

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN FRAGMENTADOR CONCENTRADOR DE PAQUETES, MODELO DE CUANTO FINITO

J. VINYES SANZ, J. RIERA GARCÍA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Se propone una disciplina de concentración que fragmenta mensajes en paquetes. Los requisitos del concentrador son los siguientes: a) Prioridad para los mensajes de tráfico interactivo o transaccional y b) Tiempos de tránsito de los mensajes proporcionales a la longitud del mensaje. La disciplina propuesta es del tipo "Round-Robin" con prioridades estáticas. El tiempo de tránsito condicionado a la longitud del mensaje se obtiene mediante un análisis de cuanto finito.

A PACKET CONCENTRATOR WITH MESSAGE FRAGMENTATION, FINITE QUANTUM ANALYSIS.

Keywords: PACKET SWITCHED NETWORKS, MESSAGE CONCENTRATOR, QUEUES, ROUND-ROBIN, PRIORITIES.

1. INTRODUCCION.

1.1. MOTIVACION

Motivamos aquí el uso, en una RCP (Red de Comunicación de paquetes), de una disciplina de fragmentación de mensajes y concentración de los paquetes resultantes, que es objeto de posterior análisis. Consideramos en primer lugar los tiempos de tránsito requeridos por diferentes tipos de tráfico, en segundo lugar, el comportamiento de una RCP para esos tipos de tráfico y finalizamos discutiendo diversas alternativas de fragmentación y concentración entre las que escogemos una que se adapta a los requisitos del tráfico y el comportamiento de una RCP.

El tráfico de datos puede clasificarse /4/ en tres grupos generales: a) tráfico masivo ---- (Batch). b) tráfico transaccional (una o pocas fases de diálogo) y c) tráfico interactivo (varias fases de diálogo). El tráfico masivo se caracteriza por sus mensajes largos. Mientras que en el tráfico interactivo o transaccional predominan los mensajes cortos. Estos dos tipos de tráfico (b y c) suelen es-

tar asociados a aplicaciones en "tiempo real", requiriendo pequeños tiempos de tránsito a través de la red de comunicación. Mientras que el tráfico masivo no es muy exigente con el tiempo de tránsito.

En una RCP un mensaje sufre un tiempo de espera que es una función creciente de su longitud. Ello se debe al eventual intercalado de paquetes de otros mensajes que retrasan en cada nodo la transmisión de paquetes sucesivos de un mensaje /13/, /7/. Es decir, las prestaciones de una RCP están próximas a los requisitos sobre retardos expuestos en el apartado anterior, pues los mensajes cortos sufrirán menor tiempo de espera que los largos. Para mejorar aún más el tratamiento a los mensajes no masivos pueden establecerse clases de prioridades.

Las RCP pueden clasificarse según el tipo de acceso, en dos tipos básicos: a) interfaz tipo paquete, (p.ej. el interfaz normalizado -- x.25), cuando el abonado es el responsable de efectuar la eventual fragmentación de un

- J. Vinyes Sanz - J. Riera García
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid
Ciudad Universitaria - Madrid

- Article rebut el Setembre del 1983.

mensaje en paquetes, y b) interfaz tipo mensajes, cuando la RCP genera los paquetes ya sea al fragmentar largos mensajes recibidos con transmisión sincrónica o bien al agrupar caracteres de un mensaje recibidos arítmicamente, (p.ej. con un PAD, Packet Assembly Disassembly). Centramos nuestros intereses en dos estructuras: a) Una red jerárquica (Fig. 1^a) con un primer nivel formado por concentradores y un segundo nivel con nodos de conmutación, las fuentes de mensajes (terminales, ordenadores, ...) acceden a los concentradores a través de un interfaz de mensajes, b) Una red mononivel de nodos de conmutación, con fuentes de mensajes (procesos residentes en un ordenador anfitrión) que acceden a la red a través de una estación de transporte /17/, con interfaz de paquetes. La fragmentación de los mensajes se efectúa en el concentrador en la primera estructura y en la estación de transporte en la segunda, es evidente que ambos dispositivos realizan las mismas funciones de fragmentación de los mensajes y concentración de los paquetes resultantes; en consecuencia denominamos fragmentador-concentrador de paquetes (FCP) a tal tipo de dispositivo, para recalcar las funciones realizadas y subtraerlas de la estructura utilizada. No obstante, resaltamos que en la primera estructura el FCP recibe los mensajes a través de una línea de transmisión, mientras que con la segunda las transferencias son típicamente a través de un bus de alta velocidad.

