



Medición experimental de los tiempos de conmutación SNCP-N a nivel óptico en la nueva red DWDM nacional de ETECSA

*Dioen Biosca Rojas, Yohan Hernández Domínguez,
Raúl A. González García, Nereida Castilla Panadero, Alberto E. Vega Hernández*

RESUMEN

Este trabajo presenta una evaluación experimental de los tiempos de conmutación mediante protección SNCP-N a nivel óptico en la nueva red DWDM nacional desplegada por el proveedor ETECSA, basada en equipamiento Nokia 1830 PSS-16II y 1830 PSS-12X. El estudio se realizó sobre el segmento de red correspondiente a la primera fase del despliegue, abarcando las provincias desde La Habana hasta Cienfuegos, con una topología que permite diferenciar rutas norte y sur para establecer protecciones. Se configuraron cuatro flujos Ethernet a 100Gbps, balanceados entre ambas rutas, y se midieron las tramas perdidas durante la conmutación mediante un analizador EXFO FTBx-88260, calculando indirectamente los tiempos de conmutación en cada flujo. El análisis estadístico descriptivo preliminar mostró tiempos promedio muy próximos a los 50ms, con diferencias máximas del orden de 0,6ms entre flujos y una marcada heterogeneidad en las varianzas (desviaciones estándar entre 1,18ms y 2,57ms). La prueba de Lilliefors confirmó la compatibilidad con la distribución normal en todos los flujos, pero debido a la falta de homocedasticidad, se optó por la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para la comparación estadística. El resultado indica que no existen diferencias significativas entre los tiempos de conmutación (TC) para los cuatro flujos por lo que, bajo las condiciones experimentales empleadas, el mecanismo SNCP-N mantiene los tiempos de conmutación en torno al valor nominal de 50ms, independientemente del flujo analizado, validando así el cumplimiento de los valores estándar históricos de tiempos de conmutación, ahora para flujos de 100Gbps en una red DWDM moderna.

Palabras claves: DWDM, SNCP-N, tiempo de conmutación, redes ópticas, prueba de Kruskal-Wallis.

ABSTRACT

This paper presents an experimental assessment of switching times of optical layer SNCP-N protection in the new nationwide DWDM network deployed by ETECSA, based on Nokia 1830 PSS 16II and 1830 PSS 12X equipment. The study was conducted on the network segment corresponding to the first deployment phase, covering provinces from Havana to Cienfuegos, with a topology that differentiates north and south routes for protection. Four 100Gbps Ethernet flows were configured and balanced between both routes, and frame loss during switching was measured using an EXFO FTBx 88260 analyzer, indirectly computing switching times for each flow. Descriptive statistics showed average times close to 50 ms, with maximum differences of about 0.6 ms among flows and marked heteroscedasticity (standard deviations from 1.18 ms to 2.57 ms). The Lilliefors test confirmed compatibility with normal distribution for all flows. Due to heteroscedasticity, the non parametric Kruskal Wallis test was chosen for statistical comparison. The result indicates no significant differences among the four flows; therefore, under the experimental conditions, SNCP N maintains switching times around the nominal 50 ms regardless of the flow, validating compliance with historical switching time standards for 100Gbps flows in a modern DWDM network.

Keywords: DWDM, SNCP-N, switching time, optical networks, Kruskal-Wallis test.

Experimental measurement of SNCP-N switching times at the optical level in ETECSA's new national DWDM network

Recibido: 04/2026 Aceptado: 06/2026

1.- INTRODUCCIÓN

El proveedor nacional de Telecomunicaciones ETECSA recientemente ha completado el despliegue de una nueva red DWDM nacional con tecnología GMRE, basada en los equipos 1830 PSS-16II y 1830 PSS-12X del proveedor Nokia. El primero de ellos es un nodo DWDM con posibilidad de conectar hasta ocho direcciones o grados, capacidad ASON y rejilla flexible, y el segundo un bastidor OTN que se asocia a numerosos nodos DWDM de la red, para facilitar la encapsulación de tráfico tributarios [1,2]. También se emplean armazones 1830 PSS-8 para acomodar amplificadores ópticos o pequeños nodos DWDM, ver figura 1.

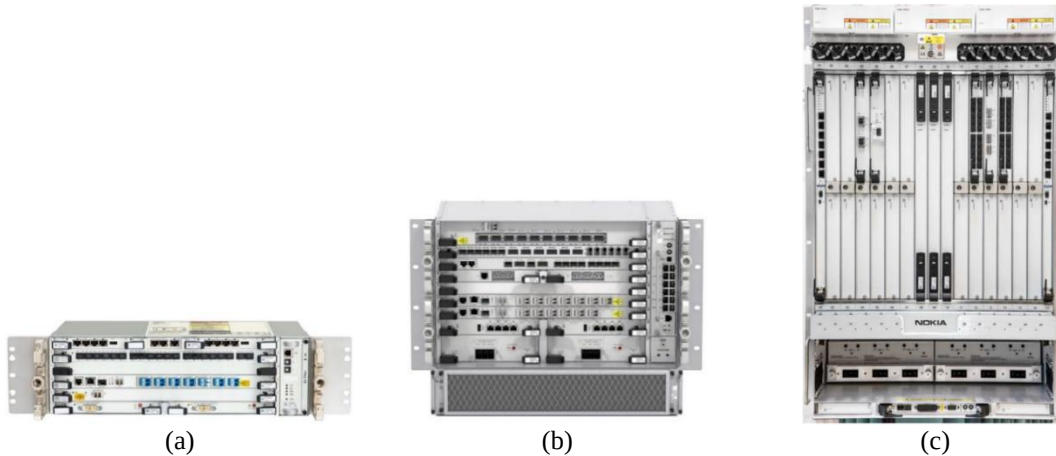


Figura 1

Los tres tipos de equipos empleados en el despliegue de la nueva red nacional DWDM del proveedor Nokia. (a) Armazón 1830 PSS-8 empleados fundamentalmente como amplificadores (b) 1830 PSS-16II como nodo DWDM y (c) 1830 PSS-12X nodo OTN asociado.

