



INFLUENCIA DEL VOLUMEN DE TRÁFICO SOBRE JITTER EN TUNEL VPN IPSEC/UDP EN ENLACES WAN

(Influence of the traffic volume on jitter in tunnel VPN IPSEC/UDP in WAN links)

Recibido: 12/07/2011 Aceptado: 16/11/2011

Astarte, Odina

Universidad Dr. Rafael Beloso Chac n, Venezuela
odinajacobs@hotmail.com

N nuez, Steve

Universidad Rafael Urdaneta, Venezuela
nunezsd@pdvsa.com

RESUMEN

La finalidad de la investigación fue determinar la influencia del volumen de tráfico sobre Jitter en túnel VPN IPSEC/UDP en enlaces WAN; con el objeto de establecer la relación entre el volumen de tráfico generado por un generador de paquetes y el jitter de los enlaces con la presencia de túneles VPN IPSEC/UDP, en una conexión WAN. La investigación fue de tipo explicativa, con un diseño experimental de campo. Las muestras de los datos provienen de dos escenarios de prueba creados por el investigador, de los cuales el primero, considerado de referencia se establece una topología sin protocolos de seguridad IP (IPSEC); el segundo es igual al primero, con la incorporación del protocolo de seguridad. Se establecieron escenarios de prueba, basados en transmisiones sucesivas de marcos de 12.500 bytes, cubriendo la totalidad de capacidad de canal del medio, determinándose el retardo y los jitter de cada caso. Asimismo, mediante el método de estimación de curvas se obtiene que la ecuación más representativa del comportamiento fue la exponencial, generando un modelo que obedece a la ecuación $J = 0,024 e^{(1,73E-006) \cdot VT}$, permitiendo concluir que sí existe influencia del volumen de tráfico en túneles VPN IPSEC/UDP.

Palabras claves: Jitter, Volumen de tráfico, VPN, Estimación curvilínea.

ABSTRACT

The purpose of the investigation was to determine the traffic volume influence on a VPN IPSEC/UDP tunnel performance thru WAN links; with the aim to establish a relationship between the traffic volume generated by a package's builder and the link's performance with the presence of a virtual private network IPSEC in a point to point link. The investigation was catalogued as explanatory, with experimental and field design. The samples of the information were obtained from 2 scenes created by the investigator, in the first, the topology assembly was established without forming the VPN tunnel as a reference point; the second is identical to the first, with the addition of an IPSEC tunnel. Then, proceeding to establish the experiment traffic volumes where test packages were created in sizes of 12.500 bytes, which were increased by the same volume until completing the total of twenty sample series and proceeding to transmit them to both



scenes, achieving the first goal titled Establishment of the Test Scenes. Later, the corresponding formulas were applied to the traffic measurements sent of tests 1 and 2, obtaining the performance, fulfilling the second aim called Determining the Volume Traffic Influence on the Tunnels Performance. Finally, using the curve's estimation method, the most assertive graph was obtained, which was cubic, which generated a model with the equation $J = 0,024 e^{(1,73E-006) \cdot VT}$, giving fulfillment to the last goal which was to mold the traffic influence, allowing to conclude that there exists traffic volume influence in IPSEC/UDP tunnels.

Keywords: Performance, Traffic volume, Tunnels, Curvilinear estimation.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad nos encontramos en un momento decisivo respecto al uso de la tecnología para extender y fortalecer nuestra red humana. La globalización de internet se ha producido más rápido de lo previsto. El modo en que se producen las interacciones sociales, comerciales, políticas y personales cambia en forma continua para estar al día con la evolución de esta red global.

Las empresas proveedoras de servicio de internet (ISP), permiten a otras instituciones traspasar el umbral de su red de área local (LAN), con el fin de poderse comunicar a otros lugares del mundo y realizar sus transacciones u operaciones. Los ISP en Venezuela, proveen como medio de conexión canales de transmisión E1 (2048 Kb) o múltiplos de ellos. Sin embargo para controlar la transmisión de información de manera segura a través de un medio de libre acceso como el internet, es cada vez más frecuente la utilización de túneles VPN con el fin de proteger dicha información a través de procesos de encriptación desde emisor hasta receptor.

Entre las redes privadas virtuales (VPN) de uso más frecuente se tiene el protocolo de seguridad IP (IPSEC), debido a su versatilidad, seguridad y simplicidad de administración; ofreciendo protección tanto a la capa IP como a los protocolos de capas superiores del modelo OSI.

Sin embargo, no existe referencia de que manera los túneles VPN IPSEC/UDP durante su proceso de encriptación y desencriptación producen variaciones de retardo en los volúmenes de información transmitidas entre origen y destino, es por ello que el objetivo de la presentación es evaluar la influencia del volumen de tráfico sobre jitter en túneles VPN/IPSEC en enlaces WAN. Por tales motivos, el desarrollo de la presente investigación, estructura su desarrollo en fases de la siguiente manera:

Primera sección, en la cual se establece el planteamiento del problema, para determinar la influencia del volumen de tráfico sobre jitter en un túnel VPN IPSEC/UDP en enlaces WAN. Presentando los objetivos de la investigación, justificando el proyecto desde la perspectiva teórica, práctica y metodológica; finalizando con la delimitación de la investigación. Segunda sección, donde se establece el marco referencial de la investigación conformado por sus antecedentes, bases teóricas y definición conceptual y operacional de las variables en estudio.

