

ShakeNDry_3840x2160_120fps_420_10bit_YUV.yuv

A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir de las simulaciones realizadas sobre tres topologías propuestas, transmitiendo el video *ShakeNDry_3840x2160_120fps_420_10bit_YUV.yuv*

En la Tabla 1 se presentan las condiciones de red configuradas en los enlaces para cada escenario simulado:

Tabla 1.
Condiciones de red por experimento.

id experimento	Delay [ms]	Packet Loss [%]
1	0	0
2	5	5
3	10	10

Nota: Configuración de los enlaces en cada experimento para las topologías propuestas.

1. Escenario 1: Topología sencilla

La Figura 1 corresponde a la topología simulada en el escenario 1, conformada por un *host* transmisor (h1), un *host* receptor (h2), un conmutador (s1), y un controlador (c0). El código fuente en *Python* para la creación de esta topología se encuentra en el apéndice C, con el nombre de H1S1H2.py.

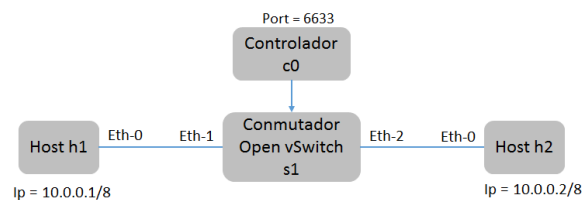


Figura 1. Topología SDN sencilla H1S1H2.py en Mininet.

Luego de la ejecución de las simulaciones, los resultados obtenidos fueron los siguientes. En primer lugar, en la Figura 2 se muestran los resultados del retardo de los paquetes recibidos, en donde se evidencia que en condiciones ideales el retardo es cero, y para condiciones variantes en los enlaces,

el retardo para los primeros fotogramas se incrementa debido a que en esos instantes se realiza el establecimiento de las rutas, lo cual hace retrasar la recepción de los fotogramas.

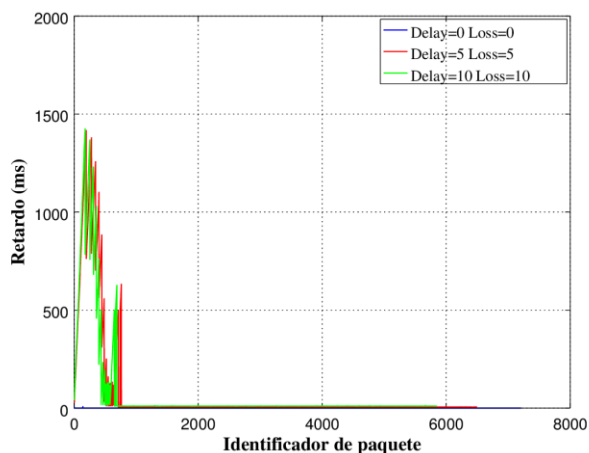


Figura 2. Packet Delay para el escenario 1: topología sencilla.

En la Figura 3 se presenta el *Throughput* medido en el host receptor, en donde se evidencia que este indicador sigue igual tendencia para los tres experimentos. Al obtener los valores de throughput medio en un periodo de 59 segundos (ver Tabla 2), se observa que este indicador disminuye a medida que se presentan variaciones en las condiciones de los enlaces, lo cual refleja que las métricas de QoS son coherentes, es decir, en el experimento con más pérdida de paquetes se obtiene un valor de throughput medio menor, debido a la información que se pierde correspondiente a los paquetes perdidos. También se evidencia que, en el experimento 1, al no tener retardo ni pérdida de paquetes, los paquetes llegan más rápido y la transmisión termina unos instantes antes que los demás experimentos.

