



Pruebas experimentales para la medición de parámetros que determinan la Calidad de Servicio

Juan Antonio Castilleja García

Abril - 2003



Agenda

- Introducción
- Experimentos
- Conclusiones y trabajos futuros



Agenda

● Introducción

- La necesidad de medir
- Parámetros de medición
- Importancia de los mecanismos de encolamiento
- Funcionamiento de los mecanismos de encolamiento utilizados
- Retraso extremo a extremo

● Experimentos

● Conclusiones y trabajos futuros



La necesidad de medir

Es de suma importancia implementar esquemas de medición, ya que por ejemplo:

- Nos permite determinar de manera cuantitativa el comportamiento de nuestras implementaciones.
- Se obtiene información útil para la toma de decisiones.



Agenda

● Introducción

- La necesidad de medir
- Parámetros de medición
- Importancia de los mecanismos de encolamiento
- Funcionamiento de los mecanismos de encolamiento utilizados
- Retraso extremo a extremo

● Experimentos

● Conclusiones y trabajos futuros



Parámetros de medición

- El tener parámetros de medición es de suma importancia y cobran mayor relevancia, ya que éstos son algunas de nuestras variables de las cuales podemos nosotros tener el control.
- Estos parámetros nos proporcionan un valor cuantitativo del funcionamiento de nuestro ambiente.
- Nos permiten tomar mejores decisiones.



Parámetros de medición

Retraso

- Es una expresión que determina cuánto tiempo toma un paquete de datos en ir de un punto origen a un punto destino.
- El retraso es medido en unidades de tiempo, es decir segundos.



Parámetros de medición

Variación en el retraso

- Conocido como “Jitter”.
- Es la variación en los tiempos entre llegadas de los datos a un destino final.
- Es la variación (en valor absoluto) de la diferencia D en espacio de los paquetes en el receptor comparado con el emisor para un par de paquetes dados¹.
- Medido en unidades de tiempo.

¹ RFC 1889



Parámetros de medición

Pérdida de paquetes

- Es la fracción de todos los paquetes que no llegaron a su destino.

$$\Delta \text{paquetes perdidos} = [(P\text{enviados} - P\text{recibidos}) / P\text{enviados}] * 100$$



Parámetros de medición

Caudal Eficaz (Throughput)

- Es la tasa total de datos transmitidos entre nodos.
- Expresa una fracción de la capacidad y puede ser interpretado como la utilización.
- Expresado en unidades de datos por periodo de tiempo.

Caudal Eficaz = Datos recibidos / Tiempo total



Agenda

● Introducción

- La necesidad de medir
- Parámetros de medición
- Importancia de los mecanismos de encolamiento
- Funcionamiento de los mecanismos de encolamiento utilizados
- Retraso extremo a extremo

● Experimentos

● Conclusiones y trabajos futuros



Importancia de los mecanismos de encolamiento

- Las colas de espera juegan un papel fundamental, ya que entre mayor tiempo pasen los paquetes en la cola de espera, mayor será el tiempo total de comunicación.
- Existen diferentes mecanismos de encolamiento basados en algoritmos que van desde los mas simples hasta los sumamente complejos.
- Cada mecanismo de encolamiento tiene sus ventajas y desventajas, así como escenarios dónde es más recomendable aplicar ese mecanismo en particular; la elección del mecanismo de encolamiento a utilizar depende de lo que se quiera lograr.



Agenda

● Introducción

- La necesidad de medir
- Parámetros de medición
- Importancia de los mecanismos de encolamiento
- Funcionamiento de los mecanismos de encolamiento utilizados
- Retraso extremo a extremo