Tercera sección, en la cual se define tanto el tipo de investigación como su diseño, técnicas e instrumentos de recolección de datos, así como las fases para el desarrollo de la misma hasta llegar a la obtención de los resultados. Cuarta sección, conteniendo el análisis de los resultados obtenidos, así como las conclusiones relacionadas a estos, para finalizar con las recomendaciones sugeridas por parte del investigador con relación a los resultados obtenidos y el material bibliográfico respectivo.

FASE I: DISEÑO, SELECCIÓN DE ELEMENTOS Y ESCENARIOS DE PRUEBA

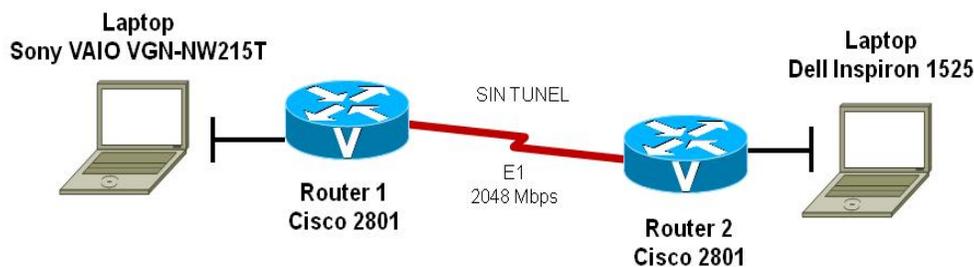
Para el diseño y selección de los escenarios experimentales, deben considerarse cada uno de los elementos a ser utilizados, los cuales involucran la evaluación de la influencia del volumen del tráfico en esta investigación.

Es por ello que se plantean dos (2) escenarios de prueba: el primer escenario, considerado de referencia es donde se procede a emplear la conexión entre dos enrutadores a través de un enlace E1 sin IPSEC, es decir, desprovisto de seguridad, con el fin de obtener resultados en los cuales los encapsulamiento y desencapsulamiento de las tramas sean en condiciones normales. Además, se transferirán archivos de tipo UDP, que involucra la capa de red del modelo OSI; sin considerar Ethernet, con lo cual la información será encapsulada únicamente por las cabeceras UPD e IP, para un total de 28 bytes.

En el segundo escenario de prueba, la conexión E1 entre los enrutadores contó con un túnel VPN/IPSEC, donde los jitter resultantes fueron de mayor tamaño con respecto al primer escenario, debido al nuevo encapsulamiento-desencapsulamiento de la capa de red del modelo OSI con una carga adicional de 20 bytes de cabecera, es decir, 48 bytes adicionales al primer escenario. Al comparar el intercambio del volumen de tráfico en un escenario desprovisto de seguridad (sin IPSEC) y con seguridad.

Es decir; con IPSEC se obtendrán valores superiores de jitter en comparación con el primer escenario, este fenómeno se debe al aplicar seguridad a través del protocolo IPSEC. En la figura 1, se muestra el primer escenario descrito, con el fin de obtener una variación de retardo (jitter) referencial con respecto a la red bajo un túnel VPN IPSEC/UDP, a través de un enlace E1.

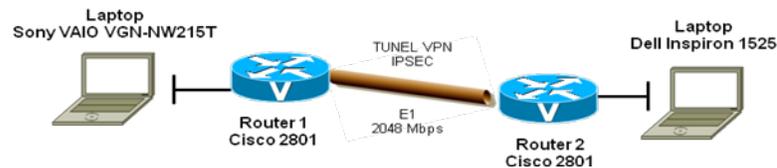
Figura 1. Escenario de prueba sin túnel



Fuente: elaboración propia.

El primer escenario está compuesto por dos (2) ordenadores (Laptops), dos (2) enrutadores cisco 2801 con interfaces VWIC2-1MFT-G703 para la conexión E1, dos (2) cables UTP categoría 6, un (1) cable cruzado, un (1) analizador de protocolos, (1) un generador de paquetes, un (1) solo sistema operativo para ambos ordenadores. En el ordenador emisor será instalado el generador de tráfico, el cual permitirá enviar información hacia el otro equipo, cruzando los enrutadores. Seguidamente en la figura 2, se muestra la representación del segundo escenario:

Figura 2. Escenario de prueba aplicando VPN IPSec



Fuente: elaboración propia.

Este escenario difiere del primero ya que se estableció un túnel VPN/IPSEC, agregando un nuevo proceso de empaquetado a la información transmitida.

