **tiempo de transferencia de paquetes de datos en el tramo internacional** es el tiempo de transferencia entre las fronteras de delimitan un tramo internacional, es decir, B_5 y B_{n-2} en la figura 2/X.135.

3.2 *Valores*

El cuadro 6/X.135 define los valores de tiempo de transferencia de paquetes de datos de caso más desfavorable para cada uno de los cuatro tipos de tramo de la conexión virtual identificados en el cuadro 1/X.135. En el anexo C se calculan valores de tiempo de transferencia de paquetes de datos de ETD a ETD para dos conexiones ficticias de referencia. Todos los valores se basan (y sólo son aplicables) en los siguientes supuestos[5]:

1) Condiciones normales de tráfico en la hora cargada de la conexión virtual observada. La definición de «tráfico normal en la hora cargada» como medio de descripción del tráfico será objeto de ulterior estudio.
2) Una longitud de campo de datos de usuario de 128 octetos.
3) Las ventanas de la capa de enlace de datos y de la capa de paquete en el lado del ETD receptor del tramo que se especifica están abiertas.

Los valores definidos consisten en valores de la media y de la probabilidad del 95%. La media es el valor esperado de la distribución de los tiempos de transferencia de los paquetes de datos, sin tener en cuenta los valores superiores a un tiempo de transferencia máximo especificado de los paquetes de datos. El valor de la probabilidad del 95% es el valor que no será rebasado por el 95% de los tiempos de transferencia de paquetes de datos. Las tentativas de transferencia de paquetes que resultan infructuosas en las condiciones de la Recomendación X.136 no se tienen en cuenta y se tratan separadamente en esa Recomendación.

CUADRO 6/X.135

Valores de tiempo de transferencia de paquetes de datos de caso más desfavorable para tramos de una conexión virtual

Estadístico	Tipo de tramo de conexión virtual			
	Nacional		Internacional	
	A	B	A	B
Media (ms)	350 + *Y*	650 + *Y*	215	950
95% (ms)	525 + *Y*	825 + *Y*	215	1125

En el cuadro 6/X.135, el valor de *Y* depende de la velocidad de señalización de la sección de circuito de acceso incluida en el tramo nacional. El cuadro 7/X.135 presenta los valores de *Y* para las clases de servicio de usuario 8 a 11 de la Recomendación X.1[6]. Para otras velocidades de señalización, los valores de *Y* se pueden calcular mediante la fórmula:

$$Y = 1088/R \text{ ms},$$

donde *R* es la velocidad de señalización en kbit/s[7].

---

5) Los valores para otras condiciones se estudiarán ulteriormente. En el caso de líneas de acceso sumamente largas y/o retardos excesivos en los equipos de transmisión de la sección de circuito de acceso, estos valores pueden ser rebasados.

6) Estos valores de *Y* no tienen por finalidad representar la característica de retardo de la sección de circuito de acceso, pues no incluyen los tiempos de propagación, los retardos de multiplexación, ni los efectos de la retransmisión.

7) La fórmula supone que la transferencia de un paquete de datos a través de una sección de circuito de acceso entraña la transmisión de 136 octetos: 5 octetos de tara a nivel de trama, un encabezamiento de paquete de 3 octetos y 128 octetos de datos de usuario.

CUADRO 7/X.135

Valores de Y para el cuadro 6/X.135

Clase de servicio de usuario X.1	*R* (kbit/s)	*X* (Milisegundos)
8	2,4	453
9	4,8	227
10	9,6	113
11	48,0	23

Se tiene el propósito de que los valores del tiempo de transferencia de paquetes de datos definidos en el cuadro 6/X.135 se utilicen como límites del caso más desfavorable en la planificación de los servicios internacionales de comunicación de datos con conmutación de paquetes. El funcionamiento real, desde el punto de vista del tiempo de transferencia de paquetes de datos, obtenido en un tramo de conexión virtual dependerá de muchos factores entre los cuales está el tráfico esperado y el efectivamente ofrecido, la topología de la red interna y las velocidades de señalización en las secciones de circuito interredes. Para cada factor, toda variación con respecto al valor de caso más desfavorable puede traducirse en un mejor funcionamiento.

El valor medio global de tiempo de transferencia de paquetes de datos para un conjunto de tramos concatenados de una conexión virtual puede calcularse directamente por la suma de la media de cada uno de los tramos indicados en el cuadro 6/X.135. El método para calcular el valor global del tiempo de transferencia de paquetes de datos con una probabilidad del 95%, para un conjunto de tramos concatenados de una conexión virtual, partiendo de los valores de la probabilidad del 95% de cada una de las secciones, se describe en el anexo C.

4 Parámetros de caudal

Esta sección define tres parámetros de caudal: el caudal, el caudal en régimen permanente y la capacidad de caudal. Se indican valores para la capacidad de caudal.

4.1 *Definición de* **caudal**

Caudal, para una sección de una conexión virtual, es el número de bits de datos de usuario transferidos correctamente en un sentido de transmisión a través de esa sección, por unidad de tiempo[8)]. Por transferidos correctamente ha de entenderse que, en la transmisión, no se agrega, ni se pierde, ni se invierte ningún bit.

Se parte de los siguientes supuestos:

1) El paquete de datos A_0 es el paquete final de una secuencia completa de paquetes que atraviesan la frontera de entrada B_i;
2) Seguidamente, k paquetes de datos consecutivos (A_1, A_2, . . . a A_k) que forman la siguiente secuencia completa de paquetes, atraviesan la frontera de entrada B_i inmediatamente después de A_0;
3) El paquete de datos $\hat{A}_0$ es el paquete final de la primera secuencia completa de paquetes cuando ésta atraviesa la frontera de salida B_j;
4) Los paquetes $\hat{A}_1$, $\hat{A}_2$, . . . $\hat{A}_m$ forman la segunda secuencia completa de paquetes cuando ésta atraviesa la frontera de salida B_j.

Los SP X.134 utilizados para medir el caudal son los mismos utilizados para medir el tiempo de transferencia de paquetes de datos, indicados en el cuadro 5/X.135.

---

8) Los bits de datos de usuario son los bits del campo de datos de usuario en los paquetes de datos de la capa paquete de las Recomendaciones X.25 o X.75 (protocolos y datos por encima de la capa paquete). No se tienen en cuenta los bits de alineación de trama, los bits de encaminamiento, los bits de relleno, los bits para la protección contra errores, ni los introducidos por otros campos de protocolos en la capa paquete o en niveles inferiores a ésta.

