DISEÑO MATEMATICO DE UN ISP

Ing. Alexis Barreto M.
Escuela Politécnica Nacional

Ing. Pablo Hidalgo
Escuela Politécnica Nacional

RESUMEN

En este trabajo se desarrolla una metodología que permite el dimensionamiento aproximado del número y capacidad de los enlaces que un ISP (*Internet Service Provider*) requiere para su adecuado funcionamiento. El método planteado puede ser aplicado a un ISP que se conecte a un NAP (*Network Access Provider*) o a un ISP de jerarquía superior mediante enlaces satelitales geoestacionarios y que brinde acceso a sus usuarios mediante tecnologías tales como: módem analógico, líneas dedicadas, xDSL, cable módem, etc.

ABSTRACT

This work presents a methodology that allows the approximated dimensioning of the number and capacity of links that an ISP (Internet Service Provider) requires to operate properly. The method here described can be applied to any ISP which connects to a NAP (Network Access Provider) or to a bigger ISP by using geostationary satellite links, and which allows their costumers access to it by using technologies such as: analog modem, leased lines, xDSL, cable modem, etc.

1. ARQUITECTURA DE UN ISP TIPICO

Un ISP (*Internet Service Provider*) es una compañía que tiene acceso a Internet y que vende su habilidad de conectarse a Internet a miembros del público general.

Las formas más comunes de conexión de un ISP hacia un proveedor superior (ISP de mayor jerarquía o NAP - *Network Access Point*) son generalmente mediante enlaces dedicados terrestres o satelitales: T1/E1, fraccionales, ISDN PRI, T3/E3, Frame Relay, ATM, etc. La capacidad y costo de este enlace son "compartidas" entre todos los usuarios del proveedor.

Un ISP típico es aquel que brinda a sus usuarios acceso mediante línea telefónica, empleando módems analógicos, y se conecta a un proveedor superior empleando líneas dedicadas T1/E1, fraccionales o superiores, alquiladas a la red telefónica pública o a un proveedor de servicios portadores.

La arquitectura y elementos empleados por un ISP típico se presentan en la figura 1.

Básicamente un ISP consiste de servidores ejecutando *software* que proveen varios servicios: *E-mail* (SMTP, POP3), HTTP, FTP, DNS, IRC, etc. También incluye ruteadores que proveen conectividad al Internet o redes corporativas, y dispositivos que brinden acceso a usuarios residenciales y pequeños negocios.

Servidores: Las aplicaciones TCP/IP utilizan el modelo cliente-servidor como la base de su funcionamiento. Un ISP poseerá servidores de aplicaciones a disposición de sus usuarios (clientes).

Dependiendo de los servicios que un ISP ofrezca poseerá servidores de aplicaciones para: DNS, HTTP (Web), FTP, IRC (Chat), USENET (News), POP3, SMTP, audio/vídeo en tiempo real, comercio electrónico, etc. A más de los servidores mencionados se requerirá de servidores para autenticación/tarifación de usuarios (RADIUS o TACACS+) y de gestión de red.

En la mayoría de casos, una misma máquina (o servidor físico) puede correr simultáneamente varios servidores de aplicaciones (*software*).

Ruteador: Es el elemento más importante requerido en una conexión de un ISP hacia un ISP de jerarquía superior o NAP. Es el responsable del flujo de datagramas IP entre el ISP y el núcleo de Internet en ambas direcciones.

Su principal función es la de examinar las cabeceras IP y decidir por donde deben ser enviados los datagramas. Esta función aparentemente simple debe ser realizada a velocidades extremadamente altas por lo que es recomendado utilizar un ruteador de propósito especial, debido a que es mucho más rápido que utilizar un computador dedicado a realizar ruteo.

Para un ISP básico, el ruteador debería tener al menos dos interfaces: una para el proveedor del *backbone* y otra para la red local del ISP. Sin embargo, dependiendo del tipo de ancho de banda que soporte el ISP, el ruteador puede soportar otras interfaces, una para cada circuito de datos dedicado.

El protocolo de enrutamiento empleado en el ruteador del ISP debería ser idéntico al empleado en el ruteador del proveedor superior o NAP. Los protocolos más comunes son: RIP, OSPF y BGP-4.

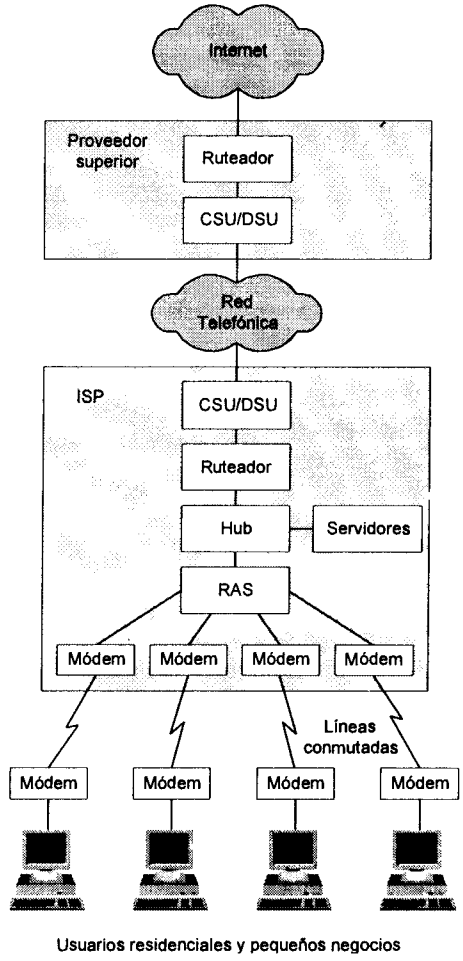

Fig. 1. Arquitectura de un ISP típico

CSU/DSU: Este dispositivo provee la interconexión entre la red LAN del ISP y la compañía telefónica o portadora, a la cual el ISP alquila un enlace digital (T1/E1, fraccional, T3/E3) hacia otro ISP superior o NAP. Aunque a menudo se lo refiere como un solo equipo brinda varias funciones:

El DSU (*Data Service Unit*) provee una interfaz digital estándar al DTE del usuario (el ruteador), generalmente compatible con V.35 y RS-449/422. El DSU convierte las tramas provenientes desde esta interfaz en tramas

multiplexadas por división en tiempo usadas en el enlace digital y viceversa.