FASE II: ESTABLECIMIENTO DE LOS VOLÚMENES DE TRÁFICO PARA EL EXPERIMENTO DE LA INVESTIGACIÓN

En el establecimiento de los volúmenes de tráfico de los escenarios de prueba evaluados para generar los envíos en bit, se establecieron los tamaños de los archivos 100.000 bits con incrementos de 100.000 bits, hasta alcanzar la capacidad del canal de transmisión establecido de 2.000.000 bits, con 20 puntos de observación con crecimiento de la tasa de transferencia en orden exponencial; a fin de obtener una mejor óptica de la curva de jitter.

En el cuadro 1 se muestran los tamaños de los archivos mencionados anteriormente, aplicando los cálculos establecidos en la metodología de la investigación; considerando las cabeceras UDP e IP en el escenario sin túnel.

Cuadro 1. Cálculo de archivos sin protocolo de seguridad IPSec

Archivo en Bits	Archivo en Byte	Nº de fragmentos del Archivo en (Bytes)	Redondeo hacia arriba	Nº de bytes por cabecera de protocolos en Bytes UDP + IP	Nº de bytes por cabecera de protocolos en Bits UDP + IP	Tamaño del Archivo en Bits	Tamaño del Archivo en Bytes
100.000	12.500	8,4918478261	9	252	2.016	97.984	12.248
200.000	25.000	16,9836956522	17	476	3.808	196.192	24.524
300.000	37.500	25,4755434783	25	700	5.600	294.400	36.800



400.000	50.000	33,9673913043	34	952	7.616	392.384	49.048
500.000	62.500	42,4592391304	42	1.176	9.408	490.592	61.324
600.000	75.000	50,9510869565	51	1.428	11.424	588.576	73.572
700.000	87.500	59,4429347826	59	1.652	13.216	686.784	85.848
800.000	100.000	67,9347826087	68	1.904	15.232	784.768	98.096
900.000	112.500	76,4266304348	76	2.128	17.024	882.976	110.372
1.000.000	125.000	84,9184782609	85	2.380	19.040	980.960	122.620
1.100.000	137.500	93,4103260870	93	2.604	20.832	1.079.168	134.896
1.200.000	150.000	101,9021739130	102	2.856	22.848	1.177.152	147.144
1.300.000	162.500	110,3940217391	110	3.080	24.640	1.275.360	159.420
1.400.000	175.000	118,8858695652	119	3.332	26.656	1.373.344	171.668
1.500.000	187.500	127,3777173913	127	3.556	28.448	1.471.552	183.944
1.600.000	200.000	135,8695652174	136	3.808	30.464	1.569.536	196.192
1.700.000	212.500	144,3614130435	144	4.032	32.256	1.667.744	208.468
1.800.000	225.000	152,8532608696	153	4.284	34.272	1.765.728	220.716
1.900.000	237.500	161,3451086957	161	4.508	36.064	1.863.936	232.992
2.000.000	250.000	169,8369565217	170	4.760	38.080	1.961.920	245.240

Fuente: elaboración propia.

En el cuadro 2, se muestran los archivos con la aplicación del protocolo de seguridad IPSec, donde es notoria la diferencia en el tamaño de las cabeceras en comparación con el escenario sin túnel.

Cuadro 2. Cálculo de archivos con protocolo de seguridad IPSec

Archivo en Bits	Archivo en Byte	Nº de fragmentos del Archivo en (Bytes)	Redondeo hacia arriba	Nº de bytes por cabecera de protocolos en Bytes UDP + IP + IPSec	Nº de bytes por cabecera de protocolos en Bits UDP + IP + IPSec	Tamaño del Archivo en Bits	Tamaño del Archivo en Bytes
100.000	12.500	8,6088154270	9	432	3.456	96.544	12.068
200.000	25.000	17,2176308540	17	816	6.528	193.472	24.184
300.000	37.500	25,8264462810	26	1.248	9.984	290.016	36.252
400.000	50.000	34,4352617080	34	1.632	13.056	386.944	48.368
500.000	62.500	43,0440771350	43	2.064	16.512	483.488	60.436
600.000	75.000	51,6528925620	52	2.496	19.968	580.032	72.504
700.000	87.500	60,2617079890	60	2.880	23.040	676.960	84.620
800.000	100.000	68,8705234160	69	3.312	26.496	773.504	96.688
900.000	112.500	77,4793388430	77	3.696	29.568	870.432	108.804
1.000.000	125.000	86,0881542700	86	4.128	33.024	966.976	120.872
1.100.000	137.500	94,6969696970	95	4.560	36.480	1.063.520	132.940



1.200.000	150.000	103,3057851240	103	4.944	39.552	1.160.448	145.056
1.300.000	162.500	111,9146005510	112	5.376	43.008	1.256.992	157.124
1.400.000	175.000	120,5234159780	121	5.808	46.464	1.353.536	169.192
1.500.000	187.500	129,1322314050	129	6.192	49.536	1.450.464	181.308
1.600.000	200.000	137,7410468320	138	6.624	52.992	1.547.008	193.376
1.700.000	212.500	146,3498622590	146	7.008	56.064	1.643.936	205.492
1.800.000	225.000	154,9586776860	155	7.440	59.520	1.740.480	217.560
1.900.000	237.500	163,5674931129	164	7.872	62.976	1.837.024	229.628
2.000.000	250.000	172,1763085399	170	8.160	65.280	1.934.720	241.840

Fuente: elaboración propia.