La red fue desplegada en dos fases, una primera fase que incluyó el despliegue de los nodos desde La Habana hasta las provincias de Cienfuegos y Villa Clara y una segunda fase en la que se extendió la red hasta las provincias orientales, llegando a Granma y Santiago de Cuba. Esta nueva red tiene la topología de un gran anillo alargado, en la que se puede diferenciar claramente un trayecto por el norte y otro trayecto por el sur, con enlaces verticales que conectan ambas ramas principales y proveen cierto nivel de mallado. Las mediciones y caracterización experimental que se presentan en este trabajo fueron realizados sobre el segmento de red correspondiente a la primera fase.

1.1 Estado del arte en protección SNCP y tiempos de conmutación

Los fundamentos operativos de la protección SNCP (*Subnetwork Connection Protection*) están bien establecidos en la Recomendación ITU-T G.841, que define el mecanismo 1+1 con doble emisión y selección, fijando un objetivo de tiempo de conmutación inferior a 50 ms [1,3]. La variante SNCP-N (*Non-intrusive*) amplía las condiciones de disparo al permitir detectar degradación de señal (*Signal Degrade*, SD), desajuste de identificadores de traza (TIM) o tasa de error de bit excesiva (exBER) [8]. Esta flexibilidad hace al SNCP-N especialmente adecuado para entornos donde la mera pérdida de señal no es suficiente para garantizar la calidad del servicio.

Diversos estudios experimentales han caracterizado los tiempos de conmutación en redes ópticas. En el ámbito de redes SDH y OTN de capacidad moderada, Ko et al. (2014) implementaron protección lineal ODUk en un sistema de transporte óptico de paquetes, midiendo tiempos de protección inferiores a 13 ms en condiciones de laboratorio [5]. Por su parte, Yamazaki et al. (2011) reportaron una recuperación de 12 ms en una prueba de campo con Ethernet a 100 Gbps, aunque utilizando un mecanismo de recuperación óptica basado en procesamiento digital de señales (DSP) en tiempo real, no SNCP-N [9]. Más recientemente, Tanaka et al. (2018) demostraron una protección de ruta ODU4 a 100 Gbit/s sin interrupción de bits, operando con diferencias de retardo de hasta 400 km, validando la viabilidad técnica en condiciones controladas [6, 7].

En los últimos cinco años, la atención se ha centrado en la integración de planos de control SDN y en la protección en redes multi-banda. Ruiz y Velasco (2021) analizaron la recuperación rápida ante fallos en redes ópticas multi-banda, reportando tiempos de conmutación del orden de decenas de milisegundos, pero sin alcanzar los 100 Gbps en experimentos de campo [10]. Giorgetti et al. (2023) compararon experimentalmente SNCP y restauración en una red óptica desagregada, confirmando que la conmutación SNCP se mantiene en el rango de 50 ms, aunque su estudio empleó flujos de 10 Gbps y topologías de laboratorio [11]. Un estudio de benchmark práctico de protección de tráfico en redes Ethernet-over-SDH (Karam & Hachem, 2010) ya había señalado la superioridad del SNCP frente a STP/RSTP y LCAS, pero nuevamente en rangos de capacidad inferiores [4].

1.2 Contribución del presente trabajo

A pesar de los avances señalados, se identifica un vacío claro en la literatura: no existen estudios que hayan evaluado sistemáticamente los tiempos de conmutación SNCP-N para flujos Ethernet de 100 Gbps en una red DWDM real en operación, con análisis estadístico robusto y múltiples flujos concurrentes. Los trabajos previos se han limitado a entornos de laboratorio, a velocidades inferiores, o a esquemas de protección diferentes al SNCP-N estándar. Además, la caracterización de la variabilidad estadística de los tiempos de conmutación y su homogeneidad entre flujos no ha sido abordada en condiciones reales de despliegue.

El presente trabajo llena este vacío mediante una evaluación experimental sobre la red DWDM del proveedor nacional ETECSA, en un segmento de topología de anillo alargado, parcialmente mallado, con rutas norte y sur claramente diferenciadas. Se configuraron cuatro flujos Ethernet de 100 Gbps protegidos en 1+1 bajo SNCP-N, y se midieron los tiempos de conmutación con un analizador EXFO FTBx-88260. En este sentido el trabajo presentado muestra dos contribuciones principales:

1. La validación empírica en un entorno real: Se demuestra que el tiempo de conmutación se mantiene en torno a 50 ms (valor normativo histórico) para flujos de alta capacidad (100 Gbps), confirmando la vigencia del estándar en redes DWDM modernas.
2. La caracterización estadística avanzada: Se proporcionan intervalos de confianza, se verifica la heterogeneidad de varianzas mediante test de Levene, se calcula el tamaño del efecto (epsilon-cuadrado) y se aplica la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparar las distribuciones entre flujos, ofreciendo una profundidad analítica no observada en trabajos previos.

1.3 Objetivo y organización del artículo

El objetivo principal del estudio presentado aquí es validar experimentalmente, en condiciones de un despliegue real sobre una red DWDM nacional en operación, si los tiempos de conmutación para las protecciones SNCP-N ofrecidos por la nueva red se mantienen en el orden de los 50ms establecidos históricamente para las redes SDH, cuando se aplican ahora para flujos de transporte de alta capacidad (100G). Adicionalmente, se busca caracterizar la variabilidad estadística de estos tiempos en un escenario con múltiples flujos concurrentes y evaluar el cumplimiento de los estándares de protección en una arquitectura de red parcialmente mallada con topología de anillo alargado.

El artículo se organiza de la siguiente manera: la sección 2 describe el escenario de pruebas, incluyendo la arquitectura de la red (2.1), el montaje experimental (2.2) y el procedimiento de medición empleado (2.3). La sección 3 presenta el análisis de los resultados obtenidos, con énfasis en el comportamiento estadístico de los tiempos de conmutación. Finalmente, la sección 4 expone las conclusiones derivadas del estudio.

2.- DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE PRUEBAS

2.1 ARQUITECTURA DE LA RED

Como se indicaba anteriormente, la arquitectura de red empleada para el estudio correspondió a la del segmento de la primera fase de la nueva red DWDM nacional. La misma está conformada por trece nodos, de ellos once nodos DWDM 1830 PSS-16II y dos amplificadores de línea o ILA (*In Line Amplifier*) constituidos por tarjetas amplificadoras ubicadas en armarios o chasis 1830 PSS-8. La estructura de la red se aprecia en la figura 2.

Al tratarse de información sensible para el proveedor nacional de Telecomunicaciones, no se han incluido los nombres reales de cada nodo, en su lugar se han empleado identificadores genéricos. Como puede apreciarse en la figura 2, se denota el nodo origen como Nodo A, ubicado en La Habana, y el nodo de destino de destino como Nodo Z, este ubicado en la provincia de Cienfuegos.