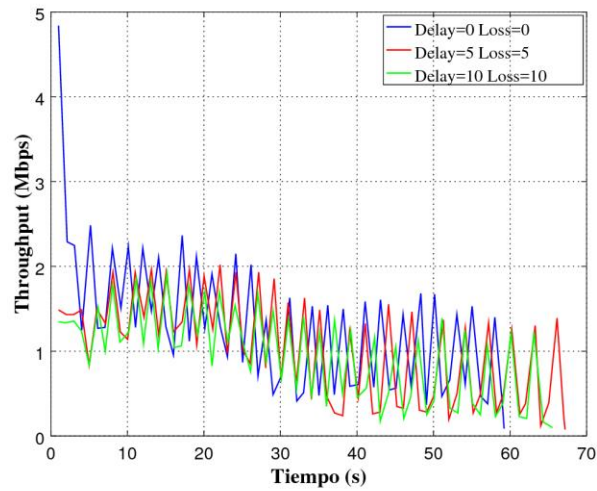


Figura 3. Throughput en el escenario 1: topología sencilla

Tabla 2.

Throughput medio en el escenario 1: topología sencilla

id experimento	Throughput medio [Mbps]
1	1.31138169
2	1.08836936
3	1.00617437

Nota: Throughput medio en Mbps obtenido en cada experimento con la topología sencilla.

La Tabla 3 resume los valores obtenidos en cuanto a paquetes perdidos para los tres experimentos, en la cual se evidencia que este indicador es congruente con los valores configurados en los enlaces. Lo cual, a su vez, demuestra que los scripts programados para el cálculo de estos parámetros a partir de las trazas de tráfico registradas, funcionan correctamente.

Tabla 3.

Packet Loss en el escenario 1: topología sencilla.

id experimento	[#] Paquetes enviados	[#] Paquetes recibidos	[#] Paquetes perdidos	[%] Paquetes perdidos
1	7207	7207	0	0
2	6842	6496	346	5.05700088
3	6530	5847	683	10.4594181

Nota: Relación de paquetes perdidos en cada experimento con la topología sencilla.

Por otra parte, en cuanto a la evaluación de la calidad del video recibido, la Figura 4 muestra el resultado del PSNR y SSIM para los tres experimentos realizados. De acuerdo a los resultados obtenidos, se evidencia mejor calidad en el video recibido cuando no existen retardos ni pérdidas en los enlaces, mientras que los valores obtenidos cuando se tienen diferentes condiciones de retardos y pérdidas, son menores, reflejando degradación en la calidad del video recibido. Esto era previsible ya que al aumentar el porcentaje de paquetes perdidos en los escenarios con pérdidas, se disminuyó el número de frames (fotogramas) correctamente decodificables.