FASE III: DETERMINAR EL EFECTO DEL VOLUMEN DE TRÁFICO SOBRE EL JITTER DEL ENLACE

Luego de establecer los volúmenes de tráfico en la fase anterior, se adquieren los resultados del jitter tanto para el escenario desprovisto de seguridad (sin IPSec), y con protocolo de seguridad IPSec, basados en los resultados del cuadro 3.

Cuadro 3. Efectos del jitter en ambos escenarios

Ítems Nº	Volumen Bytes	Retardo UDP Simple	Retardo UDP IPSEC	Jitter UDP Simple	Jitter UDP IPSEC	Diferencial Jitter Simple - Jitter IPSEC	JPU	% Dif
1	12500	0,053218	0,064847	0,003218	0,014847	0,011630	7,4429E-06	43,92
2	25000	0,105856	0,129679	0,005856	0,029679	0,023823	7,62337E-06	44,53
3	37500	0,159747	0,194687	0,009747	0,044687	0,034940	7,45387E-06	43,88
4	50000	0,220985	0,259619	0,020985	0,059619	0,038635	6,18158E-06	39,32
5	62500	0,265994	0,324264	0,015994	0,074264	0,058270	7,45856E-06	43,97
6	75000	0,324806	0,389239	0,024806	0,089239	0,064433	6,87287E-06	41,93
7	87500	0,376597	0,454030	0,026597	0,104030	0,077433	7,07959E-06	42,67
8	100000	0,431749	0,518919	0,031749	0,118919	0,087170	6,9736E-06	42,30
9	112500	0,484210	0,583900	0,034210	0,133900	0,099690	7,08905E-06	42,68
10	125000	0,537478	0,648263	0,037478	0,148263	0,110785	7,09025E-06	42,77
11	137500	0,584552	0,713192	0,034552	0,163192	0,128640	7,48451E-06	44,08
12	150000	0,641168	0,778094	0,041168	0,178094	0,136926	7,30269E-06	43,47
13	162500	0,696320	0,842981	0,046320	0,192981	0,146661	7,22024E-06	43,18
14	175000	0,747836	0,907969	0,047836	0,207969	0,160133	7,32039E-06	43,50
15	187500	0,799168	0,972765	0,049168	0,222765	0,173598	7,40684E-06	43,80
16	200000	0,854515	1,037902	0,054515	0,237902	0,183387	7,33547E-06	43,53
17	212500	0,908484	1,103069	0,058484	0,253069	0,194585	7,32553E-06	43,47
18	225000	0,960050	2,134314	0,060050	1,234314	1,174264	4,17516E-05	48,75
19	237500	1,013971	3,513419	0,063971	2,563419	2,499448	8,41919E-05	49,37
20	250000	1,965706	1,297706	0,965706	0,297706	-0,668000	-2,1376E-05	

Fuente: elaboración propia.



En el tratamiento de los resultados del cuadro 14, se puede observar que el porcentaje diferencial de jitter (% diferencial) entre el escenario sin túnel (Jitter UDP simple) y el escenario con túnel (Jitter UDP IPSEC), representa un valor porcentual por encima del 41,93% en la mayoría de los casos, hasta un valor de 49,37%, lo cual se refleja en el escenario con túnel, debido a que posee el doble de fragmentos UDP por ocupación de la máxima unidad de transferencia en campos de control, en comparación con el escenario de referencia, originando un mayor retardo y por ende mayor cantidad de jitter.

Al transferir archivos de 237500 bytes, la diferencia entre ambos escenarios está por encima del 49%, mientras que en los archivos de 250000 bytes no reflejan su comportamiento, debido a la pérdida de la mayoría de los paquetes en el escenario con túnel en cada una de las treinta repeticiones.

FASE IV: MODELADO DE LA INFLUENCIA DEL VOLUMEN DE TRÁFICO SOBRE EL JITTER EN TÚNEL VPN Y GENERACIÓN DE CURVAS DE DATOS

En esta cuarta fase se elabora el modelado de la influencia del volumen de tráfico sobre jitter en un túnel VPN/IPSEC, a partir de los resultados del volumen de tráfico y el variación del retardo para ambos escenarios.

Para obtener la variación de retardo se procedió a calcular los retardos para ambos escenarios, en el caso sin túnel se aplicó la estimación curvilínea para determinar la mejor ecuación a aplicar, dando como resultado exponencial con un R^2 de 0,885 como se muestra en el cuadro 4.