Consideremos las dos disciplinas siguientes: a) PEPSC (Primero en entrar primero en salir, cuantificada). Cada mensaje espera su turno de transmisión, cuando le llega se trocea en paquetes que se transmiten consecutivamente a la línea (Fig. 2). De modo que entre dos paquetes sucesivos de un mensaje no puede haber un paquete de otro mensaje). En estas condiciones el tiempo medio de espera, en el FCP, de un mensaje, es independiente de su longitud. b) Cíclica. Un mensaje cuando tiene turno para transmitir puede enviar, a lo sumo, un paquete completo, tras lo cual vuelve al principio de la cola de mensajes. Con esta disciplina, cuanto mayor es la longitud de un mensaje, mayor es la probabilidad de que se intercalen paquetes de otros mensajes, y el tiempo de espera en el FCP crece con la longitud del mensaje, como ocurre en una RCP. Si existiese una relación de estricta proporcionalidad, podríamos hablar de una "tasa de retardo" tal que multiplicada por la longitud

nos proporcionase el retardo de espera. Este comportamiento es deseable, en general, pues penaliza cada mensaje proporcionalmente a su longitud, mientras que en la disciplina PEPSC, la transmisión de un mensaje largo, puede -- afectar a posteriores mensajes cortos. En con trapartida la disciplina cíclica es más compleja de realizar que la PEPSC.

Para mejorar aún más las prestaciones de los mensajes interactivos y transaccionales, podemos añadir clases de prioridad a la disciplina cíclica. De modo que esos mensajes constituyen la clase prioritaria mientras los masivos forman la clase normal. Cada vez que acaba de transmitirse un paquete, se da servicio (cíclico) a los de la clase prioritaria, salvo si está vacía, en cuyo caso se da servicio (cíclico) a los paquetes normales. Esta disciplina es la que proponemos y analizamos, pues la consideramos adecuada al comportamiento de un FCP porque da prioridad a los mensajes interactivos y transaccionales y además los mensajes de cada clase sufren un retardo proporcional a su longitud.

1.2. PRECEDENTES

La disciplina cíclica sin prioridades, (Round-Robin) ha sido objeto de una variedad de estudios para el sistema M/M/1, existen análisis de: el retardo medio /6/, la distribución del retardo /2/, el retardo medio con inclusión de tiempo de intercambio del cuanto (Swap --- time) /9/. Sakata y otros analizan la distribución del retardo para un sistema M/G/1 /18/. El caso límite en que el cuanto tiende a cero (procesador compartido-processor sharing) ha sido estudiado ya sea como caso límite de los análisis anteriores, o con un análisis específico /12/. Existe una familia de disciplinas cíclicas con prioridades (conocida generalmente por FB) que consiste básicamente en que un usuario accede a una cola y tras recibir un cuanto de servicio pasa a otra cola de menor prioridad, así un usuario (p.ej. un mensaje) pierde prioridad a medida que acumula servicio. Una descripción y bibliografía de diferentes disciplinas se incluyen en /3/ donde se efectúa un análisis de una disciplina FB generalizada. La asignación dinámica de prioridades expuesta posibilita, cuando existen diferentes clases de usuarios, que un usuario de una clase menos prioritaria reciba cuantos de servicio aun cuando existan usua--

rios más prioritarios con servicio pendiente. Por este motivo (además de por su mayor complejidad) descartamos el uso, en el FCP, de esta disciplina, puesto que deseamos absoluta prioridad para los mensajes no masivos.

L. Kleinrock analizó /10/ un procesador compartido (cuanto nulo) con prioridades. Cada clase de prioridad recibe una determinada -- fracción de la capacidad del servidor, a mayor prioridad mayor fracción. (En vez de --- equidistribuir la capacidad entre todos los usuarios como ocurre en el procesador compartido sin prioridades). Recientemente, G. Fayolle y otros /8/ han mostrado que los resultados obtenidos por L. Kleinrock son incompletos, y han revisado el análisis. Esta disciplina es fácilmente realizable, en el caso real de cuanto no nulo, bien asignando cuantos de diferente longitud a cada clase de -- usuarios, o bien si un usuario recibe varios cuantos sucesivos sin abandonar al servidor. Pero tampoco satisface esta disciplina nuestro deseo de atender con absoluta prioridad a una clase (los mensajes no masivos), puesto que usuarios menos prioritarios reciben -- servicio, a pesar de la presencia de usuarios más prioritarios.