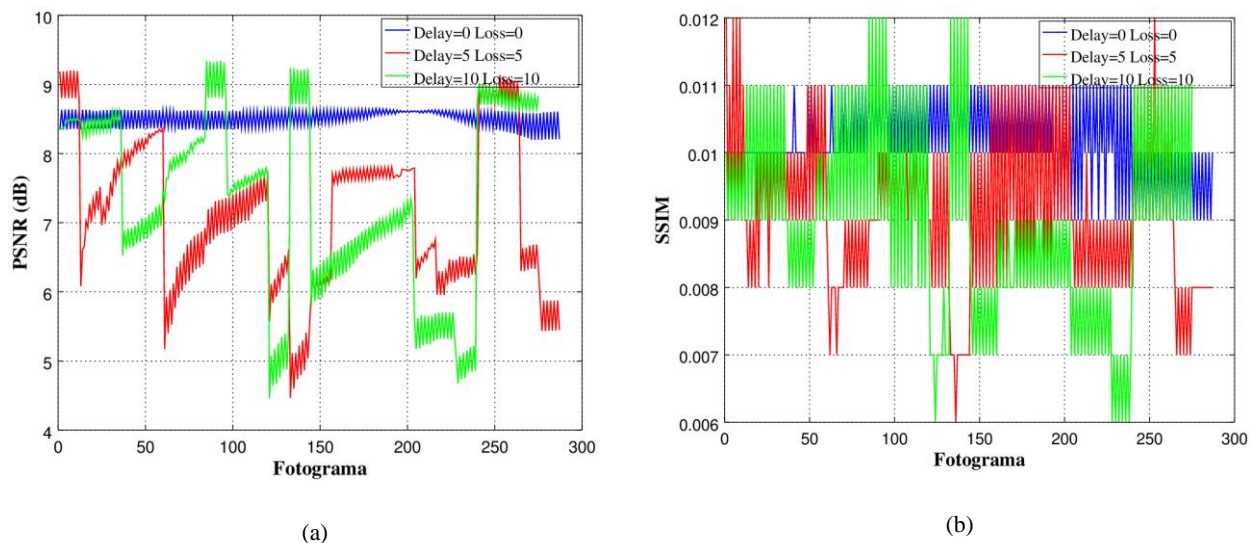


Figura 4. Escenario 1: Topología sencilla: evaluación de la calidad del video (a) PSNR, (b) SSIM.

2. Escenario 2: topología con división de tráfico en dos caminos (Split)

En la Figura 5 se presenta la topología *Split*, en la cual el tráfico recibido en S1 desde h1, es dividido 50% hacia S2 y 50% hacia S3, generando un divisor de tráfico, y mediante modificaciones del enlace S1-S2, se generan retardos y desorden en la llegada de paquetes hacia h3. El streaming de video se realiza desde h1 hacia h3. Dado que se trata de una topología multi-camino, en la cual se requiere tomar de decisiones de reenvío de paquetes (dividir tráfico), se creó un script OpenFlow para definir las rutas de reenvío. El código fuente en *Python* para la creación de esta topología y el

script de los flujos, se encuentran en el apéndice C, con el nombre de Split.py y SplitFlows.sh, respectivamente.

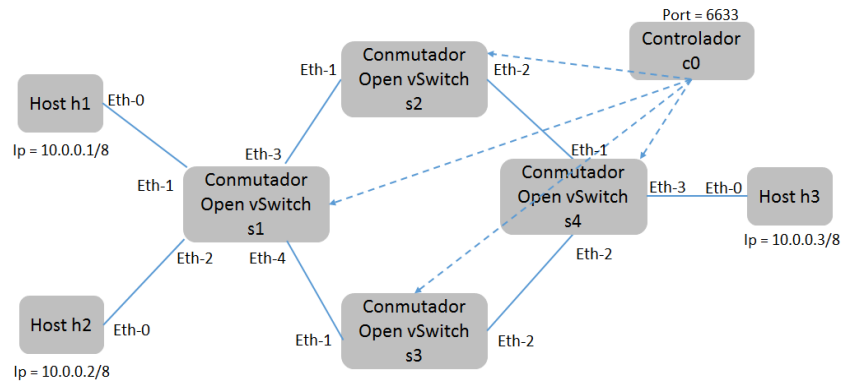


Figura 5. Topología SDN split (dos caminos) Split.py en Mininet.

Luego de la ejecución de las simulaciones, los resultados obtenidos fueron los siguientes. En la Figura 6 se muestran los resultados del retardo de los paquetes recibidos, en donde se evidencia que en condiciones ideales el retardo es cero, y a medida que se presentan variaciones en las condiciones de los enlaces, el retardo promedio es equivalente a los valores configurados en los mismos. Esta congruencia entre los resultados obtenidos y los valores configurados en los enlaces, refleja el correcto funcionamiento y configuración de la red en la herramienta MININET.

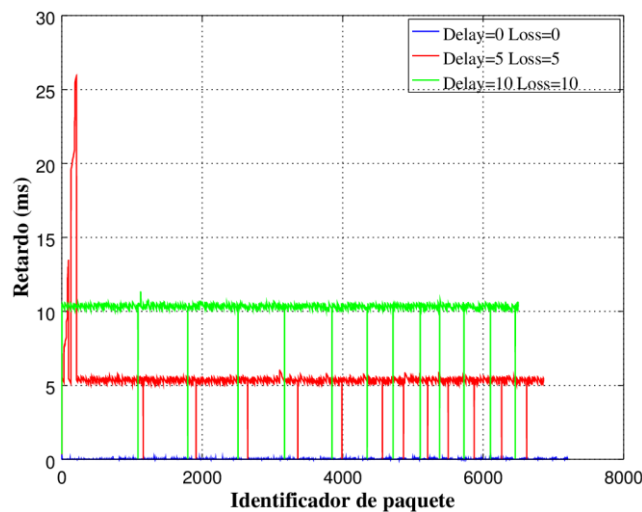


Figura 6. Packet Delay para el escenario 2: topología split.