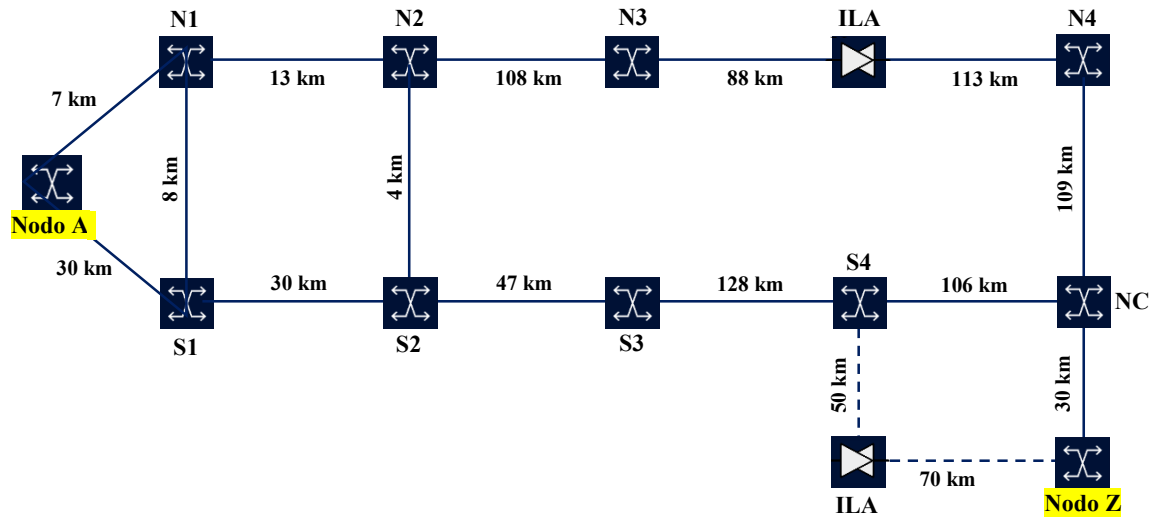


Figura 2
Topología de la red empleada para el estudio, correspondiente a la fase 1 del despliegue de la nueva red DWDM nacional de ETECSA, con equipamiento del proveedor Nokia.

Adicionalmente es fácil notar que los nodos del trayecto norte se han identificado como N1 a N4, incluyendo el amplificador o ILA Norte y los nodos del trayecto sur se denotan como S1 a S4, incluyendo el ILA Sur.

El nodo identificado como NC o “Nodo Común” se llamó así porque participa en ambos trayectos, ¿A qué se debió esto?: Pues a que en el momento de la realización del estudio, el segmento de enlaces S4 – ILA Sur – Nodo Z aún no se había desplegado, por eso aparece representado en la figura con líneas discontinuas. Por este motivo fue necesario armar los trayectos norte y sur como se aprecia en la tabla 1 a continuación.

Tabla 1
Secuencia de nodos para los trayectos norte y sur, activos y de respaldo para el estudio realizado

Trayecto	Secuencia de Nodos	Distancia Total
Norte	Nodo A – N1 – N2 – N3 – ILA Norte – N4 – NC – Nodo Z	468 km
Sur	Nodo A – S1 – S2 – S3 – S4 – NC – Nodo Z	371 km

Posteriormente, cuando estuvieron disponibles dichos enlaces, los trayectos definitivos por el sur se configuraron según la secuencia Nodo A – S1 – S2 – S3 – S4 – ILA Sur – Nodo Z, garantizando que los trayectos activos y de respaldo queden conformados completamente disjuntos. Las distancias especificadas para los vanos o trayectos de fibra G.652D entre los nodos si son exactos, fueron medidos mediante OTDR durante el proceso de certificación previo al despliegue de la red.

2.2 MONTAJE DEL EXPERIMENTO

El montaje se ilustra en la figura 3. Se identifican dos nodos extremos: El Nodo A o nodo de origen y el Nodo Z de destino. Cada nodo consta de un bastidor OTN 1830 PSS-12X, con tarjetas 4MX200, y un bastidor DWDM 1830 PSS-16II, con tarjetas S4X400H. Los flujos Ethernet de 100 Gbps se inyectan en los puertos L1_CP (puertos de cliente de nivel 1) del equipo OTN en el Nodo A, y se reciben en los correspondientes puertos del Nodo Z puestos en lazo con atenuador de 10 dB, ver tabla

2. La protección SNCP-N se configura de modo que cada flujo Ethernet tiene una trayectoria activa por el norte o el sur y su protección cursa por el trayecto contrario, balanceando de esta forma el uso de los recursos de la red.

El tráfico de 100G inyectado tiene dos caminos hacia la capa DWDM, a través de la matriz de conmutación del nodo OTN puede ingresar a la red DWDM por cualquiera de los dos enlaces entre las tarjetas 4MX200 del nodo OTN (Ej.: puertos 4-18-C1 y 4-20-C2 en el Nodo A en figura 3) y las tarjetas S4X400H correspondientes del nodo DWDM asociado (puertos 2-9-C1 y 1-9-C2 respectivamente en el Nodo A).