El CSU (*Channel Service Unit*) provee la interfaz hacia la central telefónica o portadora, realiza acondicionamiento de la línea, ecualización y provee capacidades de diagnóstico. La interfaz WAN con el circuito telefónico puede utilizar un conector RJ-48C, conectores para fibra óptica, etc.

Hub: Este equipo conecta el equipo en la red local del ISP tal como ruteadores, servidores, etc., en una topología física tipo estrella. Esto ayuda en la gestión debido al hecho de que un defecto es aislado en el segmento. El tipo de *hub* depende de la red LAN que el ISP disponga, pudiendo existir *hubs* para: Ethernet/10 Base-T, Fast Ethernet, Token Ring, FDDI, y ATM. Los *hubs* más comúnmente usados son Ethernet con conectores RJ-45. Dependiendo del número de equipos en la LAN del ISP pueden requerirse varios *hubs* conectados en cascada.

Switches: En vez de un *hub* puede utilizarse un *switch*, el cual mejora el rendimiento, garantiza ancho de banda fijo para las distintas comunicaciones en la LAN, sin necesidad de compartir el ancho de banda entre todos los dispositivos en un momento conectados a la red, como lo hacen los *hubs*.

RAS: El Servidor de Acceso Remoto (RAS - *Remote Access Server*) es un dispositivo utilizado para conectar a usuarios remotos, que utilizan PCs con módems, a la LAN del ISP mediante conexiones *dial in*. Dentro de este grupo de usuarios están comprendidos los usuarios residenciales y pequeños negocios.

Un RAS, generalmente posee una interfaz LAN del tipo: 10 Base-T o Token Ring, mediante la cual se conecta al *hub/switch*, y muchos puertos seriales donde se conectan varios módems propiedad del proveedor, que terminan el enlace punto a punto con el usuario. Al conjunto de módems del proveedor se le conoce como banco de módems o *pool* de módems. Dependiendo del número de puertos seriales que disponga el RAS, será necesario tener más de uno para atender al número total de usuarios del ISP.

La principal función del RAS es la de capturar información de autenticación desde el cliente y enviarla al servidor de autenticación para aprobarla. Una vez que la autenticación es aprobada, el RAS asigna una dirección IP al cliente, empleando PPP e IPCP. La dirección IP asignada puede basarse en un nombre de usuario o puede ser asignada dinámicamente a partir de un conjunto de direcciones IP disponibles, configuradas en el RAS.

El RAS actúa como agente intermedio entre el cliente y un servidor de autenticación/tarifación tal como RADIUS o TACACS+. El RAS para realizar sus funciones soporta gran cantidad de los protocolos del *stack* TCP/IP, tales como: PPP, SLIP, MP-PPP, SNMP, ARP, *proxy* ARP, IP, ICMP, TCP, UDP, TFTP, BOOTP, TELNET, compresión de cabeceras de Van Jacobson, etc. Un RAS puede ser administrado y configurado desde cualquier estación de trabajo de la LAN del ISP.

Para los usuarios corporativos que requieren conexiones dedicadas de alta velocidad: enlaces T1/E1, fraccionales T1/E1, ISDN PRI, la manera usual de establecer la conexión con un ISP es utilizar ruteadores en ambos extremos del enlace dedicado (Fig. 2). El RAS no se emplea en este caso. El enlace dedicado entre el usuario y el ISP es

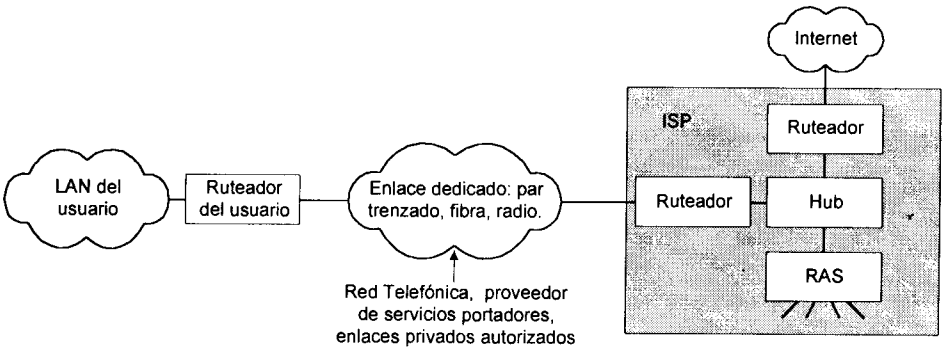

Fig. 2. Conexión de un usuario corporativo a un ISP típico usando un enlace dedicado

provisto por la compañía telefónica local, un proveedor de servicios portadores o pueden ser enlaces privados autorizados. El enlace dedicado puede ser mediante par trenzado, fibra óptica, radioenlaces, etc. Dependiendo del tipo de enlace cada ruteador se conectará a un CSU/DSU, radio módem, FRAD, etc.

Banco de Módems: Entre el RAS y las líneas telefónicas existen módems que modulan el flujo binario saliente a una portadora analógica y demodulan el flujo binario entrante desde la portadora analógica. Un RAS puede ya traer incorporados internamente tantos módems como líneas telefónicas soporte.