La Figura 7 presenta el *throughput* medido en el host receptor, en donde se evidencia que este indicador sigue igual tendencia para los tres experimentos. Al obtener los valores de *throughput*

medio en un periodo de 57 segundos (ver Tabla 4), se observa que este indicador disminuye a medida que se presentan variaciones en las condiciones de los enlaces, lo cual refleja que las métricas de QoS son coherentes, es decir, en el experimento con más pérdida de paquetes se obtiene un valor de throughput medio menor, debido a la información que se pierde correspondiente a los paquetes perdidos. Al igual que en el escenario anterior, se evidencia que la transmisión finaliza primero en el experimento 1, dado que este no contempla retardo ni pérdida de paquetes en los enlaces.

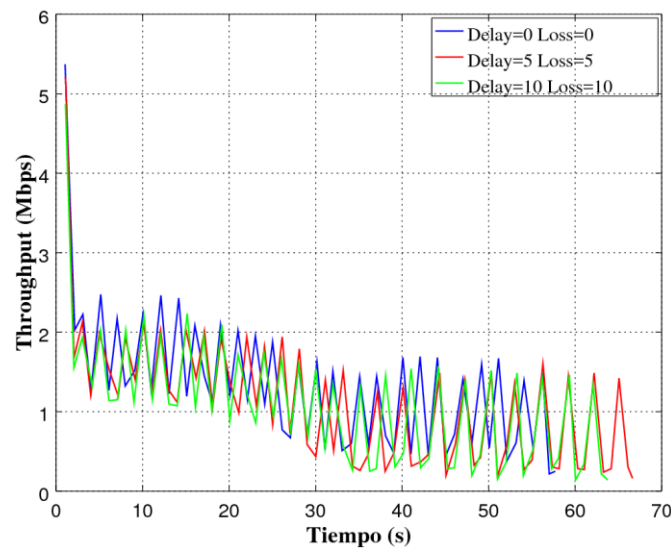


Figura 7. Throughput en el escenario 2: topología Split

Tabla 4.
Throughput medio en el escenario 2: topología Split.

id experimento	Throughput medio [Mbps]
1	1.35455607
2	1.18308154
3	1.15262316

Nota: Throughput medio en Mbps obtenido en cada experimento con la topología split.

Los valores de Packet Loss en la Tabla 5 corresponden a los resultados obtenidos para la topología Split, y en estos se evidencia la congruencia con las pérdidas configuradas en el enlace S1-S2. De esta forma, nuevamente se demuestra el correcto funcionamiento de los scripts programados para realizar el cálculo de estos parámetros a partir de las trazas de tráfico registradas.

Tabla 5.
Packet Loss en el escenario 2: topología split.

id experimento	[#] Paquetes enviados	[#] Paquetes recibidos	[#] Paquetes perdidos	[%] Paquetes perdidos
1	7207	7207	0	0
2	7208	6862	346	4.80022198
3	7208	6502	706	9.79467259

Nota: Relación de paquetes perdidos en cada experimento con la topología split.

En cuanto a la calidad del video recibido, la Figura 8 muestra el resultado del PSNR y SSIM para los tres experimentos realizados. De acuerdo con los resultados obtenidos, se evidencia que la calidad se mantiene muy similar para los frames posteriores al frame 210 aproximadamente, y para el experimento 3 (retardo 10 ms y pérdida de paquetes 10%), se produce una marcada disminución en la calidad del video recibido entre los frames 60 y 150 aproximadamente. Lo anterior es consecuencia de las condiciones de red configuradas en el enlace S1-S2, que producen desorden en la llegada de fotogramas al receptor, así como también retardo y pérdida de paquetes, ocasionando que algunos fotogramas no sea decodificables. Igualmente, la Figura 8 permite evidenciar la correlación que existe entre el PSNR y el SSIM, en donde los fotogramas que registran disminución en PSNR, así mismo registran una reducción en los valores de SSIM.