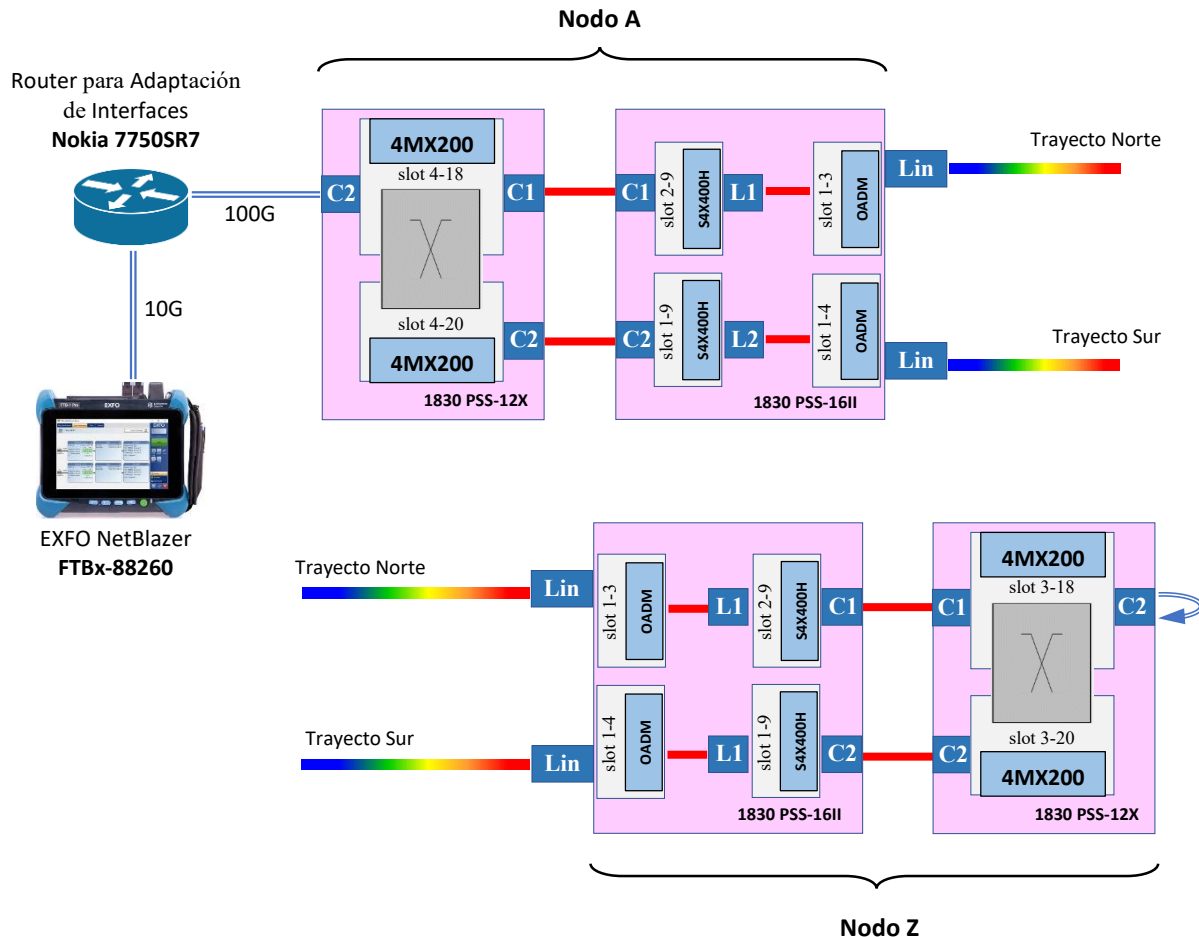


Figura 3
Esquema detallado de interconexión entre las capas OTN y DWDM extremo a extremo para el escenario de prueba.

En el **Nodo Z** del otro extremo se observan las conexiones equivalentes a estas, lo que con números de slots diferentes. Siguiendo la lógica de conexión indicada en la figura 3 se configuraron un total de cuatro servicios de 100G como indica la tabla 2 a continuación.

En este caso se emplearon dos lambdas por el trayecto norte y dos por el sur, cada una de ellas con capacidad de 200G y estructuradas en dos contenedores ODU4 respectivamente. A los flujos 100G_1 y 100G_3 se les definió su trayecto principal (*Nominal*) por el sur y el de protección (*Respaldo*) por el norte. Alternativamente, los flujos 100G_2 y 100G_4 tienen su trayecto principal por el norte y el de respaldo por el sur. En caso de falla de uno de los trayectos, solo es necesario conmutar la mitad de los servicios, a diferencia de si se encontraran todos los trayectos principales activos simultáneamente por una rama y todas las protecciones por la otra.

Tabla 2
Datos de conexión de los cuatro servicios de prueba de 100G

Servicio	L1_CP Nodo A	Trayecto	Rama (ruta)	Identificador OTSig (longitud de onda)
100G_1	4-18-C2	Nominal	Sur	BB_OTSig_Z-A_200G_02_Sur
		Respaldo	Norte	BB_OTSig_Z-A_200G_02_Norte
100G_2	4-4-C2	Nominal	Norte	BB_OTSig_Z-A_200G_02_Norte
		Respaldo	Sur	BB_OTSig_Z-A_200G_02_Sur
100G_3	4-5-C2	Nominal	Sur	BB_OTSig_Z-A_200G_01_Sur
		Respaldo	Norte	BB_OTSig_Z-A_200G_01_Norte
100G_4	4-3-C2	Nominal	Norte	BB_OTSig_Z-A_200G_01_Norte
		Respaldo	Sur	BB_OTSig_Z-A_200G_01_Sur

2.3 PROCEDIMIENTO DE MEDICION

El analizador EXFO NetBlazer FTBx 88260 permite generar tráfico hasta 100G Ethernet, sin embargo se requieren de las interfaces adecuadas. La disponibilidad de estas al momento de la realización del experimento permitía la generación de tráfico solo hasta 10G, no a 100G. Para solventar esta dificultad, se empleo un router 7750SR7 disponible, también de Nokia. Este equipo, con interfaces de ambas capacidades, permite realizar la adaptación de una interface de 10G a otra de 100G, mediante la configuración de un servicio punto a punto VPWS (*Virtual Private Wire Service*) entre las dos interfaces. Este servicio es un tipo de servicio L2VPN llamado también Epipe (*Ethernet Pipe*).

Como consecuencia de esta adaptación, siguiendo los principios de la norma IEEE 802.3ba-2010 [12] y demostraciones experimentales previas [13] una pérdida de trama en la línea de 100 Gbps se traduce en la pérdida de un bloque de 10 tramas consecutivas en el lado de 10 Gbps, pero el analizador contabiliza el bloque como una única “trama perdida”. Por tanto, la relación entre tramas perdidas medidas (TP) y tramas reales perdidas (TP_{real}) es:

$$TP = \frac{TP_{real}}{10}$$

Por lo que:

$$TP_{real} = 10 TP \quad (1)$$

El tiempo de conmutación TC real (en ms) se deriva de:

$$TC [ms] = 1000 TP_{real} \frac{TP MTU bits}{Velocidad [bps]} \quad (2)$$

Donde:

TP: Tramas perdidas, medidas con el analizador
MTU = 1500 bytes Valor prefijado para la prueba
bits = 8 8 bits por byte
Velocidad = 100G 1x10¹¹ bps

Sustituyendo los valores constantes la expresión se reduce a:

$$TC [ms] = 1.2 \cdot 10^{-3} TP \quad (3)$$

La constante $1.2 \cdot 10^{-3}$ incorpora el tiempo físico de una trama a 100 Gbps y el factor de agregación 10. En adelante, TC denota el tiempo de conmutación real.