Donde:

t_1 es el instante en que el paquete A_0 crea el SP en B_i,

t_2 es el instante en que el paquete A_k crea el SP en B_i,

t_3 es el instante en que el paquete $\hat{A}_0$ crea el SP en B_j,

t_4 es el instante en que el paquete $\hat{A}_m$ crea el SP en B_j,

$f(A_r)$ es el número de bits de datos de usuario en el paquete A_r.

Entonces, una medida de caudal de tamaño k se define como sigue:

$$\text{Medida de caudal} = \frac{\sum_{r=1}^{k} f(A_r)}{\text{MAX}\,[(t_2 - t_1), (t_4 - t_3)]}$$

La Recomendación X.136 define las condiciones en las cuales se considera que la transferencia de paquetes de datos consecutivos ha fracasado. En la evaluación del comportamiento desde el punto de vista del caudal sólo deberán tenerse en cuenta las mediciones de caudales cuya transmisión se ha completado.

4.2 *Definición de* **caudal en régimen permanente**

El caudal en régimen permanente para una conexión virtual es el valor al cual converge la medición del caudal cuando aumenta la duración del periodo de observación, con una carga estadísticamente constante en la conexión virtual. Si se suponen condiciones de transferencia completada, el caudal en régimen permanente es el mismo cualquiera que sea el par de fronteras de sección de la conexión virtual en que haya sido medido. Por tanto, suponiendo que ningún bit de datos de usuario se pierde, se agrega o se invierte en la transferencia, una medición del caudal en régimen permanente puede efectuarse en cualquier frontera de un tramo de los que componen una conexión virtual:

$$\text{Medida de caudal en régimen permanente} = \frac{\sum_{r=1}^{k} f(A_r)}{(t_2 - t_1)}$$

donde t_1, t_2 y $f(A_r)$ tienen los valores definidos anteriormente[9)].

Por otra parte, esta ecuación puede utilizarse para calcular el caudal en régimen permanente con diferentes definiciones de t_1 y t_2. Los instantes t_1 y t_2 pueden elegirse previamente a la medición. En este caso, sea (A_1, A_2, . . . A_k) el conjunto de todos los paquetes de datos de la conexión virtual que atraviesan la frontera B (y que crean SPs en un sentido de transmisión) en el instante t_1, o después de este instante, pero antes del instante t_2. En esta situación, la mencionada ecuación da aún la medida del caudal en régimen permanente.

4.3 *Definición de* **capacidad de caudal**

Sean B_i y B_j dos fronteras de sección de la conexión virtual. Supóngase que se desea estimar el caudal en régimen permanente con un flujo de paquetes de datos de B_i a B_j. Supóngase también que hay una carga estadísticamente constante, L, en la sección de la conexión virtual delimitada por B_i y B_j. Entonces, la capacidad de caudal de esa sección con una carga L se define como el caudal en régimen permanente maximizado para todas las combinaciones proporcionadas de posiciones de ajuste de los parámetros de la conexión virtual y de las selecciones relativas a los comportamientos y a las cargas fuera de B_i y B_j. La medición de la capacidad de caudal de una sección comprendida entre las fronteras B_i y B_j se efectúa de la misma manera que se mide el caudal en régimen permanente. Sin embargo, para la medición de la capacidad de caudal, los componentes fuera de B_i y B_j deben tener una capacidad de caudal significativamente mayor, en sus condiciones de carga respectivas, que la capacidad de caudal que se mide.

Para una carga estadísticamente constante, L, entre B_i y B_j, y para un determinado conjunto de configuraciones de prueba, un caudal cualquiera en régimen permanente es un límite inferior de la capacidad de caudal. A fin de mejorar la estimación, el experimento puede repetirse con diferentes configuraciones de prueba fuera de $B_i - B_j$ (véase el anexo B).

---

9) El anexo B contiene información auxiliar sobre la medición del caudal en régimen permanente.

La capacidad de caudal de extremo a extremo es la capacidad de caudal entre las fronteras de los ETD, es decir, B_1 y B_n en la figura 2/X.135. La capacidad de caudal de un tramo nacional es la capacidad de caudal entre las fronteras que delimitan ese tramo nacional, por ejemplo, B_1 y B_5 en la figura 2/X.135. La capacidad de caudal del tramo internacional es la capacidad de caudal entre las fronteras que delimitan ese tramo internacional, es decir, B_5 y B_{n-2} en la figura 2/X.135.

4.4 *Valores*

El cuadro 8/X.135 define los valores de la capacidad de caudal del caso más desfavorable para cada uno de los cuatro tipos de tramos de la conexión virtual identificados en el cuadro 1/X.135. En el anexo C se indican valores de capacidad de caudal de ETD a ETD para dos conexiones ficticias de referencia. Todos los valores se basan (y sólo son aplicables) en los supuestos siguientes[10]:

1) Condiciones normales de tráfico en la hora cargada para la conexión virtual observada. La definición de «tráfico normal en la hora cargada», como medio de descripción del tráfico será objeto de ulterior estudio. No hay otro tipo de tráfico en las secciones de circuito de acceso.
2) Velocidades de señalización de 9600 bit/s en las secciones de circuito de acceso. La posibilidad de aplicar los valores de capacidad de caudal especificados a velocidades más bajas de señalización de sección de circuito de acceso serán objeto de ulterior estudio.
3) Longitud del campo de datos de usuario: 128 octetos. La clase de caudal solicitada corresponde a 9600 bit/s. (Obsérvese que la clase de caudal aplicada finalmente a la llamada puede ser inferior a la clase de caudal solicitada.)
4) Tamaños de ventana en la capa paquete de 2, y tamaños de ventana en la capa enlace de datos de 7, en las secciones de circuito de acceso.
5) No se utiliza el bit D ($D = 0$).
6) Los valores son aplicables a ambos sentidos de transferencia.
7) Disponibilidad completa (según la definida en la Recomendación X.137) durante el periodo de observación.
8) Durante el periodo de observación no se producen reiniciaciones ni desconexiones prematuras (según lo prescrito en la Recomendación X.136).
9) Los tamaños de las muestras de capacidad de caudal serán de 200 paquetes (en el caso de la primera técnica de medición especificada en el § 4.2) o 2 minutos (en el caso de la técnica de medición alternativa especificada en el § 4.2).