I. Adiri /1/ analiza una disciplina con diferentes clases de prioridad (estáticas) y servicio cíclico en cada una de las clases. Esto es, la disciplina que proponemos para el FCP, con sólo dos clases de prioridad, constituye un caso particular de la analizada -- por Adiri. Recientemente se han observado -- irregularidades en el análisis de Adiri, que han sido subsanadas con la inclusión de dos nuevos componentes del retardo medio /15/.

1.3. SUMARIO.

Se analiza un fragmentador-concentrador de paquetes con dos modelos de disciplina cíclica con prioridades, el primer modelo es de -- cuanto finito, mientras que el segundo corresponde al caso límite de cuanto nulo y será desarrollado en un próximo artículo /16/. Obtenemos la expresión de los tiempos medios de -- espera condicionados a la longitud de un mensaje. Efectuamos una comparación entre los resultados de ambos análisis. Y un análisis --- cuantitativo de los resultados, con objeto de evaluar la proximidad de la disciplina propuesta al comportamiento ideal del retardo --

(proporcionalidad respecto de la longitud del mensaje.

2. DESCRIPCION DEL MODELO.

Modelamos el fragmentador-concentrador mediante un sistema de colas, M/M/1, de tamaño infinito, con un servidor (línea de transmisión) de capacidad C, bit/s. Existen dos clases de usuarios (mensajes) clase-1, prioritaria y -- clase-2, normal. Dentro de la clase-1 se da -- servicio según una disciplina cíclica (Round-Robin) con un cuanto (paquete) máximo de duración dada x_{pm1} . La disciplina en la clase-2 es también cíclica (Round-Robin) con un --- cuanto (paquete) máximo de duración dada x_{pm2} . Para cada clase, los tiempos entre llegadas -- sucesivas de usuarios, desde el exterior del sistema, son variables aleatorias independientes, idénticamente distribuidas según sendas funciones exponenciales de tasa X_1 (mensajes/s) y X_2 (mensajes/s), respectivamente. Asimismo, los tiempos de servicio de cada clase, -- son variables aleatorias, \tilde{x}_1 y \tilde{x}_2 , independientes e idénticamente distribuidas según -- sendas funciones exponenciales $B_i(x) = P(\tilde{x}_i \leq x)$ de tasas $u_i = 1/\bar{x}_i$ ($i=1,2$) respectivamente. Donde \bar{x}_i es el tiempo medio de servicio de la -- clase-1. Es decir utilizamos las hipótesis habituales de llegadas de Poisson y de longitudes de mensajes exponenciales.

Centraremos nuestro análisis en el comportamiento de los usuarios de la clase-2, dado -- que para los usuarios prioritarios, el sistema es equivalente, en cuanto a tiempos medios de espera, a un sistema Round-Robin convencional, por la propiedad sin memoria de la distribución exponencial y por tratarse de disciplinas conservadoras (work-conserving) /1/, -- salvo que en la vida media residual del usuario en el servidor, debe incluirse la influencia de los cuantos no prioritarios.

Por simplicidad denotaremos con x_{pm} (sin subíndice 2) a la duración máxima de los cuantos de la clase-2 y con \tilde{x}_p a la variable aleatoria asociada a la duración de los cuantos de la clase-2.

Los usuarios (mensajes) de la clase-2, reciben servicio en forma de cuantos (paquetes) -- de duración fija, x_{pm} , pero, el cuanto final, (último paquete de un mensaje) dura sólo lo -- necesario para completar el servicio del usua

rio. A continuaci3n analizamos la funci3n de distribuci3n $B_p(x)$, de la longitud de los -- cuantos, \tilde{x}_p .

$$B_p(x) = P(\tilde{x}_p \leq x) \tag{1}$$

La variable aleatoria, \tilde{x}_p , s3lo toma valores entre 0 y x_{pm} , por tanto:

$$B_p(x) = \begin{cases} P(\tilde{x}_p \leq x) & 0 \leq x < x_{pm} \\ 1 & x = x_{pm} \end{cases} \tag{2}$$

y para cualquier valor del entero k y en el intervalo $0 < \tilde{x}_p < x_{pm}$ por la propiedad sin memoria de la distribuci3n exponencial /11/, se verifica

$$P(\tilde{x}_p < x) = P(\tilde{x}_2 \leq k x_{pm} + x : \tilde{x}_2 > k x_{pm}) = 1 - e^{-x/u_2} \tag{3}$$