Líneas Telefónicas: Un ISP generalmente se conecta con la central telefónica local mediante enlaces T1/E1 y emplea servicios PBX para separar cada línea telefónica a un módem independiente. El número de enlaces T1/E1 depende de la capacidad de usuarios que el ISP vaya a soportar.

2. DIMENSIONAMIENTO DE UN ISP TIPICO

El objetivo del presente trabajo es estimar el número aproximado de líneas telefónicas y la capacidad del enlace satelital descendente y ascendente que requiere un ISP típico.

Objetivo:

Diseñar un ISP típico con capacidad para 2000 usuarios *dial-up* (28.8 kb/s) y 10 usuarios dedicados (128 kb/s). El ISP brinda servicios de HTTP, *e-mail*, FTP, DNS, PPP, ruteo estático, autenticación mediante RADIUS.

2.1 Dimensionamiento del número de líneas telefónicas necesarias para usuarios *dial-up*:

- **Método más usado:**

Se recomienda que un ISP que desee brindar un excelente servicio debe tener una relación de 10-12 usuarios por línea telefónica. Con esta relación 10:1 o 12:1 la posibilidad de que aparezcan períodos de señales de ocupación en el peor de los casos será de muy pocos minutos en la hora pico.

La relación anterior sería la más apropiada, pero un ISP podría llegar a tener 12 usuarios por línea cuando tiene más de 400 usuarios ó 15 usuarios por

línea cuando tiene más de 1000 usuarios y aún brindar un servicio catalogado como bueno. [1]

Haciendo uso de las recomendaciones anteriores, el ISP deseado debería tener según la relación que escoja:

Relación usuarios/línea		Número de línea telefónicas
10:1	2000/10	200
12:1	2000/12	167
15:1	2000/15	134

Tabla 1. Número de líneas telefónicas requeridas (Método Práctico)

- **Método Matemático:** Aplicando la teoría de tráfico telefónico:

$A = Y + R$

A= Tráfico ofrecido
Y = Tráfico cursado
R = Trafico rechazado

$C_A = C_y + C_R$

C_A = Núm. de ocup. promedio ofrecidas en la unidad de tiempo
C_Y = Núm. de ocup. promedio cursadas en la unidad de tiempo
C_R = Núm. de ocup. promedio rechazadas en la unidad de tiempo

$A = C_A . tm$
$Y = C_Y . tm$
$R = C_R . tm$

tm = tiempo promedio de ocupación

$B = C_R / C_A$

B = Pérdida

$Y = (1-B).\ A$

$C_A = C_Y/(1-B)$

Según Erlang (Erlang-B), la probabilidad de bloqueo o pérdida (B) para un sistema con arrivos randómicos desde una fuente infinita y distribución de tiempos de ocupación arbitraria es:

$$B = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{i=0}^{N} \frac{A^i}{i!}}$$

N: Número de líneas telefónicas

Según datos de ISPs reales aproximadamente el 10% del total de usuarios *dial-up* se conectan en el transcurso de la hora pico, con tiempos promedio de conexión (tm) de 30-40 minutos. Además se estima que la pérdida promedio (B) en la hora pico es inferior al 10%. Por lo tanto:

$$C_Y = \frac{2000 * 0.1}{3600\,seg} = 200 = \text{llam/hora pico}$$

$$A = C_A \frac{llam.}{hora} \cdot \frac{1}{60} \frac{\text{hora}}{\text{min}} . \text{tm} \frac{min}{llam} \text{ [Erl]}$$

Según estos datos se puede determinar el número de líneas (N) requeridas en la hora pico, para distintos valores de B, que el ISP desee brindar:

tm (min/llam.)	C_Y (llam./hora)	B	$C_A=C_Y/(1-B)$	A [Erl]	N [Líneas]
30	200	0.1 (10%)	222.22	111.11	107
30	200	0.05 (5%)	210.52	105.26	110
30	200	0.01 (1%)	202.02	101.01	119
30	200	0.001 (0.1%)	200.2	100.1	129
40	200	0.1 (10%)	222.22	148.14	140
40	200	0.05 (5%)	210.52	140.36	144
40	200	0.01 (1%)	202.02	134.68	154
40	200	0.001 (0.1%)	200.2	133.46	165

Tabla 2. Número de líneas telefónicas requeridas (Método Matemático)

2.2 Criterios para el dimensionamiento del enlace satelital desde el ISP al NAP

TCP es un protocolo orientado a la conexión que requiere acuse de recibo de los mensajes para confirmar que se hayan recibido los datos transmitidos. En caso de no recibir un acuse de recibo, se da inicio a la retransmisión de los datos no confirmados. TCP es ideal para la transmisión de aplicaciones tales como HTTP o *e-mail*, en que la correcta transmisión de la información resulta crítica. TCP es sensible al retraso puesto que necesita recibir los acuses de recibo antes de que pueda enviar datos adicionales. Esto es válido independientemente de la transmisión utilizada: fibra, cobre o satélite.

UDP es un protocolo no orientado a la conexión, que no requiere un acuse de recibo de la transmisión y por lo tanto no retransmite datos perdidos. Dado que no hay paquetes de acuse de recibo, UDP no es sensible al retraso. UDP es conveniente para las aplicaciones de audio y vídeo, tales como las conferencias por radio y vídeo de Internet, en las que es más importante una transmisión oportuna de los datos más que una transmisión libre de errores.

2.2.1 Efectos del retraso en TCP

El retraso es un factor para determinar el "*throughput*" de TCP ya que debido a la necesidad de recibir mensajes de acuse de recibo entre transmisiones subsecuentes, ésto controla la frecuencia con la que son enviados los paquetes.

La cantidad de datos enviados por TCP en un momento dado es controlada mediante el uso de una ventana deslizante.