Cuadro 4. Resumen del modelo y estimación de parámetros de retardos sin túnel

Variable dependiente: RetardosinTunel

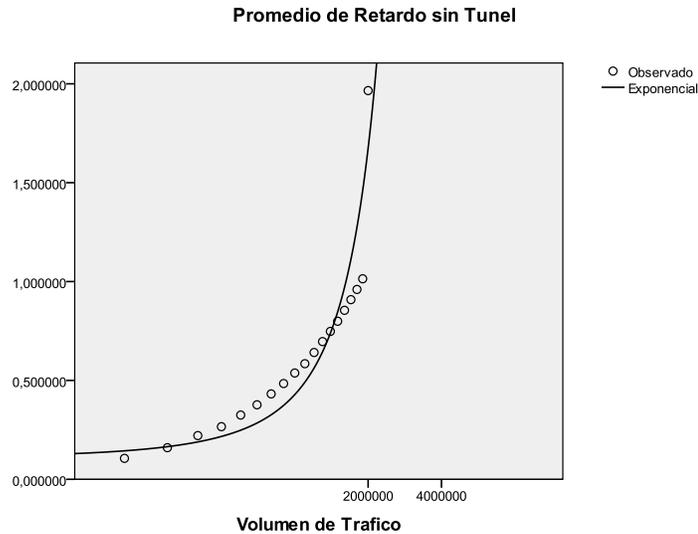
Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros			
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Lineal	,816	79,608	1	18	,000	-,087	6,609E-7		
Logarítmica	,635	31,299	1	18	,000	-5,179	,424		
Inversa	,337	9,131	1	18	,007	,809	-112384,829		
Cuadrático	,857	50,827	2	17	,000	,135	5,427E-8	2,889E-13	
Cúbico	,901	48,572	3	16	,000	-,183	1,676E-6	-1,595E-12	5,982E-19
Compuesto	,885	138,991	1	18	,000	,110	1,000		
Potencia	,976	745,056	1	18	,000	3,105E-7	1,042		
S	,778	63,238	1	18	,000	-,171	-338409,746		
Crecimiento	,885	138,991	1	18	,000	-2,211	1,363E-6		
Exponencial	,885	138,991	1	18	,000	,110	1,363E-6		
Logística	,885	138,991	1	18	,000	9,128	1,000		

La variable independiente es Volumen de Tráfico.

Fuente: elaboración propia.

Al graficar el comportamiento del modelo exponencial, de acuerdo a lo ilustrado en la figura 3, se puede observar que el modelo seleccionado para el escenario sin túnel, muestra un patrón de comportamiento acorde a los valores obtenidos en la transferencia de los volúmenes de tráfico del experimento.

Figura 3. Comparación del modelo exponencial con el retardo observado en el escenario sin túnel



Fuente: elaboración propia.

Luego para el cálculo del retardo con túnel se aplicó igualmente que en el primer escenario la estimación curvilínea para determinar la mejor ecuación a aplicar, dando como resultado exponencial con un R^2 de 0,882, como se muestra en el cuadro 5.

Cuadro 5. Resumen del modelo y estimación de parámetros de retardos con túnel

Variable dependiente: Retardo con Túnel

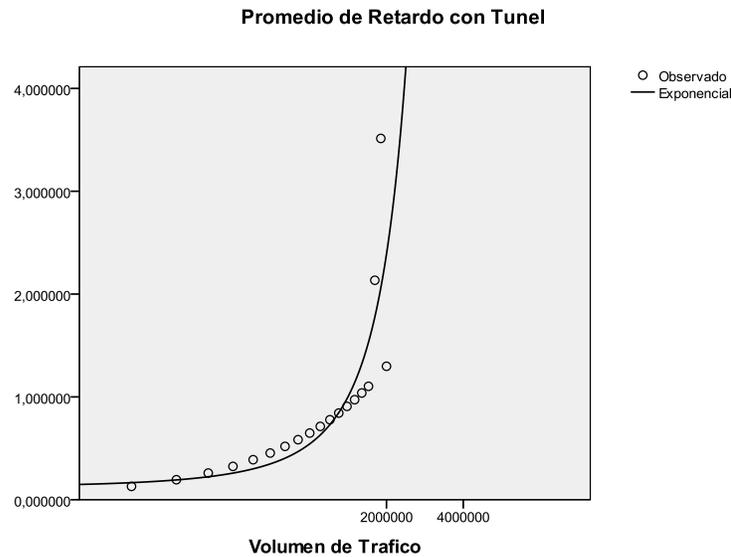
Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros			
	R cuadrado	F	qi1	qi2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Lineal	,617	29,010	1	18	,000	-,258	1,049E-6		
Logarítmica	,447	14,525	1	18	,001	-8,013	,650		
Inversa	,217	4,992	1	18	,038	1,140	-164755,034		
Cuadrático	,677	17,778	2	17	,000	,230	-2,816E-7	6,338E-13	
Cúbico	,686	11,639	3	16	,000	-,035	1,069E-6	-9,357E-13	4,982E-19
Compuesto	,882	134,694	1	18	,000	,123	1,000		
Potencia	,928	233,604	1	18	,000	1,655E-7	1,106		
S	,709	43,768	1	18	,000	,096	-351453,924		
Crecimiento	,882	134,694	1	18	,000	-2,092	1,481E-6		
Exponencial	,882	134,694	1	18	,000	,123	1,481E-6		
Logística	,882	134,694	1	18	,000	8,098	1,000		

La variable independiente es Volumen de Tráfico.