2.4 JUSTIFICACION DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Se seleccionaron cuatro flujos por disponibilidad de puertos cliente en los nodos extremos. Desde el punto de vista estadístico, cuatro grupos permiten aplicar Kruskal-Wallis con $k - 1 = 3$ grados de libertad y constituyen un escenario realista de agregación de servicios críticos. La distribución equilibrada entre rutas norte (flujos 2 y 4) y sur (flujos 1 y 3) permite capturar variabilidad intra- e inter-ruta.

Con 24 repeticiones del experimento por flujo (para un total de 96 observaciones), el error estándar de la media es $\sigma/\sqrt{24}$, que para la mayor σ observada (2.57 ms) da 0.52 ms, permitiendo estimar la media con precisión ± 1.1 ms (IC95%). El análisis posterior (sección 3.3) confirma poder suficiente para detectar diferencias mayores a 1.2 ms, muy por debajo de la diferencia máxima entre medias (0.53 ms). La prueba de Lilliefors es válida con $n = 24$ para detectar desviaciones moderadas de la normalidad. Todos los elementos requeridos para la reproducción de dichos experimentos, versiones de software de los equipos empleados, umbrales de detección de fallos, configuraciones de puertos, etc., están disponibles como material suplementario o a solicitud de cualquier interesado vía correo electrónico.

3.- ANALISIS DE LOS RESULTADOS

En la tabla 3 se muestran los valores de tramas perdidas (TP) medidas con el instrumento y los tiempos de conmutación (TC) calculados a partir de la ecuación (3), para cada uno de los flujos de prueba y las veinticuatro instancias realizadas de cada experimento. En la parte inferior de la tabla se proporcionan los estadígrafos descriptivos asociados: El valor promedio de las mediciones realizadas μ , el rango R y la desviación estándar σ , tanto para TP como para TC, mientras que para TC se incorporan también la mediana, identificada como Med y la varianza observada σ^2 .

3.1 INTERVALOS DE CONFIANZA DE LAS MEDIAS

Para cuantificar la precisión de las estimaciones y la incertidumbre asociada al tamaño muestral ($n = 24$ por flujo), se calcularon intervalos de confianza (IC) del 95% para el tiempo de conmutación de cada flujo (Tabla 3a). Dado que más adelante se confirma la compatibilidad con la distribución normal (apartado 3.2), se empleó la distribución t de Student con 23 grados de libertad ($t_{0.025} = 2.069$). La expresión utilizada es:

$$IC_{95\%} = \bar{x} \pm t_{(n-1, \alpha/2)} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

La amplitud de los intervalos varía desde 0.996 ms (flujo 2) hasta 2.168 ms (flujo 4), reflejando la mayor variabilidad del flujo 4. Todos los intervalos se solapan ampliamente, especialmente entre los flujos 1, 3 y 4, cuyo rango de solapamiento abarca desde 49.433 ms hasta 50.870 ms. El flujo 2 presenta el intervalo más desplazado hacia valores mayores, pero aún con solapamiento parcial (su límite inferior, 50.108 ms, es inferior al límite superior del flujo 1, 50.870 ms). Esta superposición sugiere que las diferencias observadas entre las medias pueden deberse a la variabilidad muestral, y no a diferencias reales entre los procesos de conmutación de cada flujo.

3.2 ANALISIS DESCRIPTIVO INDIVIDUAL DE CADA FLUJO

A continuación se describen las características de cada distribución, complementando los estadísticos de la Tabla 3. La figura 4 muestra la distribución de los valores calculados de TC para cada uno de los flujos de prueba, incorporando límites para sus valores mínimos y máximos, así como los valores promedio en cada caso. La figura 5 muestra un diagrama de caja y bigotes confeccionado con los datos de las mediciones obtenidas para cada uno de los flujos de prueba bajo estudio. La observación de ambas figuras 4 y 5 revela una ligera menor variabilidad en el caso de los flujos 1 y 2, particularmente en el 2, que es el que menos dispersión presenta. Los valores observados para los flujos 3 y 4 revelan una mayor variabilidad.

Flujo 1

Presenta una media (50.076 ms) ligeramente superior a la mediana (49.807 ms), lo que sugiere una asimetría positiva leve, indicando una ligera tendencia a valores extremos por encima de la mediana. La desviación estándar (1.879 ms) y el rango

inter cuartil ($RIC = 2.335 \text{ ms}$) reflejan una dispersión moderada. El rango total (7.879 ms) abarca desde 45.95 ms hasta 53.83 ms , sin evidencia de valores atípicos.

Tabla 3

Resumen de las mediciones de tramas perdidas (TP) y el cálculo del tiempo de corte o conmutación (TC), expresado en milisegundos, para los cuatros flujos de 100G de prueba. Se acompañan las mediciones con los estadígrafos descriptivos correspondientes