Los momentos primero y segundo de \tilde{x}_p son:

$$\bar{x}_p = \int_0^{x_{pm}} x d B_p(x) = (1 - e^{-u_2 x_{pm}}) / u_2 \tag{4}$$

$$\bar{x}_p^2 = \int_0^{x_{pm}} x^2 d B_p(x) = 2(1 - e^{-u_2 x_{pm}}(u_2 x_{pm} + 1)) / u_2^2 \tag{5}$$

Introduciendo (4) en (5) se tiene:

$$\bar{x}_p^2 = 2\bar{x}_p(\bar{x}_p - x_{pm} e^{-x_{pm} u_2}) \tag{6}$$

3. ANALISIS DE TIEMPOS MEDIOS DE ESPERA.

El tiempo medio de espera de un usuario puede descomponerse en general en tres componentes: a) el causado por el usuario presente en el servidor, en el instante de su llegada al sistema, b) el originado por los usuarios presentes en cola a su llegada y c) el causado por los usuarios llegados despu3s de 3l. Esta descomposici3n junto con un an3lisis -- desde el punto de vista de un usuario "marcado", constituyen la base del an3lisis cl3sico de sistemas de colas con prioridades /5/, /12/, (y para ciertos an3lisis de colas c3clicas (Round-Robin)). Con este m3todo se -- parte de un sistema en equilibrio, al que -- llega un usuario de una determinada clase, -- se sigue su evoluci3n en el sistema, y se ob-- tiene su tiempo medio de espera (Es decir, -- el tiempo desperdiciado en cola).

Una magnitud de inter3s para el c3lculo de los tiempos medios de espera en cola W_1 y W_2 y los tiempos medios en el sistema (cola +

servidor), $T_i = W_i + \bar{x}_i$ ($i = 1, 2$), es la vi-- da media residual.

Denominamos vida residual, r, al tiempo transcurrido desde la llegada de un usuario hasta que el usuario presente en el servidor lo --- abandona. Representamos por r_1 y r_2 a las vi-- das medias residuales de los usuarios-1 y --- usuarios-2 respectivamente, en el caso de ser-- vicio no cuantificado. Sin embargo en nuestro modelo suponemos servicio cuantificado y deno-- minamos r_p a la vida media residual de un --- cuanto (paquete) de servicio de la clase-2.

Dado un proceso de llegadas Poisson, la vida -- media residual, es igual al segundo momento -- del tiempo de servicio, dividido por el doble de su primer momento /11/.

$$r_i = \frac{\bar{x}_i^2}{2\bar{x}_i} \quad (i=1,2), \quad r_p = \frac{\bar{x}_p^2}{2\bar{x}_p} \tag{7}$$

Las esperas medias para las clases 1 y 2 es-- t3n dadas por /15/:

$$W_1 = \frac{W_0}{1-p_1} - \frac{p_2}{1-p_1} R = W_{1,PEPS} - \frac{p_2}{1-p_1} R \tag{8}$$

$$W_2 = \frac{W_0}{(1-p_1)(1-p)} + \frac{p_1}{1-p_1} R = W_{2,PEPS} + \frac{p_1}{1-p_1} R \tag{9}$$

donde:

$$\begin{aligned} - p_1 &= X_i x_i \quad (i=1,2); \quad p = p_1 + p_2 \\ - W_0 &= p_1 r_1 + p_2 r_2 \quad (p_i = X_i \bar{x}_i \quad i=1,2) \\ - R &= r_2 - r_p \end{aligned} \tag{11}$$

y utilizando (4), (6), (7) y teniendo presen-- te la propiedad sin memoria de la distribu-- ci3n exponencial $r_2 = \bar{x}_2 = 1/u_2$, obtenemos

$$R = \frac{x_{pm} e^{-x_{pm} u_2}}{1 - e^{-x_{pm} u_2} - 1} \tag{12}$$

- W_{1PEPS} y W_{2PEPS} representan las esperas me-- dias de un sistema M/M/1 convencional (PEPS no cuantificado, en cada clase) con dos cla-- ses de prioridad.