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la figura 4, al igual que el otro escenario el modelo exponencial muestra en el caso con túnel, un patrón de comportamiento acorde a los valores obtenidos en la transferencia de los volúmenes de tráfico del experimento.

Figura 4. Comparación del modelo exponencial con el retardo observado en el escenario con túnel



Fuente: elaboración propia.

Para determinar la influencia de las variaciones de retardo (jitter), con respecto a los volúmenes de tráfico representados por los tamaños de archivos, se realizó una prueba de los efectos inter sujetos de los datos para ambos escenarios, como lo muestra el cuadro 6.

Cuadro 6. Prueba de los efectos inter – sujetos

Variable dependiente: Jitter

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	6,622 ^a	21	,315	2,731	,003
Intersección	5,705	1	5,705	49,412	,000
tambit	4,653	19	,245	2,121	,024
tunel	1,969	2	,984	8,527	,001
Error	4,387	38	,115		
Total	16,715	60			
Total corregida	11,010	59			

a. R cuadrado = ,601 (R cuadrado corregida = ,381)

Fuente: elaboración propia.

En la prueba de los efectos inter sujetos del cuadro 17, se observa que el efecto del volumen de tráfico o el tamaño del archivo transmitido (representado por tambit), es altamente significativa estadísticamente con una distribución Fisher de 2,121 y una significancia para la prueba de 0,24; siendo menor a 0,05. Además, los efectos del túnel



son muy relevantes con una distribución Fisher de 8,527; con una significancia menor a 0,01, resaltando que la diferencia está determinada por la presencia o no del túnel.

Mediante el análisis de una prueba de significancia de Duncan, se logró diferenciar los grupos conformados por las variaciones de retardo, con respecto a los volúmenes de tráfico utilizados en ambos escenarios, como lo muestra el cuadro 7.

Cuadro 7. Prueba de Duncan, para grupos de variaciones de retardo

Tamaño del archivo en bits	N	Subconjunto				
	1	2	3	4	1	
1	3	,02269				
2	3	,04518				
3	3	,06814	,06814			
4	3	,09353	,09353	,09353		
5	3	,11342	,11342	,11342		
6	3	,13802	,13802	,13802		
7	3	,16021	,16021	,16021		
8	3	,18356	,18356	,18356		
9	3	,20604	,20604	,20604		
10	3	,22858	,22858	,22858		
11	3	,24925	,24925	,24925		
12	3	,27309	,27309	,27309		
13	3	,29643	,29643	,29643		
14	3	,31860	,31860	,31860		
15	3	,34064	,34064	,34064		
16	3	,36414	,36414	,36414		
17	3	,38718	,38718	,38718		
18	3		,73145	,73145	,73145	
20	3			,75447	,75447	
19	3					1,19246
Significación		,280	,054	,055		,124

Fuente: elaboración propia.

Se observa que existen varios grupos de jitter organizados en distintos subconjuntos, donde el archivo de 1900000 bits alcanza mayor volumen de tráfico con un jitter de 1.19246 segundos, los archivos de 100000 y 200000 bits no se diferencian entre sí, mientras que el resto oscilan entre ellos.

Para determinar la influencia de la presencia del túnel, se realizó un análisis de prueba de significancia de Duncan, con respecto a los tiempos ideales de transmisión, según el cuadro 8. El cual establece que con túnel no existe diferencia entre el tiempo ideal (0,52500 seg) y las variaciones de retardo con túnel (0.31844 seg).

Sin embargo con la ausencia de túnel se obtienen los menores niveles de jitter (0,08162 seg), corroborando la hipótesis alternativa H₁, indicando que existe influencia del volumen de tráfico sobre el jitter en un túnel VPN/IPSEC en enlaces WAN.

Cuadro 8. Influencia del túnel con los tiempos ideales de transmisión Duncan - Jitter

Presencia del túnel	N	Subconjunto	
		1	2
Sin túnel	20	,08162	
Con túnel	20		,31844
Tiempo ideal	20		,52500
Significación		1,000	,062

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = ,115.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 20,000

b Alfa = ,05.

Fuente: elaboración propia.

Aplicando el método de correlación para la estimación de curva en el escenario sin túnel, se obtiene que el comportamiento del modelo exponencial ajustándose al recorrido realizado por los datos observados en el experimento y según lo indicado en el cuadro 9, su R^2 es igual a 0,729.