La ventana de transmisión de un *host*, o sea la cantidad de datos que pueden transmitirse antes de ser confirmados mediante un mensaje de acuse de recibo, depende de:

- la ventana de recepción en el *host* destino, y
- la ventana de congestión de la red

La ventana de recepción del *host* destino, indica el número de bytes que dicho *host* puede recibir en la siguiente transmisión (después del acuse de recibo). Este valor viene indicado en el acuse de recibo de la transmisión anterior. Máximo puede ser de 64 KB.

La ventana de congestión de la red estima el tamaño máximo de bytes que la red

podría procesar sin que se den problemas de congestión interna en la red.

La ventana de transmisión del *host* en un momento dado será el mínimo entre la ventana de recepción del *host* destino y la ventana de congestión de la red.

Ventana de Tx = mínimo (Ventana de Rx, Ventana de Congestión)

El tamaño de la ventana de congestión de la red se incrementa mediante el algoritmo de "Comienzo Lento" detallado a continuación.

2.2.2 Algoritmo de Comienzo Lento

Cuando una conexión TCP se establece, el *host* emisor inicializa la ventana de congestión de la red al tamaño del máximo segmento en uso en esa conexión. Luego envía el primer segmento máximo. Si el segmento es acusado antes de que su respectivo contador expire, el *host* duplica el tamaño de la ventana de congestión (a dos segmentos de tamaño máximo) y procede a transmitirlos. Si los segmentos enviados son acusados positivamente, el *host* vuelve a duplicar el tamaño de la ventana de congestión (esta vez a 4 segmentos máximos). La ventana de congestión continua creciendo exponencialmente, tal como se muestra en la figura 3, hasta que un contador expire debido a que se excedió el tiempo de espera del acuse de uno de los segmentos previamente transmitidos, ó hasta que se alcance el tamaño de la ventana de recepción.

Si un contador expira (se produce un *timeout*) antes de que se alcance el tamaño de la ventana de recepción, el tamaño de la ventana de congestión quedará fijo en el tamaño inmediatamente anterior para el cual no se generaron *timeouts*. Es decir tamaño para el cual la red garantizó que no hubo congestión.

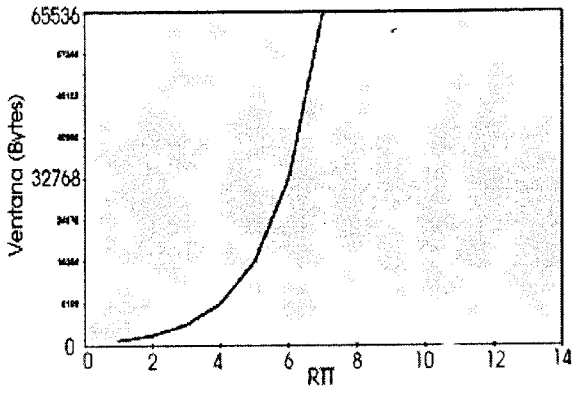

Fig. 3. Comienzo lento de TCP (Caso ideal)

El tamaño de la ventana de congestión también depende de un parámetro adicional denominado el "*Threshold*", cuyo valor inicial máximo es de 64 KB. Cuando se produce un *timeout*, el *threshold* se reduce a la mitad del valor que en ese momento tenga la ventana de congestión, y la ventana de congestión (y por lo tanto la ventana de transmisión) se resetea a un tamaño de un segmento máximo. El proceso de "Comienzo Lento" reinicia con estos nuevos valores, excepto que la ventana de congestión crece exponencialmente hasta llegar al nuevo valor de *Threshold* y a partir de ahí linealmente de segmento máximo en segmento máximo hasta que se alcance el tamaño de la ventana de recepción o hasta que un nuevo *timeout* ocurra y se repita el proceso.

Una vez que se alcance el tamaño de la ventana de recepción, el tamaño de la ventana de congestión permanecerá constante mientras no se cambie el tamaño de la ventana de recepción.

La combinación del tamaño de la ventana y el retraso determina el "*throughput*" máximo que puede alcanzarse.

En un canal ideal libre de errores y libre de congestión, el tamaño máximo de la ventana de transmisión TCP en estado estable de un *host* sería de 64 KB, lo cual resulta en un "*throughput*" máximo de 874 kb/s para enlaces satelitales, esto es 30 veces la velocidad de un módem de 28.8 kb/s.

Algunas ejecuciones de TCP utilizan tamaños de ventanas de recepción más pequeños (más comúnmente de 24.576 bytes o 32.768 bytes) y los "*throughputs*" asociados para el caso ideal se pueden ver en la figura 4.

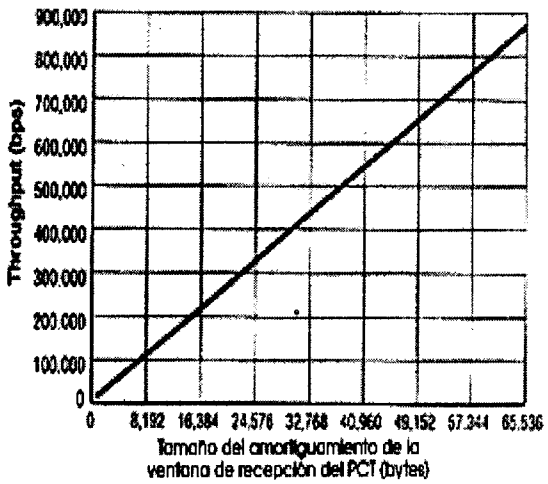

Fig. 4. *Throughput* vs. Tamaño de la ventana deslizante

El "*throughput*" se determina al considerar el tamaño de ventana máximo en bits (multiplicar el tamaño de la ventana por 8, puesto que hay 8 bits en cada byte) dividido entre 0.5 o 0.6 segundos, que es el tiempo de ida y vuelta de una red típica en la que está involucrado un satélite. El tiempo de ida y vuelta es el doble del retraso total de propagación ya que se debe cubrir el tiempo de transmisión de los datos a la estación receptora y el de transmisión de la confirmación al emisor.