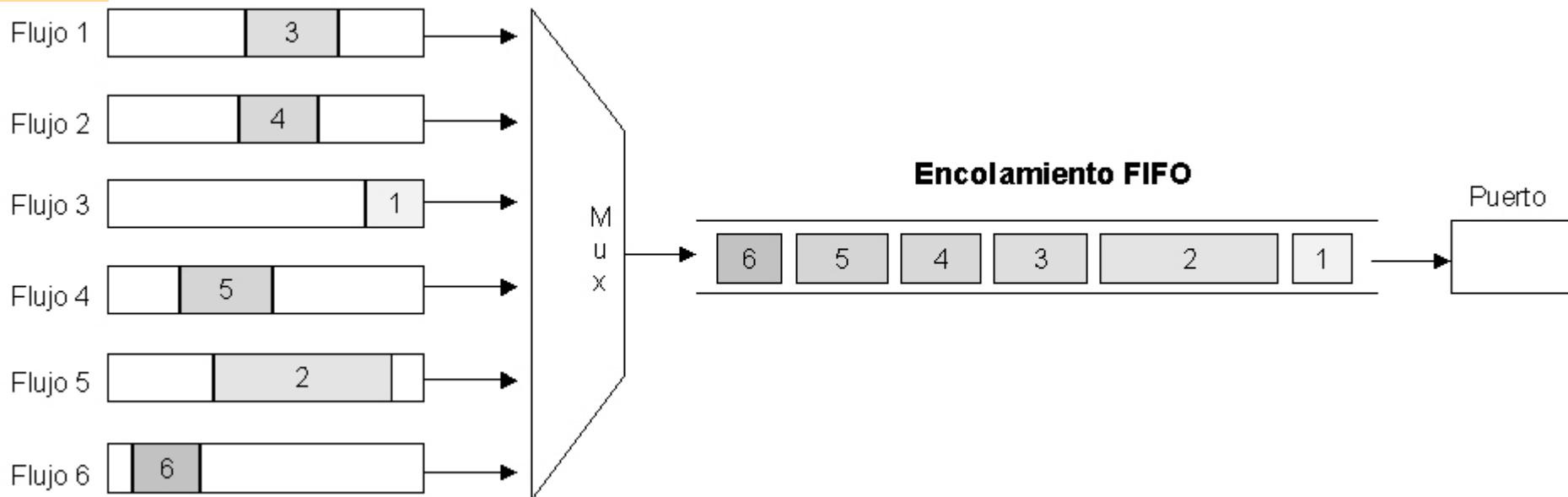
● Experimentos

● Conclusiones y trabajos futuros



Funcionamiento de los mecanismos de encolamiento utilizados

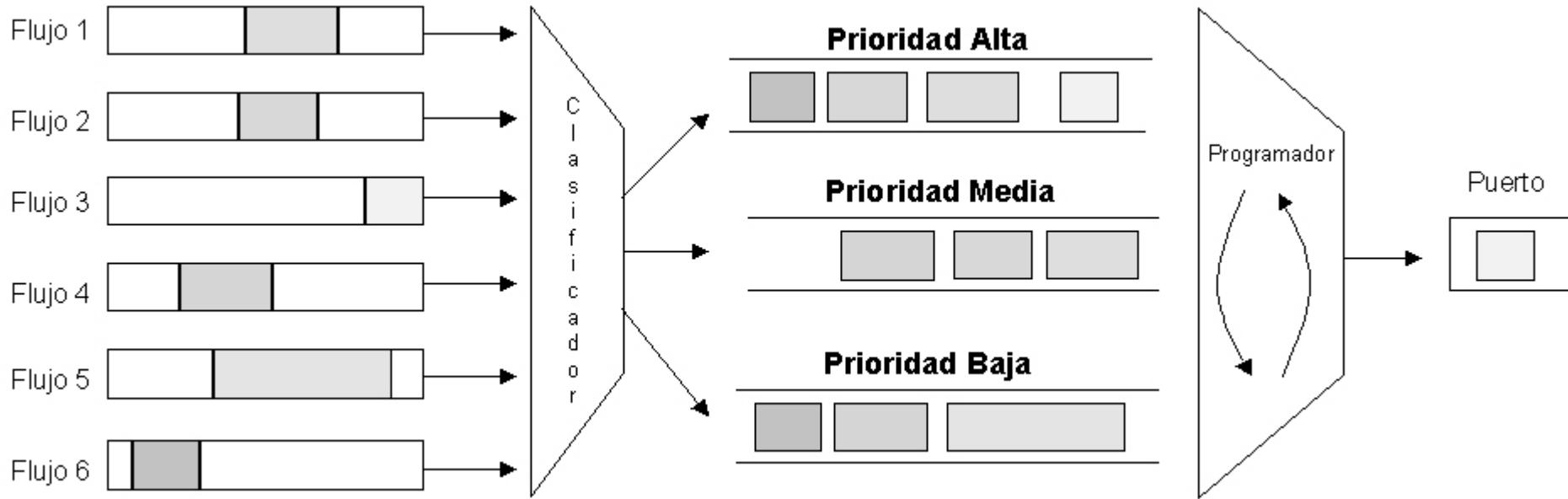
First In – First Out (FIFO)





Funcionamiento de los mecanismos de encolamiento utilizados

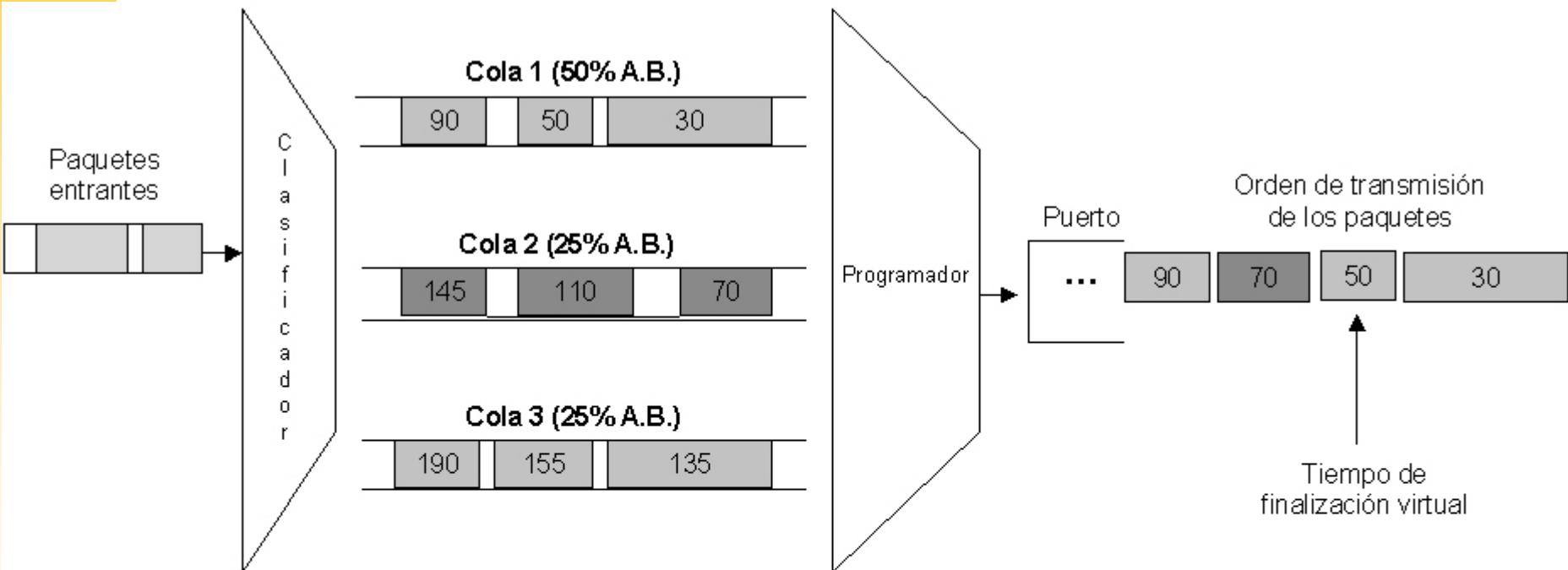
Priority Queuing (PQ)