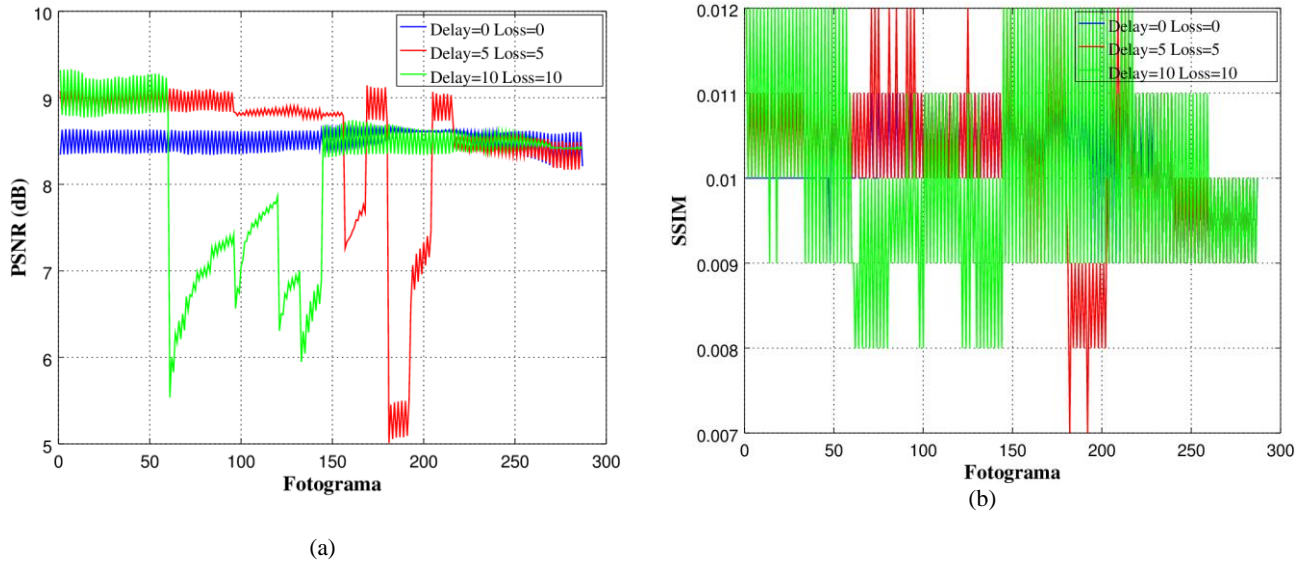


Figura 8. Escenario 2: Topología split: evaluación de la calidad del video (a) PSNR, (b) SSIM

3. Escenario 3: topología NSFnet-14.

Con el objetivo de demostrar la capacidad de la plataforma de simular topologías más realistas y complejas, se desarrolló la topología *NSFnet-14* (*National Science Foundation Network – NSFNET*), en donde el streaming de video se realiza desde host h1 hacia host h2, a través de una ruta definida. Esta topología se muestra en la Figura 9.

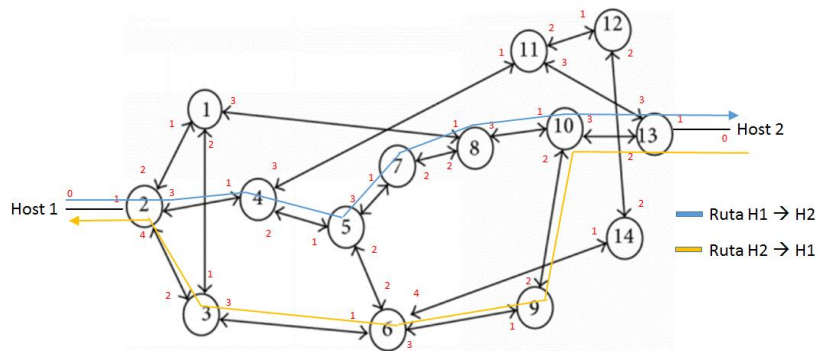


Figura 9. Topología SDN NSFnet14.py en Mininet.