CUADRO 8/X.135

Valores de capacidad de caudal del caso más desfavorable para tramos de la conexión virtual

Estadístico	Tipo de tramo de conexión virtual			
	Nacional		Internacional	
	A	B	A	B
Media (bit/s)	3000	2400	2000	1800
95% (bit/s)	2400	2000	1800	1500

Los valores definidos consisten en valores de la media y de la probabilidad del 95%. La media es el valor esperado de la distribución de la capacidad del caudal. El valor de la probabilidad del 95% es un valor que representa una capacidad que no será rebasada por el 95% de las capacidades de caudal.

[10] Los valores para otras condiciones se estudiarán ulteriormente.

Se tiene el propósito de que los valores de capacidad de caudal definidos en el cuadro 8/X.135 se utilicen como límites del caso más desfavorable en la planificación de servicios internacionales de comunicación de datos con conmutación de paquetes. La capacidad de caudal efectiva que se logrará en un tramo de la conexión virtual dependerá de muchos factores, incluidos el tráfico esperado y el efectivamente ofrecido, la topología de la red interna, y las velocidades de señalización en las secciones de circuito interredes. Para cada factor, toda variación con respecto al valor de caso más desfavorable puede traducirse en un mejor funcionamiento. Los valores de capacidad de caudal definidos en esta Recomendación no se alcanzarán necesariamente al mismo tiempo que los valores de retardo definidos en el cuadro 6/X.135.

Un límite superior para la capacidad de caudal de un conjunto de tramos concatenados de una conexión virtual puede obtenerse a partir de las capacidades de caudal de cada uno de los tramos, de la manera siguiente: Si un tramo comprendido entre las fronteras B_i y B_j tiene una capacidad de caudal T_1 para una carga L_1, y un tramo comprendido entre las fronteras B_k y B_m tiene una capacidad de caudal T_2 para una carga L_2, y si esas porciones están concatenadas de tal modo que $B_j = B_k$ manteniéndose L_1 y L_2 sin cambiar, la capacidad de caudal del tramo resultante será:

$$T \leqslant \text{MIN}\,[T_1,\ T_2].$$

En el anexo C figura más información sobre el cálculo de la capacidad de caudal de un conjunto de tramos concatenados de la conexión virtual.

5 Retardo de indicación de liberación

El retardo de indicación de liberación se aplica solamente a la capacidad de llamadas virtuales de las redes de datos con conmutación de paquetes. Se define solamente entre un par de fronteras de sección.

5.1 *Definición del* **retardo de indicación de liberación**

El retardo de indicación de liberación comienza cuando un paquete de petición de liberación o un paquete de indicación de liberación crea un SP en una determinada frontera B_i y termina cuando el correspondiente paquete de petición de liberación o de indicación de liberación crea un SP posterior en otra frontera, B_j. Los SP X.134 utilizados específicamente para medir el retardo de indicación de liberación en cada frontera de tramo se indican en el cuadro 9/X.135.

Retardo de indicación de liberación = $\{t_2 - t_1\}$ donde:

t_1 es el instante en que se produce el primer SP,

t_2 es el instante en que se produce el segundo SP.

CUADRO 9/X.135

Sucesos de referencia de la capa paquete (SP) utilizados para medir el retardo de indicación de liberación

Suceso de referencia de la capa paquete X.134 / Sección de circuito	SP inicial/final
Sección de circuito de acceso al ETD liberante	6 (X.25)
Sección de circuito de acceso al ETD liberado	5 (X.25)
Sección de circuito interredes	3 (X.75)

El **retardo de indicación de liberación de extremo a extremo** es el retardo en un solo sentido de la transmisión entre las fronteras de los ETD, es decir, B_1 y B_n en la figura 2/X.135. El **retardo de indicación de liberación de un tramo nacional** es el retardo entre las fronteras que delimitan un tramo nacional, por ejemplo B_1 y B_5 en la figura 2/X.135. El **retardo de indicación de liberación del tramo internacional** es el retardo entre las fronteras que delimitan el tramo internacional, es decir B_5 y B_{n-2} en la figura 2/X.135.

5.2 *Valores*

El cuadro 10/X.135 define los valores de retardo de indicación de liberación de caso más desfavorable para cada uno de los cuatro tipos de tramo de la conexión virtual identificados en el cuadro 1/X.135. En el anexo C se calculan valores del retardo de indicación de liberación de ETD a ETD para dos conexiones ficticias de referencia. Todos los valores se basan (y sólo son aplicables) en los supuestos siguientes[11]:

1) Condiciones de tráfico normal en la hora cargada para la conexión virtual observada. La definición de «tráfico normal en la hora cargada» como medio de descripción del tráfico será objeto de ulterior estudio.
2) Las ventanas de la capa enlace de datos, en el lado del ETD liberado del tramo que se especifica, están abiertas.
3) El formato ampliado del paquete de petición de liberación no se utiliza.

[11] Los valores para otras condiciones se estudiarán ulteriormente. En el caso de líneas de acceso sumamente largas y/o retardos excesivos en los equipos de transmisión de la sección de circuito de acceso, estos valores pueden ser rebasados.

CUADRO 10/X.135

Valores del retardo de indicación de liberación de caso más desfavorable para tramos de una conexión virtual

Estadístico	Tipo de tramo de conexión virtual			
	Nacional		Internacional	
	A	B	A	B
Media (ms)	500 + *Z*	800 + *Z*	110	800
95% (ms)	750 + *Z*	1050 + *Z*	110	900

Los valores definidos consisten en valores de la media y la probabilidad del 95%. La media es el valor esperado de la distribución de los retardos de indicación de liberación, excluyéndose los valores que rebasan un máximo especificado del retardo de indicación de liberación. El valor de probabilidad del 95% es el valor que no es rebasado por el 95% de los retardos de indicación de liberación. Las tentativas de liberación de la llamada que no son completadas no se tienen en cuenta y se tratan separadamente en la Recomendación X.136.

En el cuadro 10/X.135, el valor de *Z* depende de la velocidad de señalización de la sección de circuito de acceso incluida en el tramo nacional. En el cuadro 11/X.135 figuran los valores de *Z* para las clases de servicio de usuario 8 a 11 de la Recomendación X.1[12)].

Los valores de *Z* para otras velocidades de señalización se pueden calcular mediante la fórmula:

$$Z = 80/R \text{ ms},$$

donde *R* es la velocidad de señalización en kbit/s[13)].