4. ANALISIS DE TIEMPOS MEDIOS CONDICIONADOS AL TIEMPO DE SERVICIO.

Observando las expresiones de las esperas W_1 y W_2 se puede comprobar que la disciplina -- propuesta cumple nuestro primer objetivo, favorecer a los usuarios-1. En este apartado efectuamos un análisis para determinar si se alcanza nuestro segundo objetivo: tiempo de espera proporcional al tiempo de servicio, - para un usuario-2. En concreto estudiaremos el tiempo medio de espera de un usuario-2, - condicionado por el tiempo de servicio requerido, $W_2(x) = (\text{tiempo medio de espera: } \bar{x}_2=x)$.

Utilizamos la técnica del usuario marcado de forma similar a los análisis clásicos de sistemas Round-Robin sin prioridades /6/, /9/. A los efectos del análisis de esperas medias de usuarios-2, el sistema propuesto es equivalente a otro sistema M/M/1 idéntico al propuesto, salvo que en la clase-1 el servicio se da con una disciplina PEPS, no cuantificada.

Sea un usuario-2 que requiere k cuantos de servicio, es decir su tiempo de servicio, x pertenece al intervalo $(k-1) x_{pm} < x \leq k x_{pm}$. Podemos descomponer el retardo en las tres componentes enunciadas en el apartado 3, pero aquí no basta analizar la evolución del sistema desde que el usuario marcado llega a la cola hasta que entra por primera vez en el servidor, sino que además hay que seguir al usuario durante las sucesivas y potenciales esperas de los (k-1) cuantos restantes. Sea W_2^1 el tiempo medio de espera desde que se ha finalizado el cuanto (i-1) hasta que se empieza a recibir el cuanto i, (i=1,...,k). Evidentemente para cualquier x dentro del intervalo $[(k-1)x_{pm}, kx_{pm}]$, $W_2(x)$ es constante, por tanto es una función escalonada, (Fig.4) que podemos poner como:

$$W_2(x) = W_{2k} = \sum_{i=1}^k W_2^i, \quad (k-1)x_{pm} < x \leq kx_{pm} \quad (13)$$

El tiempo medio de espera, W_2^1 , hasta la primera entrada al servidor está compuesto por:

- W_{op} , el retardo medio causado por el usuario en el servidor, un usuario-2 tiene que esperar o bien el fin del servicio, r_1 , de un usuario-1, o bien el fin del cuanto, r_p , de un usuario-2, por tanto y en virtud de la

independencia de los tiempos de servicio, y utilizando la propiedad sin memoria de los usuarios-2, obtenemos:

$$W_{op} = P_1 r_1 + P_2 r_p \quad (14)$$

- $Q_1 \bar{x}_1$ y $Q_2 \bar{x}_p$, los retardos causados por los usuarios-1 y usuarios-2, respectivamente, siendo $Q_2 = X_i W_i^1$ (i = 1,2), las longitudes medias en equilibrio, de las colas de ambas clases de usuarios.

- $X_1 W_2^1 \bar{x}_1$ el retardo causado por los usuarios-1, llegados durante la primera espera, W_2^1 , del usuario marcado, que reciben servicio antes que él, y son, por término medio, $X_1 W_2^1$. Sumando estas contribuciones obtenemos:

$$W_2^1 = W_{op} + Q_1 \bar{x}_1 + Q_2 \bar{x}_p + P_1 \cdot W_2^1 \quad (15)$$

El tiempo medio de espera hasta la segunda entrada al servidor está compuesto por: ---- $S_2 \bar{x}_p$, la contribución de un eventual usuario-2, presente en el servidor en el instante de llegada del marcado, S_2 es la probabilidad de que el servidor esté ocupado por un usuario-2 y se reincorpore a la cola después de recibir un cuanto máximo x_{pm} ; d.Q. \bar{x}_p , la contribución de los usuarios-2, que estaban en cola cuando llegó el marcado y se han --- reincorporado a la cola tras recibir su cuanto, d es la probabilidad de que un usuario-2 no abandone el sistema tras recibir un cuanto de servicio; $X_2(W_2^1 + x_{pm})\bar{x}_p$, la contribución de los usuarios-2, llegados durante el tiempo de espera y servicio, $W_2^1 + x_{pm}$, del primer cuanto del usuario marcado; $X_1(W_2^2 + x_{pm})x_1$, el retardo medio causado por los usuarios-1 llegados durante el servicio, x_{pm} , del primer cuanto y la espera, W_2^2 , del segundo cuanto del usuario marcado.