Los resultados obtenidos en los tres experimentos para esta topología se muestran a continuación. En la Figura 10 se muestra el comportamiento del retardo en los paquetes recibidos, en los cuales se evidencia que los valores son proporcionales al número de saltos (enlaces) que encuentra la ruta definida, teniendo en cuenta los retardos y pérdidas configurados en cada enlace.

Estos valores son mayores a los obtenidos en las topologías anteriores, toda vez que esta red es de mayor dimensión. En línea con los escenarios simulados y mencionados en las secciones anteriores, se evidencia que, debido a las pérdidas de paquetes, la cantidad de fotogramas que llegan al receptor es menor a medida que se cambian las condiciones en los enlaces, es decir, a mayor pérdida y retardo, menos fotogramas o información llega al receptor.

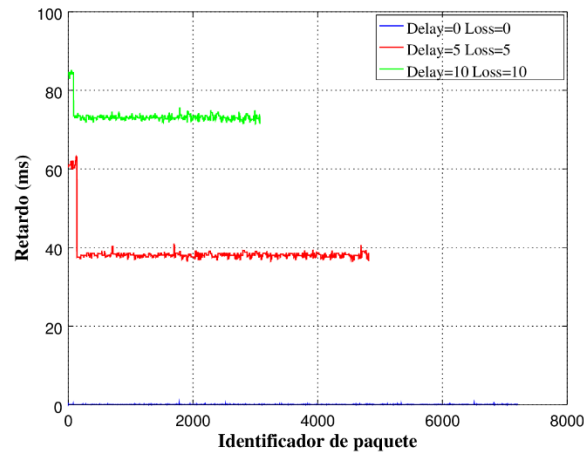


Figura 10. Packet Delay para el escenario 3: topología NSFnet-14

La Figura 11 presenta los valores de *throughput* medidos en el host h2, en donde se evidencia que para condiciones ideales de red (retardo 0 ms y 0% en pérdida de paquetes) se obtienen valores superiores de *throughput* en un menor tiempo de transmisión, mientras que en las otras condiciones de red los valores son menores a medida que se insertan retardos y pérdidas en los enlaces. Esto se demuestra con los valores de *throughput* medio mostrados en la Tabla 6. En el primer segundo de transmisión se obtiene un pico de *throughput* en los 3 experimentos, esto se debe a que durante ese segundo se recibe mayor cantidad de paquetes que en otros instantes, y los fotogramas recibidos posteriormente comienzan a sufrir los retardos y pérdidas de paquetes configurados en los enlaces.

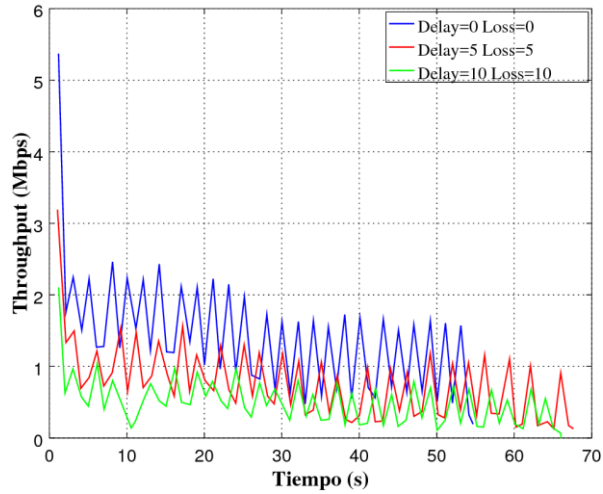


Figura 11. Throughput en el escenario 3: topología NSFnet-14

Tabla 6.
Throughput medio en el escenario 3: topología NSFnet-14.

id experimento	Throughput medio [Mbps]
1	1.431408
2	0.83533748
3	0.54529932

Nota: Throughput medio en Mbps obtenido en cada experimento con la topología NSFnet-14.