CUADRO 11/X.135

Valores de Z para el cuadro 10/X.135

Clase de servicio de usuario X.1	*R* (kbit/s)	*Z* (Milisegundos)
8	2,4	34
9	4,8	17
10	9,6	9
11	48,0	2

12) Estos valores de *Z* no tienen por finalidad representar el retardo de la sección de circuito de acceso, pues no incluyen los tiempos de propagación, los retardos de multiplexación, ni los efectos de la retransmisión.

13) La fórmula supone que la transferencia de cada paquete de liberación de llamada a través de una sección de circuito de acceso entraña la transmisión de 10 octetos: 5 octetos de tara a nivel de trama, y 5 octetos de información de encabezamiento de paquete.

Se tiene el propósito de que los valores del retardo de indicación de liberación definidos en el cuadro 10/X.135 se utilicen como valores del caso más desfavorable para la planificación de los servicios internacionales de comunicación de datos con conmutación de paquetes. La característica de retardo que efectivamente se obtenga en un tramo de una conexión virtual dependerá de muchos factores entre los cuales está el tráfico esperado y el efectivamente ofrecido, la topología de la red interna y las velocidades de señalización en las secciones de circuito interredes. Para cada factor, toda variación con respecto al valor del caso más desfavorable puede traducirse en una mejora del comportamiento.

El valor medio global del retardo de indicación de liberación para un conjunto de tramos concatenados de una conexión virtual puede calcularse directamente por la suma de las medias de los distintos tramos indicados en el cuadro 10/X.135. El método para calcular un objetivo global de la probabilidad del 95% del retardo de indicación de liberación para un conjunto de tramos concatenados de una conexión virtual partiendo de los valores de probabilidad del 95% de cada uno de los tramos se describe en el anexo C.

ANEXO A

(a la Recomendación X.135)

Factores que deben especificarse para describir el comportamiento con respecto al caudal

La capacidad de caudal que puede obtenerse en una sección de una conexión virtual se ve afectada por muchos factores, a saber:

A.1 *Velocidades de señalización*

La elección de las velocidades de señalización en las secciones de circuito limita el caudal. En general, las velocidades de señalización elevadas aumentan el caudal.

A.2 *Ventanas de interfaz*

La elección del tamaño de la ventana influye en el caudal. En general, un mayor tamaño de la ventana aumenta el caudal. Para un caudal máximo, cada tamaño de ventana controlable por el usuario debe optimizarse con respecto a los tiempos de propagación (retardos) y las velocidades de retransmisión.

A.3 *Longitud de paquete*

La elección de la longitud de paquete influye en el caudal. En general, una mayor longitud de los paquetes aumenta el caudal. Para un caudal máximo, las longitudes de los paquetes deben optimizarse con respecto a las características de error conocidas de los enlaces de acceso.

A.4 *Conexiones virtuales adicionales*

El caudal de una conexión virtual probada depende del número de conexiones virtuales adicionales y de la carga en cada sentido de transmisión, en cada conexión. El caudal por conexión virtual disminuye cuando aumenta el número de conexiones virtuales adicionales o aumenta la carga en las conexiones individuales. Cuando se indica la capacidad de caudal de un tramo de una conexión virtual, debe especificarse el número de conexiones virtuales activas adicionales en las secciones de circuito de acceso. Se debe indicar también el caudal total en cada sentido de transmisión de esas conexiones virtuales. Se debe expresar, por ejemplo:

> «La capacidad de caudal de una conexión virtual en este tramo internacional es de por lo menos 1,2 kbit/s. Debe haber, como máximo, 4 conexiones virtuales adicionales que transmitan en el mismo sentido y al mismo caudal.»

A.5 *Hora del día*

Cuando se mide el caudal se supone que las cargas de muchos componentes de la conexión no pueden ser controladas ni observadas por el usuario. Sin embargo, se supone que esas cargas están correlacionadas con la hora del día, el día de la semana, y el hecho de que el día en cuestión sea un día festivo. Por tanto, los usuarios pueden mejorar su caudal transmitiendo a determinadas horas o en ciertas oportunidades.

A.6 *Sentido de transmisión*

Si el sentido de transmisión afecta a la capacidad de caudal, deberá precisarse cuando se indique la capacidad de caudal. Cuando no se precise, se supondrá que es la misma en ambos sentidos de transmisión.

A.7 *Clase de caudal*

Los esquemas internos de la red para las ventanas y los acuses de recibo pueden o no depender de la clase de caudal solicitada o establecida por defecto para una conexión virtual. Para un caudal máximo, y cuando se mide la capacidad de caudal, la clase de caudal para la conexión virtual debe fijarse a la máxima permitida por la sección que se mide. Como la clase de caudal óptima es siempre la máxima permitida, al indicar la capacidad de caudal no es necesario especificar explícitamente la clase de caudal.

A.8 *Uso del bit D*

Si el bit *D* se pone a 1 durante una medición del caudal, debe comunicarse esta circunstancia. En caso contrario, no es necesario indicar su valor.

A.9 *Tiempo de propagación*

El caudal y el tiempo de transferencia de paquetes de datos están relacionados. Si el caudal se especifica para una determinada limitación con respecto al retardo será necesario informar sobre el retardo.

A.10 *Informe sobre la capacidad de caudal*

En los informes sobre la capacidad de caudal deben especificarse los valores de los factores controlables que entraron en juego durante la medición de la capacidad de caudal. Deberán incluirse en el informe todos los factores enumerados en este anexo, a menos que se especifique otra cosa. Un informe típico podría especificar las condiciones de la manera siguiente:

> «Para esta conexión, la capacidad de caudal de la red es de 4,1 kbit/s por lo menos. La capacidad se midió utilizando dos secciones de circuito de acceso a 9,6 kbit/s, tamaños de ventana en la capa enlace de datos de 7, tamaños de ventana en la capa paquete de 2, y campos de datos de usuario de 128 octetos. No había conexiones virtuales adicionales en las secciones de circuito de acceso. La capacidad se midió durante la hora más cargada de un día laborable. El tiempo medio de transferencia de paquetes de datos en el periodo de medición fue de 500 ms. La precisión de la medición de caudal es de ± 0,1 kbit/s.»

Este tipo de enunciado facilita la verificación de la capacidad de caudal y su comparación con las necesidades de caudal de usuarios potenciales.