La figura 4 muestra la relación entre el tamaño de la ventana de transmisión de TCP y la tasa máxima de "*throughput*". Debe enfatizarse que este "*throughput*" está asociado con una conexión única de TCP. Por ejemplo, un enlace satelital con mayor capacidad será totalmente utilizado por las múltiples conexiones simultaneas.

2.2.3 Mejora de la eficiencia del "*throughput*" de TCP

Existen algunos estándares aprobados por la *Internet Engineering Task Force* (IETF) que permiten mejorar la eficiencia del "*throughput*".

Estos son:

1) Ventanas Grandes, RFC 1323
2) Recuperación Rápida/Retransmisión Rápida, RFC 2001
3) Confirmaciones selectivas, RFC 2018

Las Ventanas Grandes es una opción que incrementa el límite de una ventana de 64 KB a 1 GB; lo que implica que en efecto, no hay un límite práctico del TCP para el "*throughput*" del satélite.

La Recuperación Rápida permite al TCP detectar paquetes perdidos mucho más rápido y la Retransmisión Rápida evita que haya que reiniciar por completo el comienzo lento para poder retransmitir los datos, sin embargo habrá, en cierta medida, una reducción de la ventana.

Las confirmaciones selectivas permiten que el TCP genere un acuse de recibo por los paquetes que han sido recibidos fuera

de la secuencia. Sin esto, el TCP no daría un acuse de recibo por los paquetes que están fuera de secuencia y esto podría resultar en un *timeout*, y ocasionar que se reiniciará el proceso de Comienzo Lento.

Sin embargo no todas las implementaciones de TCP traen actualmente incorporadas estas nuevas opciones.

Durante el establecimiento de la conexión TCP, cada extremo especifica el tamaño máximo de datos (*Payload*) que el segmento TCP puede transportar. Si un *host* no especifica un tamaño máximo, por defecto se considerará que este será de 536 bytes de *payload.* Todos los *hosts* de Internet se requieren que acepten segmentos máximos TCP de por lo menos 536 + 20 bytes cabecera TCP = 556 bytes, sin que se produzca el proceso de fragmentación.

2.3 Dimensionamiento matemático del enlace satelital

A continuación se estimará matemáticamente el retardo en "bajar" una página Web de cierto tamaño X, y en base a un cierto nivel de calidad deseado por el ISP (medido en base a un tiempo de retardo deseado), estimar el tamaño del enlace satelital descendente y ascendente requerido para el número de usuarios concurrentes en la hora pico.

Considerando:

- Un canal satelital libre de errores (no hay retransmisiones)
- Red libre de congestión
- Retardos de procesamiento en ruteadores y redes terrestres nulos
- La red no produce fragmentación de datagramas
- Retardo de procesamiento en *hosts* nulo
- *Buffers* de Rx siempre vacíos para aceptar el tamaño total de la siguiente ventana de transmisión

A.1 Nomenclatura:

MA: Velocidad de Tx. del módem ascendente (usuario) en bit/s

MD: Velocidad de Tx del módem descendente (ISP) en bit/s

SA: Velocidad de Tx del enlace satelital ascendente en bit/s (SA= SD/4 , valor práctico)

SD: Velocidad de Tx del enlace satelital descendente en bit/s

RS: Retardo del salto satelital en seg. (RS = 270 ms = 0.27 seg)

X: Tamaño del archivo a transferirse en bytes (1 KB = 1024 bytes)

N: Tamaño de segmento máximo de la ventana de congestión en bytes (N = 512 bytes, suposición práctica.)

M: Número de segmentos de N bytes contenidos en el archivo de longitud X bytes

$$M = \frac{X}{N}$$

C: Tamaño total en bytes de las cabeceras TCP, IP, enlace (C=50 bytes)

PH: Tamaño del pedido HTTP en bytes (PH = 500 bytes)

AR: Tamaño en bytes del acuse de recibo TCP ya incluido los C bytes de cabeceras (AR = 50 bytes)

VR: Tamaño en bytes de la ventana de recepción (Máximo: 64 KB = 65536 bytes, típico 32768 bytes.

Asumiendo tamaños 512.2^i, i = 0, 1,...,7).

VC: Tamaño en bytes de la ventana de congestión, varia según algoritmo de "Comienzo Lento".

VT: Ventana de transmisión

VT = mínimo (VC, VR)

A.2 Objetivo:

Se determinarán los retardos en bajar páginas de 50 KB, 100 KB y 1000 KB. Actualmente, el tamaño de una página Web promedio oscila alrededor de los 50 KB.

Inicialmente se determinarán los retardos en bajar la página de 50 KB usando N = 512 , 1024 y 2048 bytes. Esto a fin de comparar los efectos en el retardo dependiendo de N. N= 512 es el valor mas adecuado en transmisiones reales.

El cálculo de los retardos para las paginas de 100 K y 1024 KB usará N = 512 bytes, a fin de comparar los retardos en la descarga de páginas de distinto tamaño usando el mismo N.

Se usará una VR = 32 KB = 32768 bytes. VT se estabilizará, si es el caso, en VR.

A.3 Cálculos:

La tabla 3 muestra, para valores de N = 512, 1024 y 2048 bytes, el tamaño de la ventana de congestión de la red (VC), el número de segmentos transmitidos en cada iteración del algoritmo de "Comienzo Lento", y el número total de segmentos transmitidos justo antes de que se alcance el estado estable de la ventana de transmisión al alcanzarse el tamaño límite de la ventana de recepción fijado en 32 KB = 32768 bytes.