	Flujo 1		Flujo 2		Flujo 3		Flujo 4	
No.	TP	TC [ms]	TP	TC [ms]	TP	TC [ms]	TP	TC [ms]
1	42718	51.2616	42586	51.1032	40061	48.0732	40500	48.6000
2	40549	48.6588	41119	49.3428	43422	52.1064	44025	52.8300
3	41331	49.5972	41340	49.6080	43687	52.4244	46123	55.3476
4	41314	49.5768	41742	50.0904	39937	47.9244	41406	49.6872
5	40757	48.9084	43327	51.9924	42222	50.6664	41475	49.7700
6	43435	52.1220	42056	50.4672	44126	52.9508	43843	52.6116
7	38292	45.9504	42696	51.2352	42699	51.2388	43386	52.0632
8	44419	53.3028	41422	49.7064	42717	51.2604	39380	47.2560
9	44858	53.8296	43263	51.9156	42924	51.5084	42983	51.5796
10	43394	52.0728	43441	52.1292	38917	46.7004	41049	49.2588
11	39927	47.9124	42906	51.4872	40790	48.9480	38976	46.7712
12	41782	50.1384	43910	52.6920	44529	53.4352	44261	53.1136
13	40120	48.1440	40890	49.0680	41247	49.4964	42432	50.9184
14	41680	50.0160	42611	51.1332	42924	51.5084	38288	45.9456
15	41266	49.5192	40114	48.1372	39100	46.9200	44837	53.8044
16	42959	51.5508	41782	50.1384	40754	48.9048	41527	49.8324
17	42512	51.0144	42128	50.5536	41837	50.2044	39339	47.2068
18	42783	51.3396	44016	52.8192	38955	46.7460	44936	53.9232
19	42668	51.2016	41706	50.0472	44758	53.7096	40705	48.8460
20	41064	49.2768	42654	51.1848	43702	52.4424	40602	48.7224
21	39495	47.3940	41369	49.6428	43586	52.3032	42090	50.5080
22	40817	48.9804	41681	50.0172	40341	48.4092	39394	47.2728
23	40738	48.8856	41860	50.2320	42384	50.8612	43601	52.3212
24	42640	51.1680	41502	49.8024	41210	49.4520	40487	48.5844
μ	41729.92	50.0759	42171.71	50.6061	41951.21	50.3414	41901.88	50.2823
Med		49.8066		50.3496		50.7638		49.8012
R	6566	7.8792	3902	4.6820	5841	7.0092	7835	9.4020
σ^2		3.5323		1.3904		4.6231		6.5915
σ	1566.21	1.8795	982.67	1.1792	1791.79	2.1501	2139.47	2.5674

Donde μ es el valor medio, Med la mediana, R el rango y σ y σ^2 , la desviación estándar y la varianza respectivamente.

Tabla 3a

Intervalos de confianza del 95% para TC [ms] en los cuatro flujos del experimento

Flujo	Media	Desv. estándar [ms]	Error estándar [ms]	IC 95% inferior	IC 95% superior
1	50,076	1,879	0,384	49,282	50,870
2	50,606	1,179	0,241	50,108	51,104
3	50,341	2,150	0,439	49,433	51,250
4	50,282	2,567	0,524	49,198	51,366

Flujo 2

Es el flujo con la media más alta (50.606 ms) y la menor variabilidad (desviación estándar = 1.179 ms ; $RIC = 1.456 \text{ ms}$). La mediana (50.350 ms) es inferior a la media, indicando asimetría positiva, aunque la diferencia es pequeña en relación con la dispersión. La distribución es más compacta y homogénea que en los demás flujos, con un rango de solo 4.68 ms .

Flujo 3

Se caracteriza por una mediana (50.764 ms) superior a la media (50.341 ms), mostrando una asimetría negativa; es decir, la distribución tiende a concentrarse en valores altos pero con una cola hacia la izquierda (valores bajos). La dispersión es intermedia (desviación estándar = 2.150 ms; RIC = 3.150 ms), y el rango alcanza 7.01 ms.

Flujo 4

Presenta la mayor variabilidad de todos los flujos (desviación estándar = 2.567 ms; RIC = 3.600 ms) y el rango más amplio (9.40 ms). La media (50.282 ms) supera a la mediana (49.801 ms), indicando asimetría positiva, con algunos valores notablemente altos (por ejemplo, 55.35 ms) que alargan la cola derecha. A pesar de esta dispersión, no se identificaron valores atípicos según el criterio del RIC.

De forma general, los flujos 2 y 3 presentan las medianas más elevadas (50.35 y 50.76 ms, respectivamente), mientras que 1 y 4 tienen medianas similares y ligeramente inferiores (alrededor de 49.8 ms). La dispersión es notablemente menor en el flujo 2 (desviación estándar ≈ 1.18 ms) y notablemente mayor en el flujo 4 (≈ 2.57 ms). Esta heterogeneidad en las varianzas es uno de los motivos que justifican el uso de un método no paramétrico para la comparación.

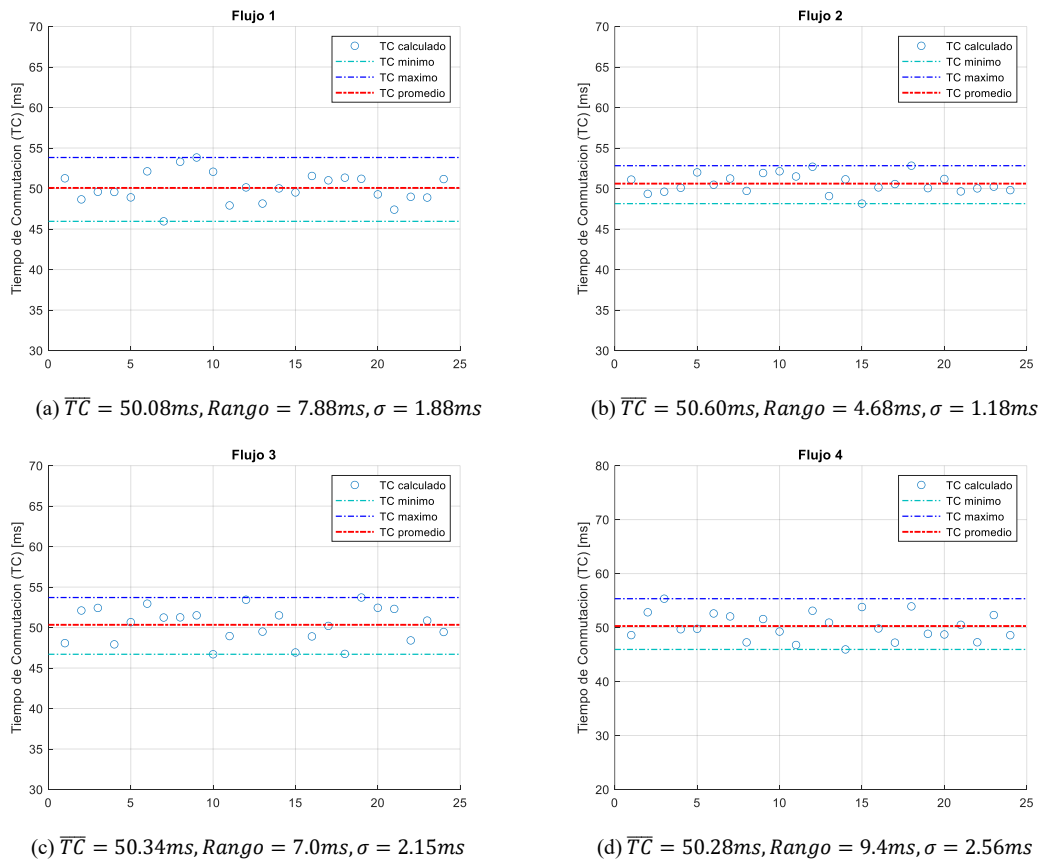


Figura 4

Distribución de los valores del tiempo de corte o conmutación (TC) calculado, expresado en milisegundos, para cada uno de los flujos de 100G de prueba. Se incorporan en cada caso los valores promedio, el rango y la desviación estándar obtenidas.