ANEXO B

(a la Recomendación X.135)

Información auxiliar sobre la medición del caudal y la aplicación de valores de capacidad de caudal

En relación con la medición del caudal, debe observarse lo siguiente:

- La medición del caudal en régimen permanente debe efectuarse sobre unos 200 paquetes. Otra manera de formular esta especificación consiste en establecer un tiempo de 2 minutos para el periodo de medición $(t_2 - t_1)$.
- Cuando se mide el caudal en régimen permanente, los paquetes de datos A_1 y A_k no tienen que formar una sola secuencia completa de paquetes.
- Una forma de verificar la transferencia correcta de la secuencia de prueba en una medición del caudal en régimen permanente consiste en transferir otra secuencia completa de paquetes.
- Las mediciones relacionadas con el caudal no deben realizarse con secuencias de datos de usuarios de alta densidad de «unos» binarios, a fin de que los resultados no se vean afectados por el relleno de bits.

A continuación se describe una manera de aplicar el parámetro capacidad de caudal. En el análisis, la capacidad de caudal se utiliza para diseñar una sección de circuito internacional.

Donde:

m es el caudal promedio por llamada (para la duración de la llamada),

n es el número total de llamadas presentes en cualquier momento,

p es el número de llamadas que requieren la capacidad de caudal en todo momento,

b es la velocidad binaria de la sección de circuito interredes internacional,

T es el objetivo de capacidad de caudal de llamada.

Entonces la velocidad binaria *b* será:

$$b \geqslant (m * n) + p(T - m)$$

Los valores que efectivamente tendrán *m*, *n* y *p* pueden depender de red y reflejar básicamente la población de las velocidades de las líneas de acceso y sus características de tráfico. Por consiguiente, se recomienda elegir un valor de *b* que sea considerablemente mayor que el valor de (*m* ∗ *n*). El número de canales lógicos asignados a los enlaces interredes internacionales deberá depender de la relación entre los valores de *b* y *m*.

ANEXO C

(a la Recomendación X.135)

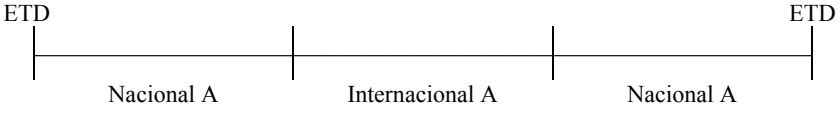
Comportamiento representativo con respecto a la velocidad de servicio de extremo a extremo

En este anexo se presentan dos ejemplos para ilustrar cómo puede estimarse el comportamiento de velocidad de servicio de extremo a extremo (de ETD a ETD) a partir de los valores de funcionamiento de cada tramo de una conexión virtual especificados en la Recomendación X.135. Se definen dos concatenaciones de ejemplo de tramos de conexión virtual de tipo A y de tipo B. Se calculan para cada ejemplo el tiempo de establecimiento de la llamada, el tiempo de transferencia de paquetes de datos, la capacidad de caudal y el retardo de indicación de liberación, de extremo a extremo. Aunque son posibles otros modelos de red y otras hipótesis estadísticas, los métodos presentados en este anexo ofrecen una manera práctica de estimar el comportamiento de extremo a extremo a partir del comportamiento de los tramos de la red.

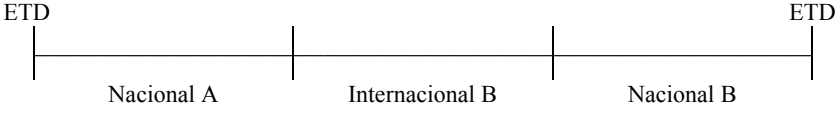
C.1 *Definición de las conexiones de extremo a extremo ilustrativas*

Para facilitar la referencia, las dos conexiones de extremo a extremo (es decir, de ETD a ETD) ilustrativas presentadas en este anexo se denominarán configuraciones «tipo 1» y «tipo 2». Estas configuraciones ficticias, pero representativas, utilizan las fronteras de distribución y los sucesos de referencia de la capa paquete descritos en la Recomendación X.134. La figura 2/X.135 muestra las fronteras de red pertinentes y el cuadro 1/X.135 define los tipos de tramos de la conexión virtual.

La configuración tipo 1 se define como sigue:



La configuración tipo 2 se define como sigue:



C.2 *Comportamiento con respecto a la velocidad de servicio de extremo a extremo para los ejemplos de configuración de tipo 1 y tipo 2*

Se han calculado los valores del comportamiento con respecto a la velocidad de servicio de extremo a extremo para las configuraciones de las conexiones de ejemplo tipo 1 y tipo 2 y se muestran a continuación en los cuadros C-1/X.135 y C–2/X.135. Estos cálculos se han efectuado aplicando los métodos derivados en el § C.3 a cada tramo de red que, por conveniencia al definir estos ejemplos, están caracterizadas por los valores del caso más desfavorable del comportamiento con respecto a la velocidad de servicio, especificados en la Recomendación X.135.

El comportamiento de extremo a extremo con respecto al tiempo medio de establecimiento de la llamada, el tiempo medio de transferencia de paquetes de datos y el retardo medio de indicación de liberación se calculan sumando sencillamente los tiempos medios asociados con cada tramo apropiado de la red.

Ejemplo – Para la configuración tipo 1, el tiempo medio de establecimiento de la llamada de extremo a extremo en milisegundos se calcula haciendo referencia al cuadro 3/X.135 y sumando los valores medios para los tipos de tramos nacional A e internacional A:

$$(1000 + X) + (250) + (1000 + X) = 2250 + 2 * X.$$

El comportamiento de extremo a extremo con respecto al tiempo de establecimiento de la llamada, el tiempo de transferencia de paquete de datos y el retardo de indicación de liberación del percentil 95 pueden determinarse suponiendo (véase el § C.3) que la varianza del retardo de extremo a extremo es la suma de las varianzas de los retardos de cada tramo de red.

Ejemplo – Para la configuración tipo 1, haciendo referencia al cuadro 3/X.135 y a § C.3, el valor del percentil 95 para el tiempo de establecimiento de la llamada de extremo a extremo en milisegundos es:

$$(2250 + 2 * X) + [((1500 + X) - (1000 + X))^2 + ((250) - (250))^2 + ((1500 + \mathrm{X}) - (1000 + X))^2]^{0,5}$$
$$= 2957 + 2 * X.$$

El comportamiento de extremo a extremo para la media y el percentil 95 con respecto a la capacidad de caudal se determina suponiendo que:

1) el caudal de extremo a extremo en cualquier momento dado es el mínimo considerado en todos los tramos individuales de la red; y
2) el caudal de cada tramo de red es una variable aleatoria independiente y distribuida normalmente. En el § C.3 se derivan fórmulas que combinan las distribuciones de probabilidad individuales que se superponen para dar la distribución de la capacidad de caudal de extremo a extremo.