Tx N°.	N = 512 bytes		N = 1024 bytes		N = 2048 bytes	
	VC [bytes]	# segm. Tx	VC [bytes]	# segm. Tx	VC [bytes]	# segm. Tx
1	512	1	1024	1	2048	1
2	1024	2	2048	2	4096	2
3	2048	4	4096	4	8192	4
4	4096	8	8192	8	16384	8
5	8192	16	16384	16	32768	16
6	16384	32	32768	32		
7	32768	64				
Total segm. Tx		127		63		31

Tabla 3. Algoritmo de Comienzo Lento para distintos valores de N

Una vez alcanzado el estado estable, la VT será del tamaño de VR (32 KB) durante el resto de la transmisión.

En la tabla 4 se resume como procederá la transferencia del archivo.

En la tabla 4:

TI : Número total de transmisiones necesarias para "bajar" el archivo

NCL : Número de segmentos Tx en ventanas completas durante la ejecución del "Comienzo Lento"

NE : Número de segmentos Tx en ventanas completas después de que se estabilizó VT en VR

NF : Número de segmentos Tx en la última ventana de transmisión

X	N	M	VR	VT se estabiliza en VR ?	TI	NCL	NE	NF
[KB]	[Bytes]	[Segm.]	[KB]			[Segm.]	[Segm.]	[Segm.]
50	512	100	32	No	7	63		37
50	1024	50	32	No	6	31		19
50	2048	25	32	No	5	15		10
100	512	200	32	Si	9	127	64	9
1000	512	2000	32	Si	37	127	29 x 64	17

Tabla 4. Características de la cada transferencia

Un ejemplo de cálculo del retardo total, para el caso de una página de 50 KB (valor típico actual) y N = 512 bytes, se presentan a continuación :

Retardo total = Ret. *loop* ascen. + Ret. Tx. sat. ascen. + Ret. prop. sat. ascen. + Ret. Tx. sat. desc. + Ret. prop. sat. desc. + Ret. *loop* desc.

$$\text{Ret. total} = (\text{PH+C})\ \text{bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\frac{1}{MA}\frac{\text{seg}}{\text{bits}} + (\text{PH+C})\ \text{bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\frac{4}{VD} + \text{RS seg} +$$

$$(512+\text{C})\ \text{bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\frac{1}{VD} + \text{RS seg} + (512+\text{C})\ \text{bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\frac{1}{MD}\frac{\text{seg}}{\text{bits}} +$$

$$\text{AR bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\frac{1}{MA}\frac{\text{seg}}{\text{bits}} + \text{AR bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\frac{4}{VD} + \text{RS seg} +$$

$$2.(512+\text{C})\ \text{bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\frac{1}{VD} + \text{RS seg} + 2.(512+\text{C})\ \text{bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\frac{1}{MD}\frac{\text{seg}}{\text{bits}} +$$

$$\text{AR bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\frac{1}{MA}\frac{\text{seg}}{\text{bits}} + \text{AR bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\frac{4}{VD} + \text{RS seg} +$$

$$4.(512+\text{C})\ \text{bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\frac{1}{VD} + \text{RS seg} + 4.(512+\text{C})\ \text{bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\frac{1}{MD}\frac{\text{seg}}{\text{bits}} +$$

$$\text{AR bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\frac{1}{MA}\frac{\text{seg}}{\text{bits}} + \text{AR bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\frac{4}{VD} + \text{RS seg} +$$

$$8.(512+\text{C})\ \text{bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\frac{1}{VD} + \text{RS seg} + 8.(512+\text{C})\ \text{bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\frac{1}{MD}\frac{\text{seg}}{\text{bits}} +$$

$$\text{AR bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\frac{1}{MA}\frac{\text{seg}}{\text{bits}} + \text{AR bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\frac{4}{VD} + \text{RS seg} +$$

$$16.(512+C)\ \text{bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\ \frac{1}{VD} + \text{RS seg} + 16.(512+C)\ \text{bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\ \frac{1}{MD}\ \frac{\text{seg}}{\text{bits}} +$$

$$\text{AR bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\ \frac{1}{MA}\ \frac{\text{seg}}{\text{bits}} + \text{AR bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\ \frac{4}{VD} + \text{RS seg} +$$

$$32.(512+C)\ \text{bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\ \frac{1}{VD} + \text{RS seg} + 32.(512+C)\ \text{bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\ \frac{1}{MD}\ \frac{\text{seg}}{\text{bits}} +$$

$$\text{AR bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\ \frac{1}{MA}\ \frac{\text{seg}}{\text{bits}} + \text{AR bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\ \frac{4}{VD} + \text{RS seg} +$$

$$37.(512+C)\ \text{bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\ \frac{1}{VD} + \text{RS seg} + 37.(512+C)\ \text{bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\ \frac{1}{MD}\ \frac{\text{seg}}{\text{bits}} +$$

$$\text{AR bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\ \frac{1}{MA}\ \frac{\text{seg}}{\text{bits}} + \text{AR bytes}.\ \frac{8\ \text{bits}}{1\ \text{byte}}.\ \frac{4}{VD} + \text{RS seg}$$

$$\text{Ret. total} = 8.[\ (PH+C) + 7.AR\ ]\ \frac{1}{MA} + 8.[\ (PH+C) + 7.AR\ ]\ \frac{4}{VD} +$$

$$8.[(1+2+4+8+16+32+37)\ .\ (512+C)].\ \frac{1}{VD} + 8.[(1+2+4+8+16+32+37)$$

$$(512+C)].\ \frac{1}{MD} + 15.\ \text{RS}\ [\text{seg}]$$

$$\text{Ret. total} = 7200.\ \frac{1}{MA} + 7200.\ \frac{4}{VD} + 449600.\ \frac{1}{VD} + 449600.\ \frac{1}{MD} + 4.05\ [\text{seg}]$$