Sumando estas contribuciones obtenemos el retardo medio del segundo acceso al servidor:

$$W_2^2 = S_2 \cdot \bar{x}_p + C_2 \cdot \bar{x}_p + X_1 \bar{x}_1 (W_2^2 + x_{pm}) \quad (16)$$

Donde:

$$C_2 = X_2 (W_2^1 + x_{pm}) + dQ_2 \quad (17)$$

representa el número medio de usuarios-2 (diferentes al que eventualmente ocupaba el ser-

vidor en el instante de llegada) que retrasan al usuario marcado, en su segundo acceso al servidor.

Despejando W_2^2 en la expresión (16) tenemos:

$$(1-p_1) W_2^2 = (S_2+C_2)\bar{x}_p + p_1 x_{pm} \quad (18)$$

Siguiendo razonamientos análogos a los del cálculo de W_2^2 , podemos analizar W_2^j el retardo experimentado en el j-simo acceso del usuario marcado, al servidor, cuya expresión generalizamos a partir de (18) y (17):

$$(1-p_1) W_2^j = (S_j+C_j)\bar{x}_p + p_1 x_{pm} \quad (2 < j \leq k) \quad (19)$$

Donde

$$C_j = X_2(W_2^{j-1} + x_{pm}) + dC_{j-1} \quad (2 \leq j \leq k) \quad (20)$$

y

$$C_1 \doteq Q_1$$

y

$$S_j = dS_{j-1} \quad (3 \leq j \leq k) \quad (21)$$

Efectuando la suma expresada por (13) obtenemos W_{2k} , la espera media de un usuario que requiere k cuantos de servicio:

$$(1-p_1) W_{2k} = W_{op} + Q_1\bar{x}_1 + Q_2\bar{x}_p + x_{pm} \left(\sum_{j=2}^k (C_j+S_j) \right) + (k-1)p_1 x_{pm}$$

y aplicando la relación de Little, $Q_i = X_i \cdot W_i$, ($i = 1, 2$):

$$(1-p_1) W_{2k} = W_{op} + p_1 W_1 + X_2 W_2 \bar{x}_p + \bar{x}_p \left(\sum_{j=2}^k (C_j+S_j) \right) + (k-1)p_1 x_{pm} \quad (22)$$

La suma de los términos (C_j+S_j) se obtiene tras unos sencillos cálculos /14/:

$$\sum_{j=2}^k (C_j+S_j) = \frac{1}{(1-b)} \left((1-b^{k-1})(C_2+S_2 - \frac{a}{(1-b)}) + (k-1)a \right)$$

con

$$b = \frac{p_2+d(1-p)}{(1-p_1)} \quad y \quad a = \frac{X_2 x_{pm}}{1-p_1}$$

Los valores de d (la probabilidad de que un usuario-2, después de recibir un cuanto de servicio se reincorpore a la cola) y de S_2 (la probabilidad de que un usuario-2 ocupe el

servidor, en el instante de llegada del marcado, y se reincorpore a la cola) se obtienen después de algunos cálculos /14/:

$$d = e^{-u_2} x_{pm} \quad y \quad S_2 = X_2 x_{pm} d / (1-d) = X_2 R$$

Para la obtención de las expresiones de los tiempos medios de espera previa al servicio de cada cuanto, W_2^j ($j=1, \dots, k$), así como de la expresión (13) de la espera media condicionada, $W_2(x)$, se han utilizado, implícitamente, las siguientes propiedades de los procesos de llegada y de servicio: tiempos de servicio independientes para cada usuario, tiempos de servicio exponencialmente distribuidos, para los usuarios-2 e independencia de los tiempos entre llegadas sucesivas.

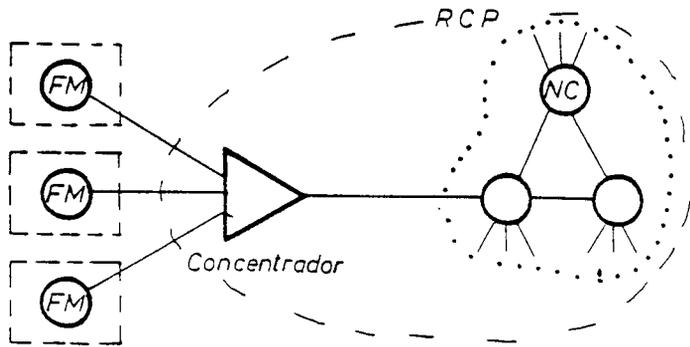
A partir de la expresión (22), observamos que la espera condicionada, W_{2k} , está compuesta por un término proporcional a $(k-1)x_{pm}$, un término proporcional a $(1-b^{k-1})$ y un término que no es función de k. Si efectuamos el desarrollo en serie de Taylor de b^{k-1} y tomamos sólo el término en b, y despreciamos los de órdenes superiores, (dado que puede comprobarse que $b < 1$, /14/, la expresión (22) se reduce a un término proporcional a $(k-1)x_{pm}$, y un término independiente de k:

$$W_{2k} = A(k-1)x_{pm} + B \quad (23)$$

Si el cuanto, x_{pm} , es de pequeña duración, podemos escribir

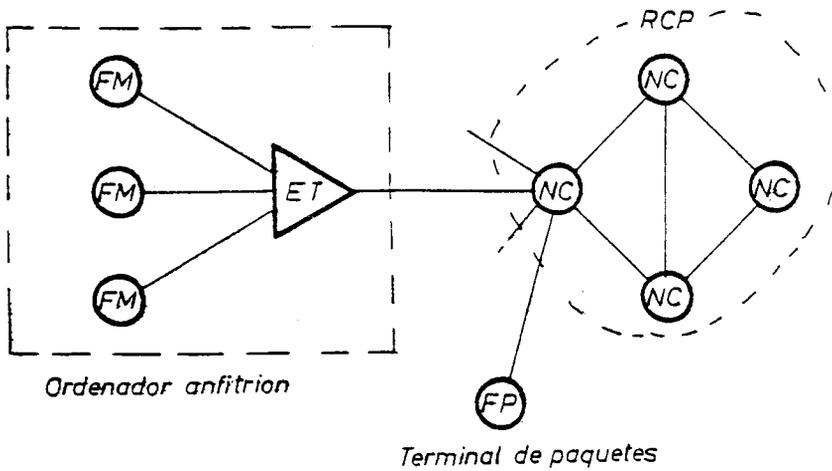
$$W_2(x) = A \cdot x + B \quad (24)$$

Por tanto la espera condicionada, $W_2(x)$, consta de un término proporcional al servicio requerido x, y de un término independiente de x. Las expresiones de A y B constan de diferentes componentes y es difícil efectuar un análisis del comportamiento de $W_2(x)$, con el fin de observar en que condiciones predomina el factor A.x. Es decir, en que condiciones el sistema está cercano al comportamiento ideal: espera proporcional al servicio. En consecuencia abordaremos en un próximo artículo /16/ un análisis de un modelo aproximado (nula duración del cuanto) que proporciona resultados mucho más compactos, y que serán comparados cuantitativamente con los obtenidos al evaluar la expresión (22).



a) Red jerarquica con interfaz de mensajes

ET — Estacion de transporte
FM — Fuente de mensajes
FP — Fuente de paquetes.
NC — Nodo de conmutacion



b) Red no jerarquica con interfaz de paquetes

Fig. 1. Acceso a una RCP desde una fuente de mensajes.

Paquetes en línea correspondientes a dos mensajes A y B con cinco y dos paquetes, respectivamente.

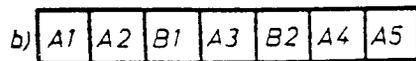
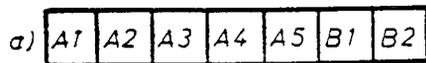


Fig. 2. Fragmentación de mensajes en paquetes

- a) disciplina PEPS
- b) disciplina cíclica

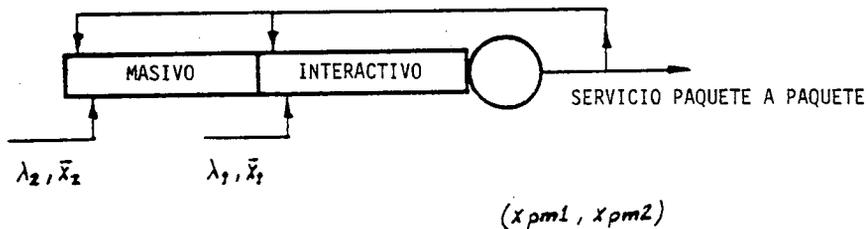


Fig. 3. Concentrador con disciplina Round-Robin y dos clases de prioridades.