Ejemplo – Los cálculos numéricos de la media y del percentil 95 de las capacidades de caudal de extremo a extremo para las configuraciones tipo 1 y tipo 2 se presentan como ejemplos en el § C.3.2.

CUADRO C–1/X.135

Comportamiento con respecto a la velocidad de servicio de extremo a extremo para el ejemplo de configuración tipo 1

Estadístico	Configuración tipo 1	
	Media	Percentil 95
Tiempo de establecimiento de la llamada (ms)	2250 + 2 ∗ *X*	2957 + 2 ∗ *X*
Tiempo de transferencia de paquetes de datos (ms)	915 + 2 ∗ *Y*	1162 + 2 ∗ *Y*
Capacidad de caudal (bit/s)	1999	1800
Retardo de indicación de liberación (ms)	1110 + 2 ∗ *Z*	1464 + 2 ∗ *Z*

CUADRO C–2/X.135

Comportamiento con respecto a la velocidad de servicio de extremo a extremo para el ejemplo de configuración tipo 2

Estadístico	Configuración tipo 2	
	Media	Percentil 95
Tiempo de establecimiento de la llamada (ms)	4200 + 2 ∗ *X*	4935 + 2 ∗ *X*
Tiempo de transferencia de paquetes de datos (ms)	1950 + 2 ∗ *Y*	2284 + 2 ∗ *Y*
Capacidad de caudal (bit/s)	1797	1500
Retardo de indicación de liberación (ms)	2100 + 2 ∗ *Z*	2467 + 2 ∗ *Z*

Los parámetros *X*, *Y* y *Z* dependen de la velocidad de señalización de la sección del circuito de acceso que está comprendida en el tramo nacional. En las secciones correspondientes de la Recomendación X.135 pueden hallarse las definiciones, hipótesis pertinentes y valores para *X*, *Y* y *Z*. Como se señala en el § 4.4 de la Recomendación X.135, se supone una velocidad de señalización de 9,6 kbit/s para las secciones de circuito de acceso, para los valores del comportamiento con respecto a la capacidad de caudal del caso más desfavorable.

C.3 *Métodos para calcular las medias y los puntos del 95% de retardos y caudales de servicios con conmutación de paquetes con dos o más tramos concatenados*

A continuación se describen los métodos utilizados para calcular la característica de velocidad de servicio de extremo a extremo a partir de los valores de funcionamiento de cada tramo de red.

C.3.1 *Retardos*

Se supone que un servicio con conmutación de paquetes tiene n tramos con retardos $d_1, d_2, \ldots, d_n$, que varían aleatoriamente con las medias $m_1, m_2, \ldots, m_n$ y los puntos del 95% $z_1, z_2, \ldots, z_n$. El retardo total $D = d_1\ d_2\ \ldots,\ d_n$ tiene una distribución cuya media se expresa por:

$$M = m_1 + m_{2+\ldots+} m_n$$

(sin otra hipótesis). A fin de obtener el punto de 95% de D, se supone que los retardos d_i son estadísticamente independientes y que $z_i = m_i\ k\sigma_i$ con la misma k para todos los tramos, donde σ_i es la desviación típica de d_i. Se supone también la misma igualdad para D, es decir, $Z = M\ k\sigma_D$, donde Z es el punto del 95% de D. Estas igualdades son válidas para distribuciones normales con $k = 1{,}645$. Así pues, la varianza de D es la suma de las varianzas de d_i. De ello se sigue que el punto del 95% de D viene dado por:

$$Z = M + [(z_1 - m_1)^2 + (z_2 - m_2)^2 + \ldots + (z_n - m_n)^2]^{1/2}.$$

La hipótesis de la normalidad parece razonable, pero son posibles otras hipótesis que podrían dar respuestas sustanciales diferentes.

C.3.2 *Caudales*

Se supone que un servicio con conmutación de paquetes tiene n tramos con caudales $T_1, T_2, \ldots, T_n$ que varían aleatoria e independientemente con medias $M_1, M_2, \ldots, M_n$ y puntos del 5% (puntos rebasados por el 95% de los valores) $Z_1, Z_2, \ldots, Z_n$. Se supone que el caudal neto del servicio es $V = \min(T_1, T_2, \ldots, T_n)$. La función de distribución acumulada (fda) de T_i es la probabilidad de que T_i sea menor o igual a cualquier valor, digamos t, y se designa por $F_i(t)$:

$$F_i(t) = \text{Prob}\,[T_i \leq\ t],\ i = 1, 2, \ldots, n.$$

La función de densidad de probabilidad (fdp) de T_i es la derivada de $F_i(t)$ y se designa por $f_i(t) = dF_i/dt$.

Para calcular la media, digamos M_{Vn} y el punto del 5%, $V_{0.05,\,n}$, del caudal neto V, en general no es suficiente considerar sólo las M_i y los Z_i del tramo; es necesario combinar todas las distribuciones $F_i(t)$ (o $f_i(t)$) para obtener la función de densidad de probabilidad de V, que se designará por $g_n(v)$. Sin embargo, en el importante caso especial en que el tramo con el caudal que suele ser más pequeño (el «tramo más lento») tenga una distribución que no es superpuesta en forma alguna por las distribuciones de los caudales mayores, entonces la distribución del caudal neto es idéntica a la del tramo más lento, que tiene la misma media y punto del 5% en particular. Si la superposición de cualquier otra distribución con la distribución del tramo más lento es despreciable, entonces puede sacarse la misma conclusión. Ulteriores ejemplos indicarán el grado de superposición que puede considerarse despreciable.