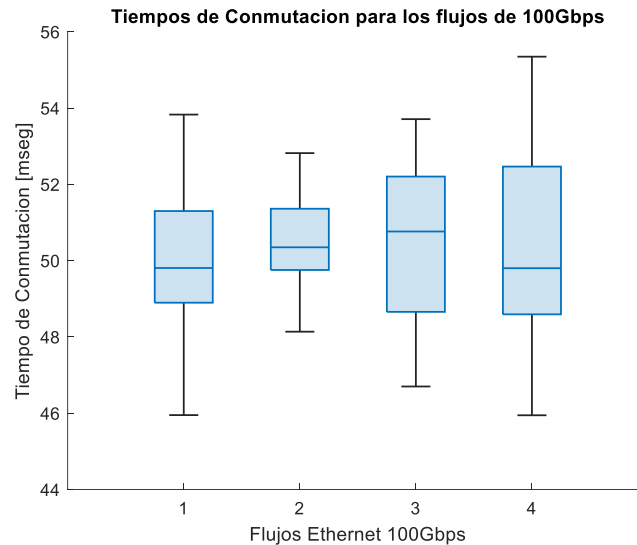


Figura 5

Diagrama de caja y bigotes que muestra la distribución de valores obtenidos para los tiempos de corte o conmutación (TC) para cada uno de los flujos de 100G estudiados.

La asimetría observada es leve en todos los casos, pero su dirección varía entre flujos: positiva en flujos 1, 2 y 4; negativa en flujo 3. Estas diferencias podrían deberse tanto a características propias de cada proceso como a la variabilidad muestral propia de un tamaño de muestra de 24 repeticiones.

3.3 VERIFICACION DE NORMALIDAD

Para determinar si los tiempos de conmutación se ajustan a una distribución normal, se corre la prueba de Lilliefors, empleando la herramienta Matlab, los resultados se aprecian en la tabla 4 y la figura 6 respectivamente.

La prueba de Lilliefors, que es una modificación de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para cuando se estiman la media y la varianza a partir de una muestra, evalúa la bondad de ajuste a una distribución normal. Con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, los p-valores obtenidos (entre 0.411 y 0.500, tabla 4) son superiores a 0.05, por lo que no existe evidencia estadística suficiente para rechazar la normalidad de las distribuciones de TC en ninguno de los cuatro flujos. Por tanto, se asume que las distribuciones de TC son compatibles con la distribución normal.

Tabla 4.

Resultados de la prueba de Lilliefors para TC en cada uno de los flujos de prueba

Flujo de Datos	Ruta Principal	Estadístico Lilliefors	p-valor	¿Normal? ($\alpha = 0.05$)
Flujo 1	Sur	0.1079	0.500	Si
Flujo 2	Norte	0.1244	0.411	Si
Flujo 3	Sur	0.1201	0.475	Si
Flujo 4	Norte	0.1112	0.500	Si

Para un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$) siempre que $p > \alpha$, no puede rechazarse el comportamiento normal del juego de valores estudiado. En otras palabras, puede asumirse el comportamiento normal del conjunto.

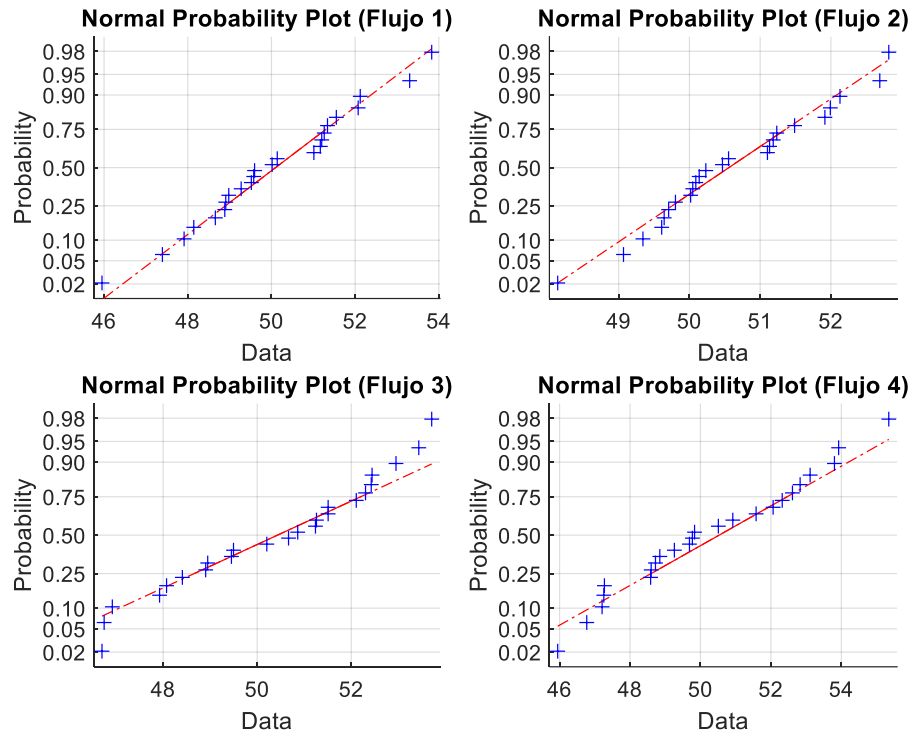


Figura 6

Gráficos de probabilidad normal (Q Q plots) para los tiempos de conmutación (TC) de los cuatro flujos.

Para comprobar si habría diferencias significativas entre los valores medios obtenidos para cada uno de los flujos podría pensarse en un análisis ANOVA de un factor, sin embargo, este tipo de análisis requiere, además de la confirmación de normalidad, la homocedasticidad o lo que es lo mismo, que las varianzas poblacionales sean iguales. El análisis descriptivo inicial demostró diferencias notables en la dispersión entre los diferentes flujos, por tanto este presupuesto no se verifica: Flujo 2: desviación estándar = 1.179 ms, $RIC = 1.456$ ms, Flujo 4: desviación estándar = 2.567 ms, $RIC = 3.60$ ms.