Cuadro 9. Resumen del modelo y parámetros Jitter – Sin Tunel

Variable dependiente: Promedio de Jitter Sin Tunel

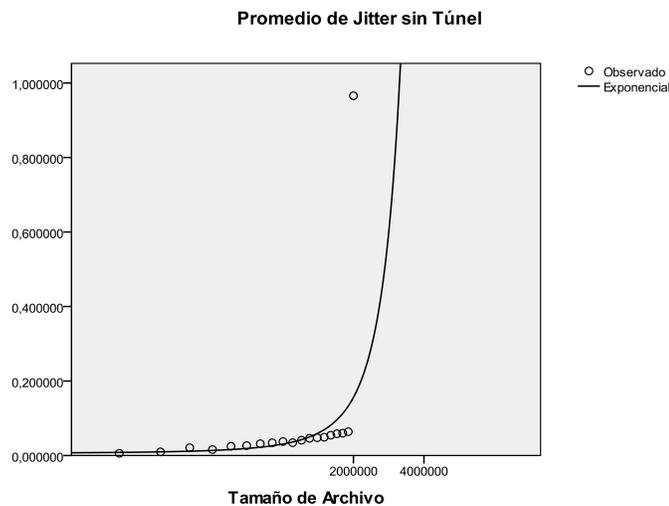
Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros			
	R cuadrado	F	g1	g2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Lineal	,208	4,718	1	18	,043	-,087	1,61E-007		
Logarítmica	,111	2,240	1	18	,152	-1,084	,085		
Inversa	,040	,753	1	18	,397	,115	-18724,6		
Cuadrático	,384	5,308	2	17	,016	,135	-4,5E-007	2,89E-013	
Cúbico	,575	7,213	3	16	,003	-,183	1,18E-006	-1,6E-012	5,98E-019
Compuesto	,729	48,384	1	18	,000	,006	1,000		
Potencia	,735	49,906	1	18	,000	3,20E-009	1,186		
S	,558	22,737	1	18	,000	-2,722	-375763		
Crecimiento	,729	48,384	1	18	,000	-5,102	1,62E-006		
Exponencial	,729	48,384	1	18	,000	,006	1,62E-006		

La variable independiente es Tamaño (bits).

Fuente: elaboración propia.

La representación del modelo mostrada en la figura 5 indica que el modelo exponencial en el escenario sin túnel, es un patrón de comportamiento acorde a los valores obtenidos en la transferencia de los volúmenes de tráfico del experimento.

Figura 5. Comparación del modelo exponencial con los jitters observados en el escenario sin túnel



Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos arrojan un modelo que se ajusta al comportamiento de la influencia del volumen de tráfico en túneles VPN IPSEC/UDP en enlaces WAN de tipo E1 y el cual es representado por la ecuación 1.

$$\text{Exponencial } Y = B_0 e^{(b_1) t} \quad (1)$$

$$\text{Jitter } st = 0,006 e^{(1,62E-0,006) * VT}$$

Por otra parte, la mejor estimación del modelo del escenario con túnel para el experimento, determinó igual ponderación de los casos de las ecuaciones de crecimiento y compuesto, escogiéndose el modelo exponencial debido al comportamiento real del volumen de tráfico, con un R^2 igual a 0,797; como lo muestra el cuadro 10.

Cuadro 10. Resumen del modelo y estimación de parámetros – Con Túnel

Variable dependiente: Promedio de Jitter Con Túnel

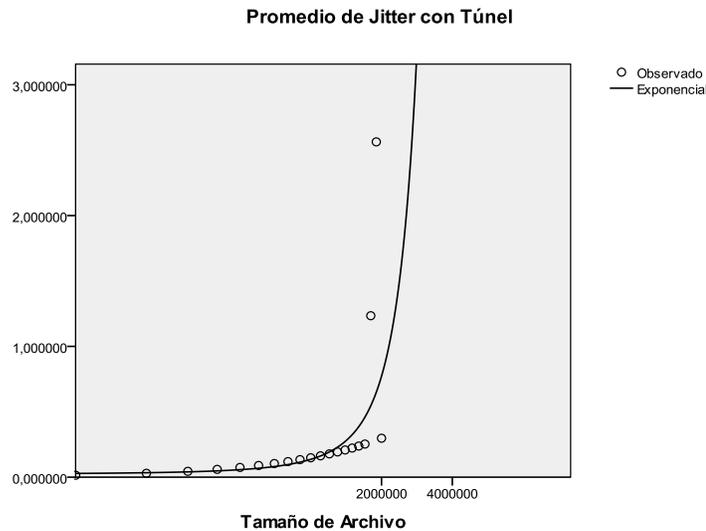
Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de los parámetros			
	Rcuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Lineal	,306	7,950	1	18	,011	-,258	5,49E-007		
Logarítmica	,185	4,089	1	18	,058	-3,918	,311		
Inversa	,073	1,422	1	18	,248	,446	-71,094,8		
Cuadrático	,414	6,005	2	17	,011	,230	-7,8E-007	6,34E-013	
Cúbico	,431	4,036	3	16	,026	-,035	5,69E-007	-9,4E-013	4,98E-019
Compuesto	,797	70,794	1	18	,000	,024	1,000		
Potencia	,769	60,013	1	18	,000	6,82E-009	1,240		
S	,544	21,483	1	18	,000	-1,223	-379160		
Crecimiento	,797	70,794	1	18	,000	-3,726	1,73E-006		
Exponencial	,797	70,794	1	18	,000	,024	1,73E-006		

La variable independiente es Tamaño (bits).

Fuente: elaboración propia.

La representación del modelo exponencial ilustrado en la figura 6 para el escenario con túnel, muestra que dicho modelo presenta un patrón de comportamiento similar a los valores de las variaciones de retardo resultantes de las transferencias de los volúmenes de tráfico del experimento.