Los cálculos para archivos de 50 KB con N = 1024 y N = 2048, archivos de 100KB y de 1 MB proceden en forma similar. Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

A.4 Resultados:

PAGINA DE 50 KB

N	MA	MD	Tecnología usada en el loop	Retardo total
[bytes]	[b/s]	[b/s]		[seg]
512	28800	28800	Módem V.34	RT = 19.911 + 478400/VD
	64000	1.544 Mb/s	ADSL	RT= 4.453 + 478400/VD
	1 Mb/s	4 Mb/s	Cable módem	RT = 4.169 + 478400/VD
1024	28800	28800	Módem V.34	RT = 18.662 + 456800/VD
	64000	1.544 Mb/s	ADSL	RT = 3.894 + 456800/VD
	1 Mb/s	4 Mb/s	Cable módem	RT = 3.624 + 456800/VD
2048	28800	28800	Módem V.34	RT = 17.761 + 445200/VD
	64000	1.544 Mb/s	ADSL	RT = 3.341 + 445200/VD
	1 Mb/s	4 Mb/s	Cable módem	RT = 3.081 + 445200/VD

Tabla 5. Retardo total de descarga de una página de 50 KB, asumiendo distintos valores de N y usando distintas tecnologías de acceso

PAGINA DE 50 KB, 100 KB y 1000 KB con N =512 bytes

X	MA	MD	Tipo	Retardo total
[KB]	[b/s]	[b/s]		[seg]
50	28800	28800	Módem V.34	RT = 19.911 + 478400/VD
	64000	1.544 Mb/s	ADSL	RT= 4.453 + 478400/VD
	1 Mb/s	4 Mb/s	Cable módem	RT = 4.169 + 478400/VD
100	28800	28800	Módem V.34	RT = 36.63 + 931200/VD
	64000	1.544 Mb/s	ADSL	RT = 5.837 + 931200/VD
	1 Mb/s	4 Mb/s	Cable módem	RT = 5.362 + 931200/VD
1000	28800	28800	Módem V.34	RT = 333.138 + 9068800/VD
	64000	1.544 Mb/s	ADSL	RT = 26.373 + 9068800/VD
	1 Mb/s	4 Mb/s	Cable módem	RT = 22.517 + 9068800/VD

Tabla 6. Retardo total de descarga de una página de X KB usando distintas tecnologías de acceso

A partir de estos resultados, el ISP puede asumir el tiempo de retardo total en que la página será totalmente presentada al usuario desde que formuló el pedido y en base a esto podrá estimar la velocidad unitaria de transmisión del canal descendente. Para el caso planteado del diseño (página de 50 KB promedio, N = 512 por defecto y MA = MD = 28800 b/s), se tiene la siguiente tabla:

Retardo total [seg]	VD [b/s] por usuario	Retardo total [seg]	VD [b/s] por usuario
21	439302.11	90	6825.60
25	94006.68	100	5973.35
40	47417.97	110	5310.30
50	15899.49	120	4779.74
60	11933.44	150	3677.48
70	9550.99	180	2988.33
80	7961.52	200	2656.46

Tabla 7. Capacidad del canal satelital descendente VD (b/s) en función del retardo total de descarga deseado por el ISP para páginas de 50 KB

Asumiendo 150 líneas telefónicas y que el 20 % de los usuarios dial-up realicen pedidos simultáneamente (valor promedio medido por ISPs reales), con un tiempo de retardo deseado de 90 seg, el canal satelital descendente deberá tener aproximadamente:

$$150*0.2*6825.6 \text{ b/s} = 204768 \text{ b/s}$$

El canal ascendente tendrá un cuarto de esta capacidad: $\approx$ 51192 b/s

2.3.1 Considerando los usuarios dedicados

Una ventaja que tiene el ISP es que la hora pico de los usuarios residenciales no coincide con las horas pico de los usuarios dedicados (grandes empresas) y además no todos los usuarios dedicados coinciden en la misma hora pico, sino que depende en ciertos casos de las tareas que la empresa realiza.

Considerando el caso de que un 50 % de los usuarios dedicados coincidan en la hora pico y utilicen el 90% del ancho de banda disponible, la velocidad necesaria en el canal descendente satelital sería en su hora pico igual a:

$$128 \text{ kb/s} * 0.9 * 10 * 0.5 = 576 \text{ kb/s}$$

y un canal ascendente de $576/4 = 144$ kb/s

El enlace satelital se dimensionaría al máximo valor de los arrojados solo a usuarios o solo a enlaces dedicados más cierto sobredimensionamiento para considerar la interrelación entre ambos tipos de usuarios.

A fin de usar enlaces satelitales de menor capacidad, y por lo tanto de menor costo, e incluso dar servicios con tiempos de retardo muchos más cortos se puede utilizar servidores caché que según la literatura e información obtenida de ISP reales permiten reducir la capacidad del enlace satelital hasta casi en un 40%.

2.4 Servicios Satelitales Comerciales

Los satélites geoestacionarios INTELSAT han sido utilizados para transmitir servicios de Internet desde los inicios de la "red".

Actualmente INTELSAT da servicio a muchos clientes que usan TCP/IP a tasas que van desde 64 kb/s hasta 45 Mb/s. INTELSAT también proporciona apoyo a portadores de hasta 155 Mb/s según sea el caso.