Se vuelve ahora al caso de distribuciones generales, pero con $n = 2$ en primer lugar. La integración en las dos dimensiones de (T_1, T_2) muestra que la función de densidad de probabilidad de V viene dada por:

$$g_2(v) = f_1(v)\,[1 - F_2(v)] + f_2(v)\,[1 - F_1(v)] \qquad \text{(C-1)}$$

El caudal neto medio del servicio es entonces

$$M_{V2} = \int_0^\infty v g_2(v)\,dv \qquad \text{(C-2)}$$

y el punto del 5% es el valor $V_{0{,}05,\,2}$ de modo que

$$\int_0^{V_{0,05,\,2}} g_2(v)\,dv = 0{,}05. \qquad \text{(C-3)}$$

Si $f_1(t) = f_2(t)$, on a:

$$g_2(v) = 2f_1(v)\,[1 - F_1(v)]. \qquad \text{(C–4)}$$

Se supone ahora que las distribuciones de caudal de los tramos son normales y que están suficientemente concentradas de modo que la cola de la distribución normal ajustada a la izquierda de cero es despreciable (supuesto que es válido para todos los valores numéricos en la Recomendación X.135). La hipótesis se expresa en términos de la función de densidad de probabilidad φ (*u*) función de distribución acumulada Φ(*x*) normales típicas.

$$\varphi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\, e^{-u^2/2},\ \Phi(x) = \int_{-\infty}^{x} \varphi(u)\, du. \qquad \text{(C-5)}$$

Entonces

$$f_i(t) = \frac{1}{\sigma_i}\, \varphi\left(\frac{t - M_i}{\sigma_i}\right),\ F_i(t) = \int_{-\infty}^{t} f_i(y)\, dy \qquad \text{(C-6)}$$

donde la desviación típica $\sigma_i = (M_i - Z_i)/1{,}64485$. En el caso que $f_1(t) = f_2(t)$, entonces

$$g_2(v) = \frac{2}{\sigma_1}\, \varphi\left(\frac{v - M_1}{\sigma_1}\right)\left[1 - \Phi\left(\frac{v - M_1}{\sigma_1}\right)\right]. \qquad \text{(C-7)}$$

Se considera ahora el caso n = 3. La función de la densidad de probabilidad $g_3(v)$ de $V_3 = \min(T_1, T_2, T_3)$ puede obtenerse por iteración sobre la distribución de $V_2 = \min(T_1, T_2)$ puesto que $V_3 = \min(V_2, T_3)$. De ahí que:

$$g_3(v) = g_2(v)\,[1 - F_3(v)] + f_3(v)\,[1 - G_2(v)] \qquad \text{(C–8)}$$

donde $g_2(v)$ viene dado por (C–1) y $G_2(v)$ es su integral indefinida,

$$G_2(v) = \int_{0}^{v} g_2(x)\, dx. \qquad \text{(C-9)}$$

Si las tres fdp $f_i(t)$ son idénticas, entonces $g_3(v)$ se simplifica a

$$g_3(v) = 3f_1(v)\,[1 - F_1(v)]^2. \qquad \text{(C–10)}$$

Se suponen ahora distribuciones normales e idénticas. Entonces, a partir de (C–5), (C–6) y (C–10),

$$\begin{aligned} M_{V3} &= \int_{0}^{\infty} v g_3(v)\, dv \\ &= M_1 + 3\sigma_1 \int_{-\infty}^{\infty} u\,\varphi(u)\,[1 - \Phi(u)]^2\, du \\ &= M_1 - 3\sigma_1 \int_{0}^{\infty} u\,\varphi(u)\,[2\,\Phi(u) - 1]\, du \\ &= M_1 - \sigma_1 K_3, \end{aligned} \qquad \text{(C-11)}$$

donde $K_3 = 0{,}8463$ por Teichroew (1956). De manera similar

$$V_{0{,}05,\,3} = M_1 + \sigma_1\, U_{0{,}05,\,3}, \qquad \text{(C–12)}$$

donde

$$3 \int_{-\infty}^{U_{0,05,3}} \varphi(u)\,[1 - \Phi(u)]^2\,du = 0{,}05. \qquad \text{(C-13)}$$

Por integración

$$\Phi(-U_{0,05,3}) = 1 - 0{,}095^{1/3} = 0{,}016952. \qquad \text{(C-14)}$$

Por consiguiente, utilizando cualquier tabla de distribución normal acumulada, $U_{0,05,3} = 2{,}121$.

Ejemplo 1 – Calcúlese la media y el percentil 95 de caudales netos suponiendo que hay tres distribuciones de tramos idénticas y normales con $M_1 = M_2 = M_3 = 2000$ bit/s y $Z_1 = Z_2 = Z_3 = 1800$ bit/s. Entonces $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 2000/1{,}645 = 121{,}6$ bit/s. A partir de (C–11):

$$M_{V3} = 2000 - 121{,}6 \times 0{,}8463 = 1897 \text{ bit/s.}$$

De (C–12) y (C–14)

$$V_{0,05,3} = 2000 - 121{,}6 \times 2{,}121 = 1742 \text{ bit/s.}$$

Ejemplo 2 – Considérese la configuración tipo 1. Según el cuadro 8/X.135, $M_1 = M_2 = 3000$ bit/s, $M_3 = 2000$ bit/s, $Z_1 = Z_2 = 2400$ bit/s, $Z_3 = 1800$ bit/s. Con distribuciones normales hay una superposición ligera pero probablemente despreciable de los caudales mayores con el caudal menor; la probabilidad de que el caudal nacional sea menor o igual al punto 5% *superior* del caudal internacional, 2200 bit/s, es 0,014. Por tanto, al menos aproximadamente $M_{V3} = M_3 = 2000$ bit/s, $V_{0,05,3} = Z_3 = 1800$ bit/s.

Esto puede comprobarse mediante integración numérica. Como esto se planteará en otras aplicaciones, a continuación se dan fórmulas generales. Cuando $f_1(v) = f_2(v)$, $G_2(v)$ en (C–9) se convierte en:

$$G_2(v) = 2F_1(v) - [F_1(v)]^2.$$

Cuando las distribuciones son también normales de (C–8) y (C–5) se sigue que

$$g_3(v) = \left[1 - \Phi\left(\frac{v - m_1}{\sigma_1}\right)\right]\left\{\frac{2}{\sigma_1}\varphi\left(\frac{v - m_1}{\sigma_1}\right)\left[1 - \Phi\left(\frac{v - m_3}{\sigma_3}\right)\right] + \frac{1}{\sigma_3}\varphi\left(\frac{v - m_3}{\sigma_3}\right)\left[1 - \Phi\left(\frac{v - m_1}{\sigma_1}\right)\right]\right\}. \qquad \text{(C-15)}$$

Por consiguiente, el caudal medio para una red de tres tramos con dos tramos idénticos es, con el cambio de la variable $u = (v - m_1)/\sigma_1$,

$$M_{V3} = \int_{-\infty}^{\infty} (m_1 + \sigma_1 u)[1 - \Phi(u)]\left\{Z\varphi(u)\left[1 - \Phi\left(\frac{m_1 - m_3 + \sigma_1 u}{\sigma_3}\right)\right] + \frac{\sigma_1}{\sigma_3}\varphi\left(\frac{m_1 - m_3 + \sigma_1 u}{\sigma_3}\right)[1 - \Phi(u)]\right\} du. \qquad \text{(C-16)}$$