Funcionamiento de los mecanismos de encolamiento utilizados

Weighted Fair Queuing (WFQ)



Clasificación de flujos basada en:

- Fuente y destino
- Protocolo
- Identificador de sesión (puerto/socket)

Ponderación de las colas determinado por:

- Requerimientos de QoS (Precedencia IP, RSVP)
- Etc



Agenda

● Introducción

- La necesidad de medir
- Parámetros de medición
- Importancia de los mecanismos de encolamiento
- Funcionamiento de los mecanismos de encolamiento utilizados
- **Retraso extremo a extremo**

● Experimentos

● Conclusiones y trabajos futuros



Retraso extremo a extremo

- Basándonos en la figura:



- Podemos decir que:

$$R_{extremo-a-extremo} = \sum_{i=0}^j r_i$$

Donde:

r_i = El retraso en cada elemento de la ruta

j = Cantidad de elementos en la ruta de comunicaciones.



Agenda

- Introducción
- Experimento A (Retraso)
 - Descripción
 - Resultados
- Experimento B
- Experimento C
- Conclusiones y trabajos futuros



Experimento A

Descripción

- El objetivo del experimento es demostrar que utilizando diferentes mecanismos de encolamiento se puede afectar el tiempo que tardan los paquetes en viajar de una entidad a otra.
- Los datos recabados fueron los tiempos de respuesta (retraso) entre dos computadores, para después utilizar diseño factorial para demostrar la hipótesis mediante Análisis de Varianza.



Experimento A

Descripción

- Para esto, nos basamos en el planteamiento del retraso de extremo a extremo mencionado anteriormente.



Experimento A

Factores

- Los factores que intervinieron en este experimento son: Método de encolamiento, tamaño de paquete y carga de tráfico. Cada uno de ellos tiene diferentes niveles, los cuales se resumen en la tabla.