En la Tabla 7 se muestran los valores de Packet Loss, en donde igualmente se evidencia el incremento en el porcentaje de paquetes perdidos con respecto a las topologías de red simuladas en los casos anteriores.

Tabla 7.
Topología NSFnet-14. Packet Loss.

id experimento	[#] Paquetes enviados	[#] Paquetes recibidos	[#] Paquetes perdidos	[%] Paquetes perdidos
1	7206	7206	0	0
2	6840	4819	2021	29.5467836
3	6538	3074	3464	52.9825635

Nota: Relación de paquetes perdidos en cada experimento con la topología NSFnet-14.

En cuanto a la calidad del video recibido, la Figura 12 muestra los resultados para las métricas PSNR y SSIM, en los cuales se evidencia una marcada disminución en la calidad del video recibido entre los fotogramas 100 y 240 aproximadamente, para los escenarios de red que contemplan retardos y pérdida de paquetes, evidencia la correlación que existe entre la disminución de PSNR y SSIM.

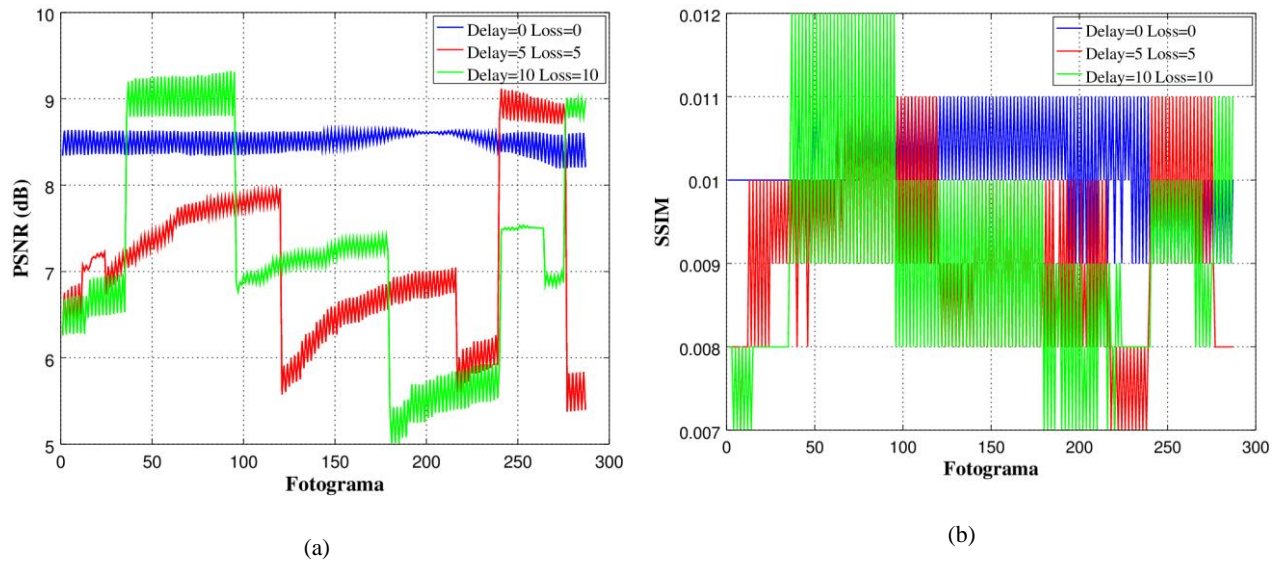


Figura 12. Escenario 3: Topología NSFnet-14: evaluación de la calidad del video (a) PSNR, (b) SSIM.