Esto puede integrarse numéricamente utilizando una calculadora de bolsillo y las *tablas de funciones de probabilidad normal* de «National Bureau of Standards» (Oficina Nacional de Normas). Como estas tablas dan la integral de $\varphi(u)$ de $-x$ a x, es decir $S(x)$, y no $\Phi(x)$, se hace la siguiente sustitución en (C–16) (en tres lugares):

$$1 - \Phi(u) = \begin{cases} [1 - S(u)]/2 & \text{si } u \geqslant 0 \\ [1 + S(|u|)]/2 & \text{si } u < 0 \end{cases} \qquad \text{(C-17)}$$

En el ejemplo 2, (C–16) se convierte en

$$\frac{2M_{V3}}{\sigma_1} = \int_{-\infty}^{\infty} (8{,}225 + u)\,[1 \pm S(|u|)]\,\{\varphi(u)[1 \pm S(|8{,}225 + 3u|)]$$

$$+ 1{,}5\,\varphi\,(8{,}225 + 3u)[1 \pm S(|u|)]\}\,du.$$

Efectuando una integración numérica con $\Delta u = 0{,}1$ y la regla trapezoidal $M_{V3} = 1999{,}09$ bit/s. Con la regla de Simpson $M_{V3} = 1999{,}11$ bit/s. Por tanto, la ligera superposición de las distribuciones de los dos caudales mayores con la distribución del caudal menor reduce el caudal neto medio en menos de 1 bit/s. El efecto sobre el punto del 5% inferior será mucho menor, de modo que $V_{0{,}05,\,3} = 1800$ bit/s. Sin embargo, la comparación con el ejemplo 1 muestra que la superposición *completa* de distribuciones de tres tramos no reduce el caudal sustancialmente por debajo del de un tramo individual.

Ejemplo 3 – Considérese la configuración tipo 2. Según el cuadro 8/X.135, $M_1 = 3000$, $M_2 = 2400$, $M_3 = 1800$, $Z_1 = 2400$, $Z_2 = 2000$, $Z_3 = 1500$ (todos bit/s). Tres tramos no idénticos dan como resultado una integral sustancialmente más complicada que (C–16). Podrá programarse en un computador, pero esto no es necesario debido a que puede obtenerse una cota firme sustituyendo el tramo más rápido por uno idéntico al siguiente tramo más rápido y utilizando (C–16). Haciendo esto con $\Delta u = 0{,}1$ y la regla trapezoidal se obtiene $M_{V3} = 1794{,}4$ bit/s; la regla de Simpson, más exacta, da $M_{V3} = 1794{,}7$ bit/s. Como M_{V3} debe ser inferior o igual a $M_3 = 1800$ bit/s, el caudal medio con los tres tramos no idénticos originales está acotado 1795 y 1800 bit/s. Se estima como 1797 bit/s con un error probablemente de no más de 1 bit/s. El efecto sobre el punto 5% inferior será incluso menor; la integración numérica con $\Delta u = 0{,}1$ da $V_{0{,}05,\,3} = 1499{,}2$ bit/s cuando el tramo más rápido es sustituido por uno idéntico al siguiente tramo más rápido de modo que se estima que la red original tiene $V_{0{,}05,\,3} = 1500$ bit/s, a la unidad más próxima.

Estos ejemplos indican lo siguiente cuando la distribución del caudal más pequeño no es superpuesta considerablemente por otros, y esto se aplica cualquiera que sea el número de tramos:

Regla general – Si el caudal medio del tramo más lento es menor que la media del siguiente tramo más lento en, por lo menos, dos veces la diferencia entre la media y el percentil 95 del tramo más lento o del siguiente tramo más lento, de éstos, el que sea mayor, entonces la media y el percentil 95 del caudal de la red son iguales a los del tramo más lento (con un error despreciable). (Esta regla puede mitigarse probablemente sustituyendo «dos veces» por «1,5 veces» o suprimiendo «dos veces», sin cometer un gran error en la práctica.)

El caso de n general se considera de manera similar. Con distribuciones diferentes $f_i(t)$ la función de densidad de probabilidad $g_n(v)$ de $V_n = \min(T_1, T_2, \ldots, T_n)$ puede obtenerse por iteración a partir de $g_{n-1}(v)$:

$$g_n(v) = g_{n-1}(v)\,[1 - F_n(v)] + f_n(v)\,[1 - G_{n-1}(v)].$$

Si todas las $f_i(t)$ son idénticas, entonces

$$g_n(v) = n f_i(v)\,[1 - F_i(v)]^{n-1}.$$

Si, además se suponen distribuciones normales para $f_i(t)$, entonces el caudal neto medio es:

$$M_{Vn} = M_1 + n\,\sigma_1 \int_{-\infty}^{\infty} u\,\varphi(u)\,[1 - \Phi(u)]^{n-1}\,du,$$

$$= M_1 - n\,\sigma_1 \int_{0}^{\infty} u\,\varphi(u)\,\{\Phi^{n-1}(u) - [1 - \Phi(u)]^{n-1}\}\,du$$

$$= M_1 - K_n\sigma_1 \qquad \text{(C-18)}$$

y el punto del 5% del caudal neto es

$$V_{0,05,\,n} = M_1 - \sigma_1\,U_{0,05,\,n} \qquad \text{(C-19)}$$

donde

$$\Phi(-V_{0,05,\,n}) = 1 - 0{,}95^{1/n}. \qquad \text{(C-20)}$$

Los valores K_n y $U_{0,05,\,n}$ pueden tabularse como una función de n:

n	1	2	3	4	5
K_n	0	0,5642	0,8463	1,0294	1,1630
$U_{0,05,\,n}$	1,645	1,955	2,121	2,234	2,319

C.4 *Notas sobre hipótesis, resultados e implicaciones clave*

Para ulterior estudio.

Referencia

[1] TEICHROEW, D. (1956), Tables of expected values of order statistics and products of order statistics for samples of size twenty and less from the normal distribution, *Annals of Mathematical Statistics*, **27**, pp. 410-426, 1956.

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie B	Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
Serie C	Estadísticas generales de telecomunicaciones
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedios
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Transmisiones de señales radiofónicas, de televisión y de otras señales multimedios
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	**Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos**
Serie Y	Infraestructura mundial de la información y aspectos del protocolo Internet
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación

Impreso en Suiza
Ginebra, 2008