Experimento A

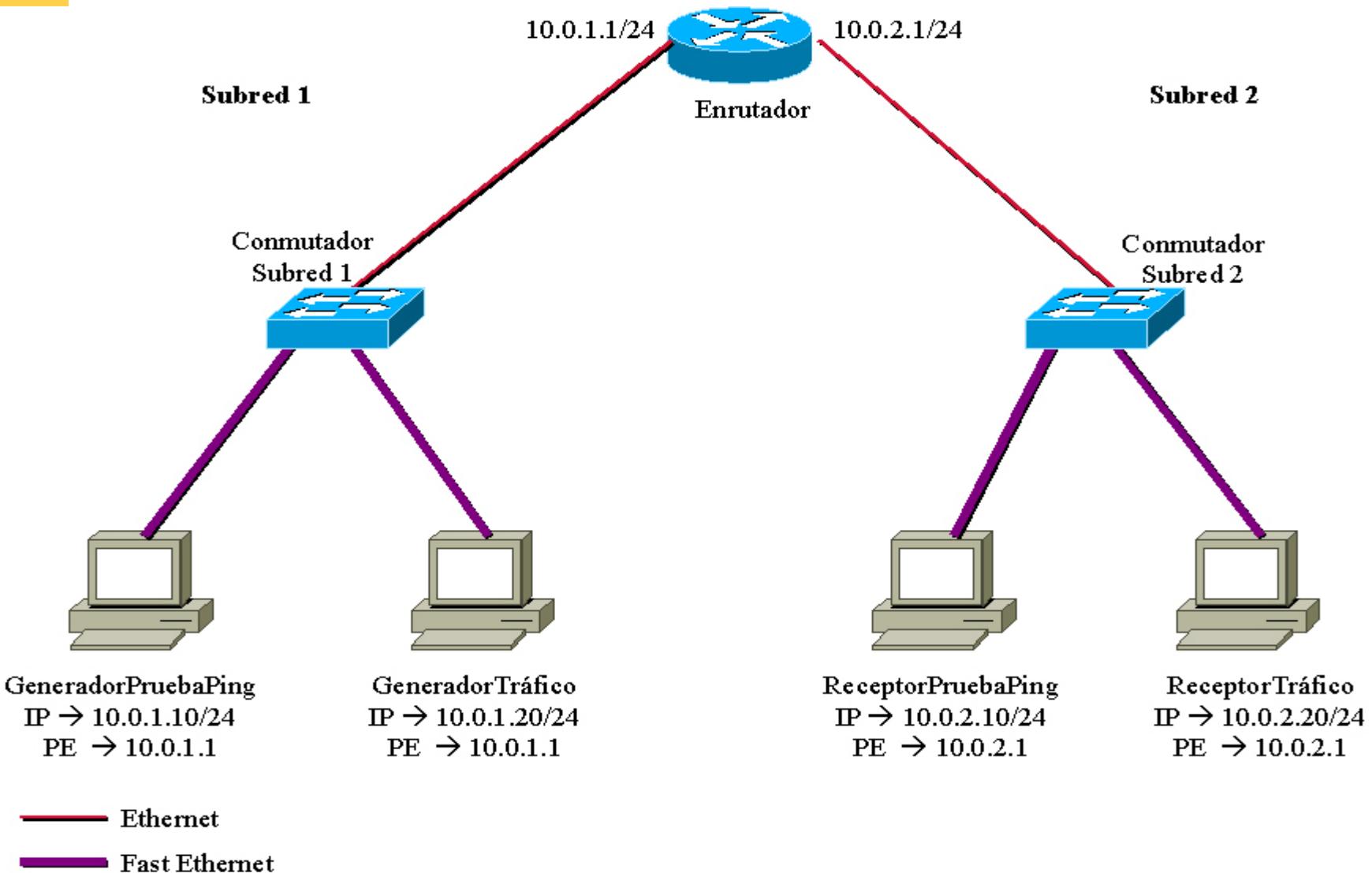
Factores

Factores		
Factor A Método de encolamiento	Factor B Tamaño de Paquete *	Factor C Carga de tráfico
Nivel 1.- Primero en Entrar Primero en Salir (FIFO) Nivel 2.- Encolamiento Priorizado (PQ) Nivel 3.- Encolamiento Justo Ponderado (WFQ)	Nivel 1.- 64 Bytes Nivel 2.- 128 Bytes Nivel 3.- 256 Bytes Nivel 4.- 512 Bytes Nivel 5.- 1024 Bytes Nivel 6.- 1280 Bytes Nivel 7.- 1518 Bytes	Nivel 1.- 0 Mbps (0%) Nivel 2.- 2.5 Mbps (25%) Nivel 3.- 5 Mbps (50%) Nivel 4.- 7.5 Mbps (75%) Nivel 5.- 10 Mbps (100%)



Experimento A

Diagrama





Experimento A

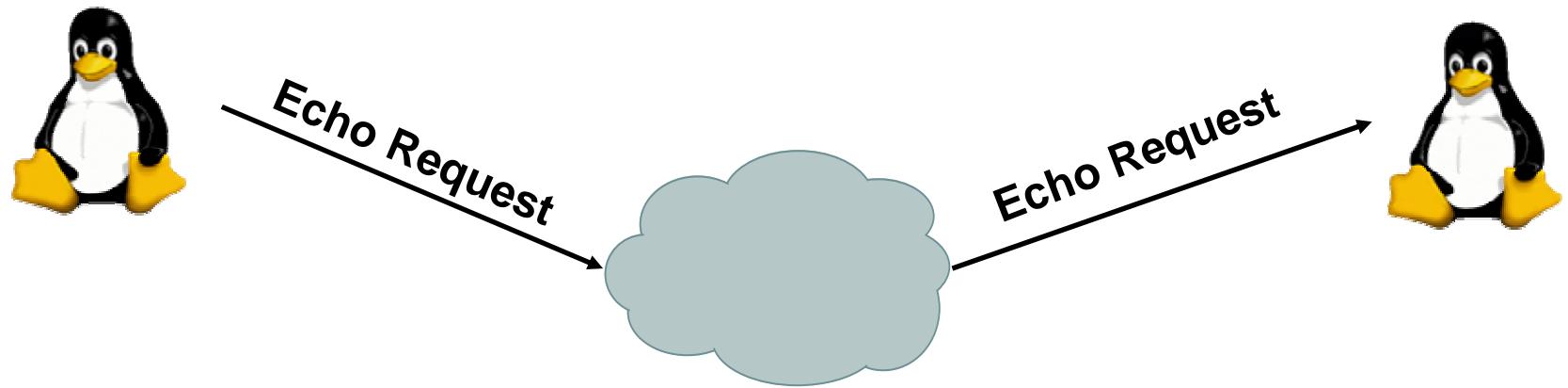
Procedimiento

- Se realizaron 105 pruebas, que abarcan todas las combinaciones de los niveles de los factores.
- Para cada prueba se tomaron 30 réplicas.
- Las pruebas fueron realizadas en orden aleatorio para reducir el error experimental.