INTELSAT ha demostrado la viabilidad de las transmisiones asimétricas de Internet por satélite utilizando varias configuraciones de combinaciones asimétricas de amplitud de banda y de configuraciones de la red terrestre. Algunas de las configuraciones asimétricas de INTELSAT incluyen:

- 8 Mbit/seg - 2 Mbit/seg
- 45 Mbit/seg - 8 Mbit/seg
- 34 Mbit/seg - 8 Mbit/seg
- 2 Mbit/seg - 512Kbit/seg

2.5 Costos reales promedio de enlaces satelitales en Ecuador

En Ecuador los costos de los enlaces satelitales varían dependiendo de la capacidad del enlace requerido. Los valores promedios son:

Enlace (kb/s)	Costo Mensual (dólares)
19.2	2500
32	3000
64	4000
128	5000
192	6000
256	6500
284	8000
512	10000
768	12000
1024	15000

(*) Costo de instalación inicial: 9000 dólares

Tabla 8. Costos promedios de enlaces satelitales en Ecuador

2.6 Consideraciones finales sobre el diseño

El diseño matemático analizado únicamente permitiría tener una idea aproximada de cuales serían los requerimientos que un ISP podría necesitar en un momento dado para cubrir los requerimiento de tráfico de sus usuarios. Sin embargo, en la práctica a estos valores aproximados habrá que sobredimensionarlos (tanto el número de líneas telefónicas, el enlace satelital, los equipos del ISP) a criterio y capacidad económica disponga el ISP.

El sobredimensionamiento se debe a la propia naturaleza de Internet y al vertiginoso crecimiento en el número de usuarios que día a día se conectan a él. El diseño del ISP no puede ser estático, sino que debe ser muy dinámico; siempre debería existir una visión de expansión.

Problemas de falta de un sobredimensionamiento o de una expansión tardía serían:

- Falta de capacidad de atender a los usuarios adecuadamente
- Quejas y pérdida de usuarios por la disminución en la calidad de servicio
- Las expansiones no se dan de un día para otro, pueden requerir periodos de tiempo largos, obras de construcción civil, instalaciones de equipos, trámites legales, etc.

Es necesario prever y realizar un sobredimensionamiento inicial adecuado. Los ISP que llevan tiempo en el mercado recomiendan empezar procesos de expansión cuando el número de usuarios se aproxime al 70 u 80% de la máxima capacidad inicial del diseño.

En cuanto sobredimensionar el número de líneas telefónicas y el enlace satelital puede ser difícil de decidir. La mayoría de ISPs reales los sobredimensionan en un promedio de 40-50 %, con previsión a futuro.

El verdadero porcentaje de sobredimensionamiento está sujeto a una cuestión muy simple: cuánto dinero dispone el ISP para expansión ? Si tiene suficiente dinero, podrá sobredimensionar incluso en exceso. Con falta de dinero, el sobredimensionamiento puede que ni siquiera pase por la mente del diseñador. Sin embargo, lo recomendable sería realizar el sobredimensionamiento en los rangos indicados: 40 - 50%.

2.7 Resultados del diseño:

N° de líneas telefónicas: 220
Canal Descendente satelital: 768 kb/s
Canal Ascendente satelital: 192 kb/s

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las condiciones planteadas en el modelo (canal satelital libre de errores, redes libres de congestión, retardos de procesamiento en ruteadores y redes terrestres nulos, no hay fragmentación de datagramas, retardo de procesamiento en *hosts* nulo y *buffers* de Rx siempre vacíos para aceptar el tamaño total de la siguiente ventana de transmisión) son totalmente ideales, por lo cual los resultados del diseño matemático analizado deben tomarse como una estimación de los requerimientos mínimos que un ISP necesita tanto en

el número de líneas telefónicas como en la capacidad del canal satelital descendente y ascendente.

- El sobredimensionamiento del (40-50 %) recomendado, no solo para corregir las condiciones no ideales del diseño, sino también como previsión al crecimiento del número de usuarios, depende en su totalidad de la capacidad económica que disponga el ISP.
- El diseño del canal satelital se analizó para un ISP típico, pero el mismo procedimiento puede aplicarse a ISP basados en otras tecnologías de acceso tales como ADSL y Cable módem. Podrá verse que un ISP que desee implementar estas tecnologías de alta velocidad requerirá de canales satelitales de muy alta capacidad y a la vez muy costosos.
- Fuera de este trabajo han quedado otros aspectos muy importantes en el diseño de un ISP como son la elección entre distintas plataformas de servidores, *hardware* de red, *software* y opciones de conectividad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] http://www.redbooks.ibm.com, "The Technical Side of Being an Internet Service Provider", IBM

[2] Barreto, Alexis: "Estudio y análisis de las distintas tecnologías de acceso que un proveedor de servicios de Internet puede implementar en Ecuador", Tesis EPN, Diciembre 1999.

BIOGRAFÍA DE LOS AUTORES

Barreto Muñoz, Alexis Dimitri: Nació el 21 de Septiembre de 1975 en Quito. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Municipal Experimental Sebastián de Benalcázar. Obtuvo el título de Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional (Febrero del 2000). Fue reconocido como el mejor alumno egresado de la Facultad de Ingeniería Eléctrica (Febrero de 1999) y como el mejor ingeniero graduado de la Escuela Politécnica Nacional (Abril 2000). Sus áreas de interés son: Tecnologías de acceso a Internet de alta velocidad, Telemática, Redes LAN, Redes WAN, etc.

Hidalgo Lascano, Pablo William: Nació en Ambato el 20 de septiembre de 1959. Obtuvo su título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica Nacional en 1985. Becado por el gobierno Alemán y auspiciado por la E.P.N. realizó estudios de postgrado en Telecomunicaciones en el Deutsche Bundespost en 1990. Ha realizado cursos de especialización en U.S.A., Venezuela y Colombia.
Desde 1983 hasta la presente fecha trabaja en el Área de Telecomunicaciones en el Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información de la E.P.N. Ha participado como instructor y asesor de redes de telecomunicaciones en México y Panamá. Sus áreas de interés son la transmisión de datos, las redes de información, telefonía digital y comunicaciones estratégicas en Alta Frecuencia. Es miembro del IEEE y ACM.