Figura 6. Comparación del modelo exponencial con los jitters observados en el escenario con túnel





De acuerdo a los criterios establecidos según la norma UIT-T G.703 Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) (1998), un enlace E1 puede ser sometido a volúmenes de tráfico permanentes hasta 1.920.000 bits, lo que se corrobora en las pruebas realizadas en esta investigación; ya que al superar este umbral el nivel de transferencia suele decaer por la saturación del canal de transmisión.

En concordancia con la investigación de Naveda (2009), la metodología utilizada en esta investigación para calcular los niveles de retardo, fueron los adecuados para obtener los tiempos de transmisión de los paquetes, permitiendo calcular a partir de ellos los niveles de jitter para su posterior análisis.

Los resultados obtenidos en esta investigación corroboran que por medio del suavizamiento se logran descartar los valores atípicos que distorsionan el comportamiento de los datos por medio del modelo no lineal polinómico, logrando concordancia con los valores observados de la realidad en ambos escenarios, a diferencia de Naveda (2009), el cual aplicó el método de mínimos cuadrados de Fuenmayor (2008), Al Safadi (2008) y Lunar (2008); quienes utilizaron el método de análisis numérico de interpolación cubica.

CONCLUSIONES

De los análisis e interpretaciones derivados de los resultados obtenidos en la presente investigación, se obtienen las siguientes conclusiones:

Se determinó que existe influencia del volumen de tráfico en la implementación de túneles VPN IPSEC/UDP, debido a que las variaciones de retardo (jitter) en túneles VPN IPSEC/UDP procesados en el escenario experimental de la presente investigación, ocupa el 49,37% del canal de transmisión.

Las mediciones resultantes de los experimentos, establecen que las variaciones de retardo (jitter) de tipo UDP en túneles VPN IPSEC sobre enlaces WAN realizadas a través de un enlace E1, permiten establecer satisfactoriamente servicios tanto de voz, datos y video; por un mismo canal cuando se aplican calidad de servicio, siempre y cuando no se exceda la capacidad establecida por la norma ITU-T G.703 de 1.920.000 bits/seg. Generalmente estos enlaces tienen capacidad de soportar hasta 30 líneas sin llegar a comprimir la información de la voz lo suficiente como para degradarla, más 2 líneas que se ocupan para el envío y recepción de información.

Se determina que el comportamiento de los túneles VPN IPSEC/UDP corresponde a la estimación curvilínea exponencial, siendo su coeficiente de correlación de 0,797, obteniendo una correlación alta, el cual es representado por la ecuación:

$$\text{Exponencial } Y = B_0 e^{(b_1)t} \quad (7)$$

$$\text{Jitter } ct = 0,024 e^{(1,73E-006)*VT}$$



RECOMENDACIONES

Finalizadas satisfactoriamente las fases de desarrollo de la presente investigación, surge la necesidad de parte del autor de establecer ciertas recomendaciones en apoyo a todas aquellas personas o instituciones que vayan a realizar trabajos de investigación relacionados al tema, entre las cuales se mencionan:

A los investigadores se les recomienda ampliar en lo posible los criterios de selección tanto del hardware como del software, para incluir la mayor cantidad posible de características para la evaluación, y de esta manera lograr el mejor escenario de prueba posible que permita controlar adecuadamente las variables de estudio. De igual forma, debe tenerse mucho cuidado en el diseño las fichas técnicas de recolección de datos, ya que mediante el uso adecuado de ellas será posible la obtención de los resultados esperados.

A las empresas de telecomunicaciones se les recomienda considerar los resultados de la presente investigación, los cuales serán referencia de estimación del número de conexiones E1 requeridas principalmente en los casos donde se requiera transmitir señales de video, telefonía o videoconferencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al Safadi, S. (2008). Efecto del volumen de tráfico sobre el retardo producido por el intercambio de datos entre los protocolos IEEE 802.3ab y 802.11b. Tesis de Maestría. Universidad Dr. Rafael Belloso Chacín. Venezuela.
- Fuenmayor, G. (2008). Efecto del volumen de tráfico sobre el retardo producido por el intercambio de datos entre los protocolos IEEE 802.3ab y 802.11g. Tesis de Maestría. Universidad Dr. Rafael Belloso Chacín. Venezuela.
- Lunar, R. (2008). Efecto del volumen de tráfico sobre el retardo producido por el intercambio de datos entre los protocolos IEEE 802.3U E IEEE 802.11G. Tesis de Maestría. Universidad Dr. Rafael Belloso Chacín. Venezuela.
- Naveda, E. (2009). Volumen de tráfico sobre el retardo en el intercambio de datos UDP/IP/ IEEE 802.3u y UDP/IP/IEEE 802.11g. Tesis de Maestría. Universidad Dr. Rafael Belloso Chacín. Venezuela.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) (1998). Series G: Transmission systems and media, digital systems and networks. ITU-T Rec. G.703. Suiza. Publicaciones de la UIT.