Experimento A

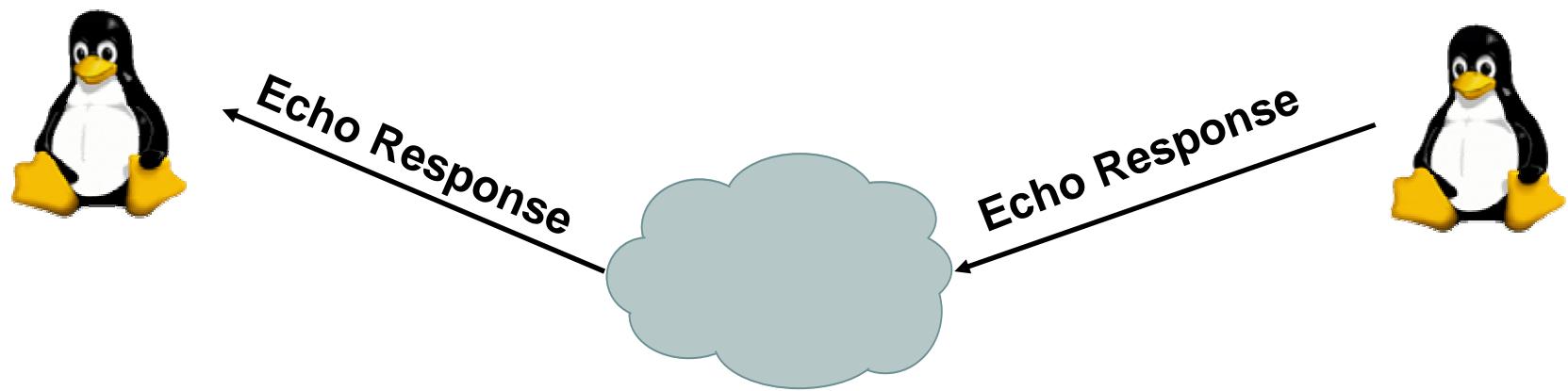
Procedimiento





Experimento A

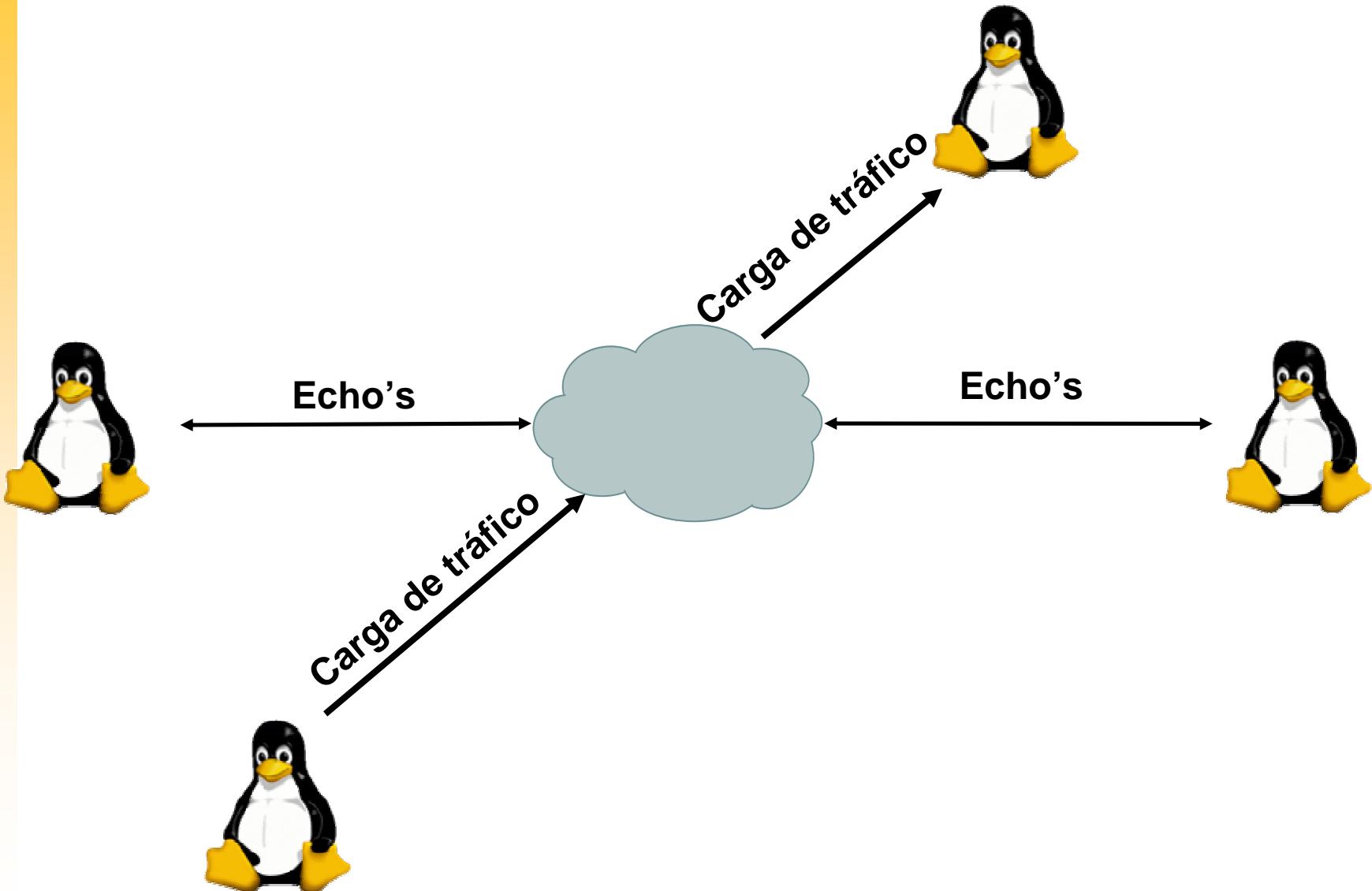
Procedimiento





Experimento A

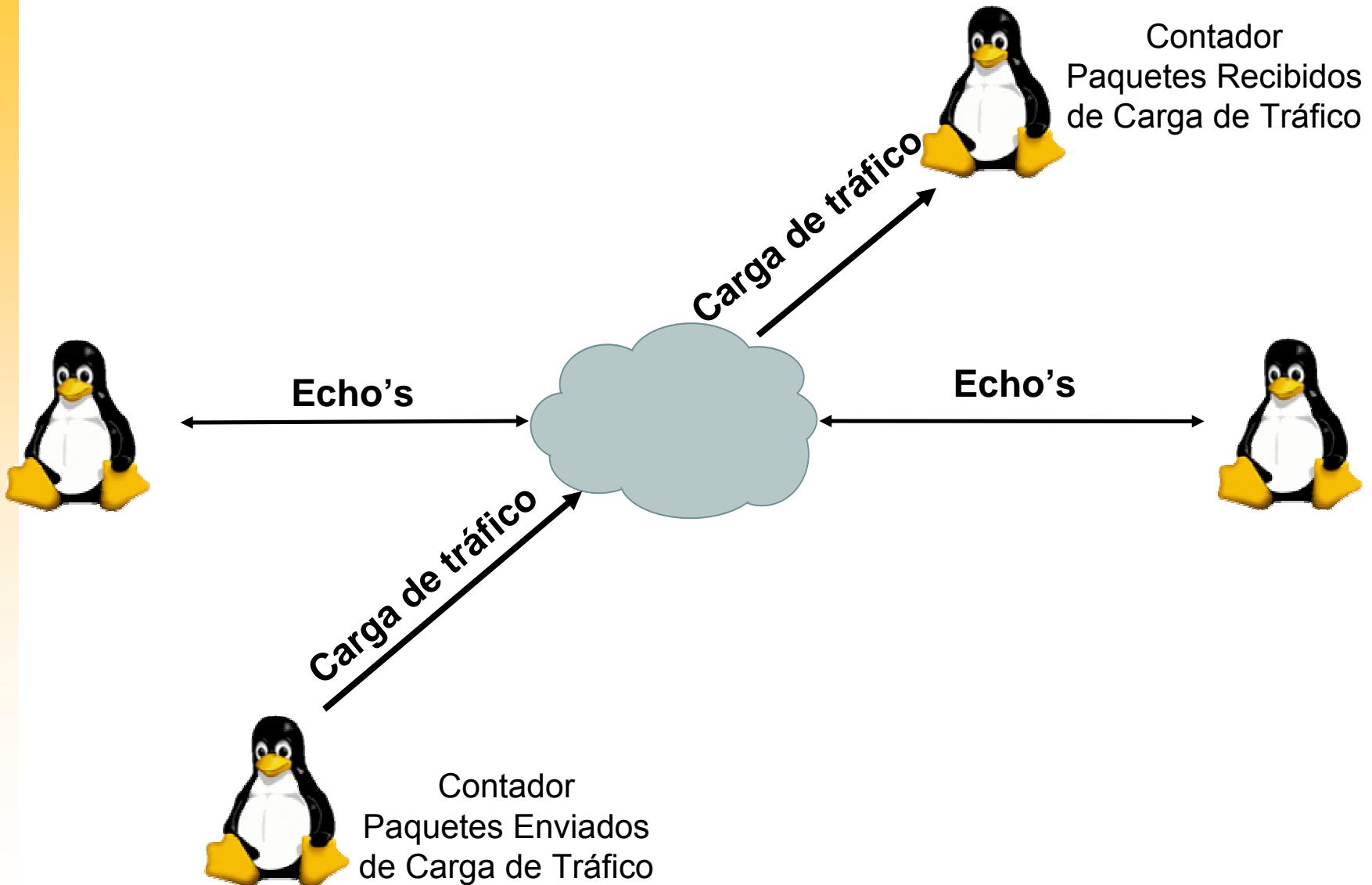
Procedimiento





Experimento A

Procedimiento





Experimento A

Factores no controlados

- Las configuraciones de los equipos de comunicaciones fueron únicamente en el enrutador, y el acceso de los computadores al conmutador no se controló, por lo que el método de acceso al medio fue un factor no controlado.



Agenda

- Introducción
- **Experimento A (Retraso)**
 - Descripción
 - **Resultados**
- Experimento B
- Experimento C
- Conclusiones y trabajos futuros



Experimento A

Resultados

- Como ya se había mencionado, el análisis de los datos de este experimento se llevó a cabo realizando un análisis de varianza.
- El resultado que más nos interesa, ya que es el que responde al planteamiento original de este experimento, es saber si al variar el mecanismo de encolamiento el tiempo de respuesta disminuye.



Experimento A

Resultados

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	f calculada	Prob>F
Efectos Principales					
A	1081.67	2	540.84	4.93	0.0073
B	15272.99	6	2545.50	23.21	<0.0001
C	192000	4	48011.80	437.68	<0.0001
Interacción de dos factores					
AB	2091.04	12	174.25	1.59	0.0877
AC	3112.59	8	401.57	3.66	0.0003
BC	6014.15	24	250.59	2.28	0.0004
Interacción de tres factores					
ABC	10381.91	48	216.29	1.97	<0.0001
Error	332800	3034*	109.70		
Total	562600	3138*			

Nota.- Hubo 11 paquetes perdidos, los cuales no se tomaron en cuenta para el Análisis de Varianza.



Experimento A

Resultados

- Basándonos en los resultados del análisis de varianza podemos concluir con un 95% de certeza que efectivamente, al modificar el mecanismo de encolamiento en los equipos de comunicaciones el tiempo de respuesta entre los computadores sí varía.



Experimento A

Resultados

- Todos los factores analizados en este experimento, así como la interacción de estos factores afectan significativamente el tiempo de respuesta entre los computadores.
- El afirmar que al modificar la carga de tráfico en la red el tiempo de respuesta se ve afectado puede resultar lógico, sin embargo los datos recabados en este experimento pueden servirnos para visualizar de manera cuantitativa como afectan realmente estas modificaciones.