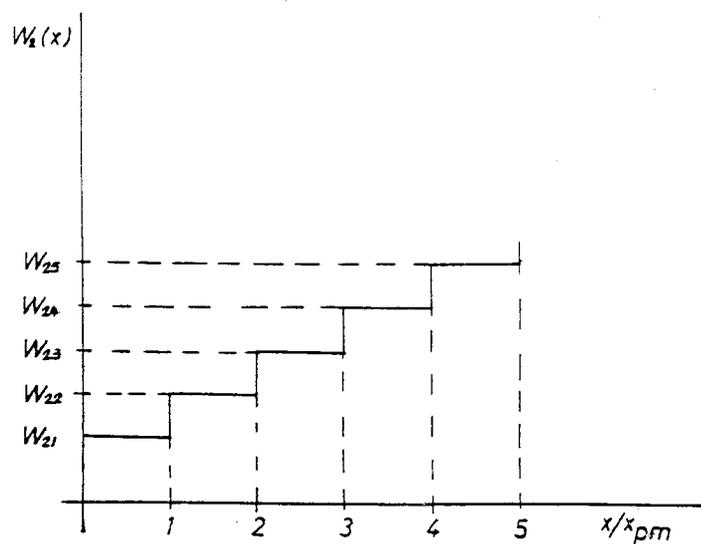


Fig. 4. Espera condicionada a la longitud de servicio

5. BIBLIOGRAFIA.

- /1/ I. ADIRI, "Computer - Sharing Queues with Priorities", JACM, Vol. 16 n.º 4, Octubre 1969, pg. 631-645.
- /2/ I. ADIRI, B. AVI-ITZHAK, "A Time-Sharing Queue", Management Science, Vol. 15 n.º 11, Julio 1969, pg. 639-657.
- /3/ J. BABA, "A Generalized Multi-entrance - Time-Sharing Priority Queue", JACM, - Vol. 22 n.º 2, Abril 1975. pg.232-247.
- /4/ P. BOCKER, V. THOMANEK, " Current and future Problems in Packed Switching Concepts", Conference Record ICC 79, Junio 1979, pg. 20.7.1-20.7.5.
- /5/ A. COBHAM, "Priority Assignment in Waiting Line Problems", Operations Research vol. 2, 1954 pg. 70-76.
- /6/ E. COFFMAN, L. KLEINROCK, "Freedback Queueing Models for T-S Systems", JACM, Vol. 15, n.º 4, Oct. 1968, pg. 549-576.
- /7/ J. CHAMMAS, "Response Times over Packet Switched Networks-some Performance --- Issues",ICCC82, London, September 1982 pg. 993-998.
- /8/ G. FAYOLLE y otros, "Sharing a Processor Among Many Job Classes", JACM, Vol. 27 n.º 3, Julio 1980,pg. 519-552.
- /9/ H. HEACOX, "Analysis of two T.S. Queueing Models", JACM, Vol. 19 n.º 1, Enero 1972 pg. 70-91.
- /10/ L. KLEINROCK, "Time Shared Systems: A - Theoretical Treatment", JACM, Vol. 14, n.º 2, Abril 1967, pg. 242-261.
- /11/ L. KLEINROCK, "Queueing Systems", Vol.I Theory, J. Wiley, New-York, 1975.
- /12/ L. KLEINROCK, "Queueing Systems" Vol.II Computer Applications, J. Wiley, New-York 1976.
- /13/ H. MIYAHARRA y otros, "Delay and ----- Throughput Evaluation of Switching --- Methods in Communications Networks" IEEE Transactions on Communic. Vol. COM-26 n.º 3, Marzo 1978, pg.337-344.
- /14/ J. VINYES, "Contribución al análisis y modelado de Redes de Conmutación de Paquetes", Tesis Doctoral. ETSI. Telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid. Octubre 1980.
- /15/ J. VINYES, J.B. RIERA, "Análisis del -- Comportamiento de un Sistema de Tiempo Compartido con Prioridades". CIL 83. Barcelona, Junio 1983.
- /16/ J. VINYES, J.B. RIERA, "Análisis del -- Comportamiento de un Fragmentador-Concentrador de Paquetes". Modelo de Cuanto Nulo". QUESTIIO, V. 7 N.º 3.
- /17/ H. ZIMMERMANN, "High Level Standardization: Technical and Political Issues", Proceedings ICC 76, Agosto 1976, pg.373-376.
- /18/ M. SAKATA at. alt., "An Analysis of the M/G/1 Queue under Round-Rubin Scheduling". Operations Research, Vol. 19, 1971, pg. 371-385.