Experimento A

Resultados

		Mecanismo de encolamiento					
		FIFO		PQ		WFQ	
Tamaño paq.	Bytes	Tiempo de respuesta promedio (milisegundos)	Intervalo de Confianza (95%)	Tiempo de respuesta promedio (milisegundos)	Intervalo de Confianza (95%)	Tiempo de respuesta promedio (milisegundos)	Intervalo de Confianza (95%)
		64	0.529800	0.000879	0.532567	0.001869	0.528033
		128	0.781133	0.002358	0.749400	0.001202	0.751300
		256	1.202667	0.001864	1.201000	0.002174	1.203667
		512	2.154000	0.002224	2.135667	0.002605	2.122667
		1024	3.951000	0.001720	3.989667	0.001754	4.269259
		1280	4.867667	0.002034	4.856667	0.002713	4.865000
		1518	5.717333	0.002289	5.720333	0.002393	5.720333



Experimento A

Resultados

- Con los datos mostrados en estas tablas, podemos determinar con un 95% de confianza que si se utiliza determinado mecanismo de encolamiento, con un cierto tamaño de paquete y con una carga de tráfico determinada, el tiempo de respuesta de los paquetes bajo un esquema de conectividad como el mostrado, estaría entre:

$$tp - IC < t < tp + IC$$

Donde:

t es el tiempo de respuesta.

tp es el tiempo promedio obtenido de la tabla.

IC es el intervalo de confianza obtenido de la tabla.



Agenda

- Introducción
- Experimento A
- **Experimento B (Caudal Eficaz, Jitter, Pérdida de Paquetes)**
 - Descripción
 - Resultados
- Experimento C
- Conclusiones y trabajos futuros



Experimento B

Descripción

- Este experimento tiene como objetivo mostrar el comportamiento extremo a extremo de la variación en el retraso, la pérdida de paquetes y el caudal eficaz en diferentes escenarios para comprender el comportamiento extremo a extremo de nuestra red, utilizando para ello flujos de paquetes UDP.



Experimento B

Factores

Factores		
Factor A Método de encolamiento	Factor B Tamaño de Flujo de Prueba	Factor C Carga de tráfico
Nivel 1.- Primero en Entrar Primero en Salir (FIFO) Nivel 2.- Encolamiento Priorizado (PQ) Nivel 3.- Encolamiento Justo Ponderado (WFQ)	Nivel 1.- 1 Mbps Nivel 2.- 2 Mbps Nivel 3.- 3 Mbps Nivel 4.- 4 Mbps Nivel 5.- 5 Mbps Nivel 6.- 6 Mbps Nivel 7.- 7 Mbps Nivel 8.- 8 Mbps Nivel 9.- 9 Mbps Nivel 10.- 10 Mbps	Nivel 1.- 0 Mbps (0%) Nivel 2.- 2.5 Mbps (25%) Nivel 3.- 5 Mbps (50%)



Experimento B

Procedimiento

- Se realizaron dos series de 90 pruebas que abarcan todas las combinaciones de los niveles de los factores.
- Una serie de pruebas se realizó con configuraciones solamente en el ruteador.
- La otra serie de pruebas se realizó priorizando los flujos de prueba tanto en el switch de salida como en el ruteador.
- Para realizar las pruebas se utilizó la herramienta Iperf versión 1.6.4 para Linux.



Agenda

- Introducción
- Experimento A
- **Experimento B (Caudal Eficaz, Jitter, Pérdida de Paquetes)**
 - Descripción
 - **Resultados**
- Experimento C
- Conclusiones y trabajos futuros



Experimento B

Resultados

- Tablas similares a la siguiente:

Método de encolamiento											
D a t o s e n v i a d o s	M b p s	FIFO			PQ			WFQ			
		Caudal Eficaz (Mbps)	Jitter (ms)	% Paquetes Perdidos	Caudal Eficaz (Mbps)	Jitter (ms)	% Paquetes Perdidos	Caudal Eficaz (Mbps)	Jitter (ms)	% Paquetes Perdidos	
		1	0.998	0.097	0	1.000	0.445	0	1.000	0.447	0
		2	2.000	0.515	0	2.000	0.528	0	2.000	0.537	0
		3	3.000	0.545	0	2.997	0.525	0	3.000	0.553	0
		4	4.000	0.524	0	3.993	0.550	0.159	3.993	0.549	0.159
		5	4.894	0.559	2.114	4.895	0.564	2.099	4.882	0.560	2.237
		6	5.791	0.699	3.464	5.794	0.700	3.412	5.794	0.700	3.412
		7	6.610	0.532	5.547	6.602	0.539	5.656	6.613	0.541	5.502
		8	7.408	0.398	7.387	7.404	0.406	7.408	7.397	0.408	7.512
		9	8.372	0.958	6.857	8.448	0.298	6.163	8.438	0.306	6.268
		10	8.911	0.917	10.835	8.977	0.938	10.221	8.990	0.916	10.099



Agenda

- Introducción
- Experimento A
- Experimento B
- **Experimento C (Tiempo y tamaño de colas)**
 - Descripción
 - Resultados
- Conclusiones y trabajos futuros



Experimento C

Descripción

- En los dos experimentos anteriores se realizaron mediciones de extremo a extremo, es decir, solo se median los parámetros entre los computadores, sin importar que sucediera en cada uno de los saltos del trayecto de los paquetes.
- Sin embargo, también es necesario observar lo que sucede en cada uno de los tramos o saltos en toda la ruta de comunicaciones para saber con mayor precisión en que parte de nuestra red se encuentra un eventual problema.



Experimento C

Descripción

- Este experimento tiene como objetivo observar el comportamiento en las colas de los equipos de comunicaciones en cada uno de los “saltos” por todo el trayecto que atraviesan los paquetes en la comunicación entre dos computadores.
- Se midió el tiempo que los paquetes tardaban en cola así como el tamaño aproximado de la cola de espera.



Experimento C

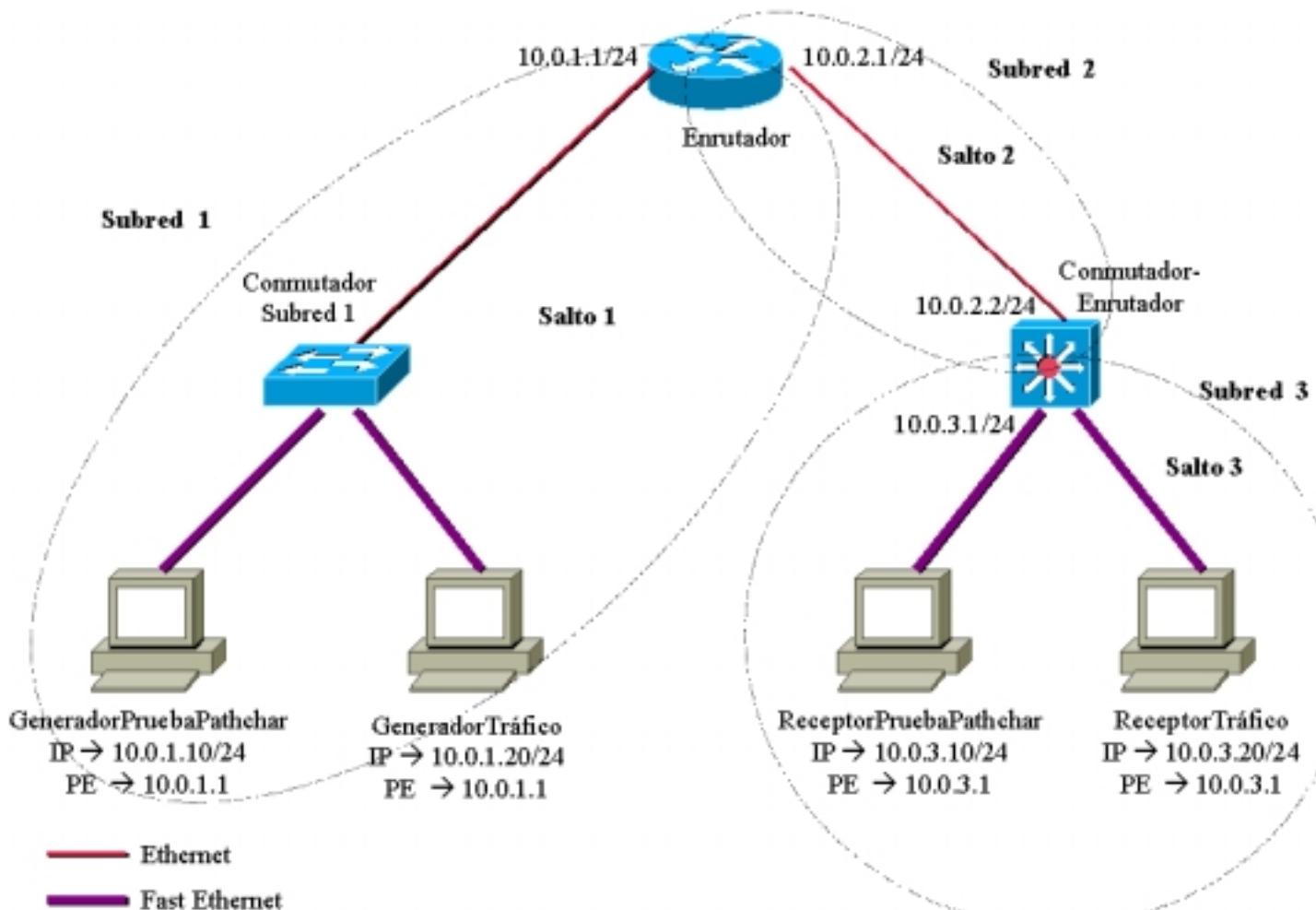
Factores

Factores	
Factor A Método de encolamiento	Factor B Carga de tráfico
Nivel 1.- Primero en Entrar Primero en Salir (FIFO) Nivel 2.- Encolamiento Priorizado (PQ) Nivel 3.- Encolamiento Justo Ponderado (WFQ)	Nivel 1.- 7.5 Mbps (75%) Nivel 2.- 10 Mbps (100%) Nivel 3.- 12.5 Mbps (125%)



Experimento C

Diagrama





Experimento C

Procedimiento

- Se realizaron dos bloques de 9 pruebas, que abarcan todas las combinaciones de los niveles de los factores.
- El primer bloque se realizó priorizando solamente los flujos en el ruteador.
- El segundo bloque se priorizaron los flujos de prueba tanto en el switch de salida como en el ruteador.
- Se utilizó la herramienta Pathchar para realizar las pruebas.



Agenda

- ❖ Introducción
- ❖ Experimento A
- ❖ Experimento B
- ❖ **Experimento C (Tiempo y tamaño de colas)**
 - ❖ Descripción
 - ❖ **Resultados**
- ❖ Conclusiones y trabajos futuros



Experimento C

Resultados

- Resultados



Agenda

- Introducción
- Experimento A
- Experimento B
- Experimento C
- **Conclusiones y trabajos futuros**



Evolución y crecimiento de las redes

- Inicialmente solo texto.
- El correo electrónico era la aplicación mas demandante.
- No había tantas redes ni usuarios.



Preguntas?





Gracias!

Juan Antonio Castilleja García
jcastilleja@dsi.uanl.mx

Laboratorio de Interoperabilidad
www.internet2.uanl.mx/labi