La figura 6 por su parte, muestra los gráficos de probabilidad normal (Q-Q plots) para los tiempos de conmutación (TC) de los cuatro flujos. Cada panel muestra los cuantiles observados frente a los cuantiles esperados bajo una distribución normal teórica (línea discontinua roja con media y desviación estándar estimadas a partir de la muestra). Los puntos se ajustan razonablemente bien a la línea de referencia en todos los flujos, lo que respalda la compatibilidad con la normalidad indicada por la prueba de Lilliefors (Tabla 4).

3.4 CONFIRMACION DE LA HETEROGENEIDAD DE LAS VARIANZAS

Aunque el análisis descriptivo (Tabla 3) muestra diferencias notables en las varianzas (desde $\sigma^2 = 1.39$ en el flujo 2 hasta $\sigma^2 = 6.59$ en el flujo 4), es necesario confirmarlas mediante un test estadístico formal. Dado que las distribuciones son compatibles con la normalidad (apartado 3.3), se aplicó la prueba de Levene en su versión basada en la mediana, robusta frente a desviaciones moderadas de la normalidad y adecuada para comparar más de dos grupos. El resultado arrojó un estadístico de Levene de 5.82 con 3 grados de libertad en el numerador y 92 en el denominador, correspondiente a un p-valor de 0.0012. Por tanto, se rechaza la hipótesis nula de homocedasticidad ($p < 0.05$). Esta confirmación estadística justifica formalmente el empleo de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para la comparación de las distribuciones de TC entre flujos, en lugar de un ANOVA de un factor, que exigiría varianzas iguales, como se comentaba antes.

3.5 COMPARACION DE LOS TIEMPOS DE CONMUTACION ENTRE FLUJOS

Para comparar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los cuatro flujos en cuanto a la distribución de TC, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis. Los resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5.
Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis, comparación de las distribuciones de TC para los flujos de prueba

Source	SS	df	MS	Chi-sq	Prob>Chi-sq
Columns	848.4	3	282.813	1.09	0.7787
Error	72870.6	92	792.071		
Total	73719.0	95			

La prueba de Kruskal-Wallis aplicada a TC arrojó un valor de $p = 0.7787$ (estadístico Chi-cuadrado = 1.09, $gl = 3$). Dado que $p > 0.05$, no se rechaza la hipótesis nula: no existen diferencias estadísticamente significativas entre los cuatro flujos estudiados en cuanto a la distribución de TC. A modo de resumen puede considerarse entonces que a pesar de las ligeras variaciones en los promedios, los tiempos de conmutación asociados a todos los flujos pueden asumirse equivalentes desde el punto de vista estadístico, con sus valores consistentes y muy próximos al valor nominal esperado de 50 ms.

3.6 TAMAÑO DEL EFECTO Y EQUIVALENCIA PRACTICA

Un resultado no significativo puede deberse a un tamaño muestral insuficiente o a un efecto realmente despreciable. Para cuantificar la magnitud de las posibles diferencias, se calcularon dos medidas del tamaño del efecto para la prueba de Kruskal-Wallis.

Epsilon-cuadrado (ϵ^2): corrige el sesgo del estadístico H .

$$\epsilon^2 = \frac{H - k + 1}{n - k} \quad (5)$$

Donde $H = 1.09$, (estadístico de Kruskal-Wallis), $k = 4$ grupos, $n = 96$ observaciones.

$$\epsilon^2 = \frac{1.09 - 4 + 1}{96 - 4} = -0.0208$$

El valor negativo obtenido para ϵ^2 es interpretado como cero.

Eta-cuadrado (η^2): medida alternativa basada en H .

$$\eta^2 = \frac{H}{n - 1} = \frac{1.09}{95} = 0.0115 \quad (6)$$

Según los criterios de Cohen [14] (adaptados a Kruskal-Wallis), $\eta^2 = 0.01$ se considera un efecto pequeño, $\eta^2 = 0.06$ mediano y $\eta^2 = 0.14$ grande. El valor obtenido (0.0115) roza el umbral de efecto pequeño, mientras que ϵ^2 corregido indica efecto nulo. En cualquier caso, la magnitud de las diferencias entre flujos es trivial desde la perspectiva de la ingeniería de redes.

Para evaluar si el estudio tenía poder suficiente para detectar diferencias relevantes, se calculó la diferencia mínima detectable (con $\alpha = 0.05$, $\beta = 0.20$, $n = 24$ por grupo) usando una aproximación basada en la desviación estándar agrupada de los cuatro flujos ($\sigma_p \approx 2.01 \text{ ms}$). El valor resultante fue de aproximadamente 1.2 ms. La máxima diferencia observada entre las medias de los flujos es de solo 0.53 ms (entre flujo 2 y flujo 1). Por tanto, cualquier diferencia real es inferior al umbral de detección y, más importante, es un orden de magnitud menor que las tolerancias típicas en acuerdos de nivel de servicio (SLA), donde los tiempos de conmutación se especifican en múltiplos de 5 ms o 10 ms.

En consecuencia, la ausencia de significación estadística no es un artefacto por falta de potencia, sino que refleja una auténtica equivalencia práctica entre los tiempos de conmutación de los cuatro flujos. Todos ellos se agrupan en torno al valor nominal de 50 ms, con variaciones cuya magnitud es irrelevante para cualquier especificación de ingeniería de redes.

3.7 PRUEBA COMPLEMENTARIA DE RESTAURACION SBR

Además de la protección por conmutación SNCP-N (1+1 con ruta de respaldo preasignada), la red DWDM de ETECSA también permite esquemas de protección basados en restauración dinámica, donde no existe un camino pre calculado. Uno de ellos es la restauración basada en la fuente (*Source-Based Restoration*, SBR) de Nokia, que emplea protocolos GMPLS para calcular, señalar y establecer un nuevo camino en el momento de la falla.

A título complementario y sin pretensión de rigurosidad estadística, se realizó una única medición ($n=1$) del tiempo de restauración SBR para el flujo 1, manteniendo idénticas condiciones de carga (100 Gbps) y el mismo segmento de red que en los ensayos SNCP-N. El resultado se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6
Medición única de las tramas perdidas (TP) y cálculo del tiempo restauración/corte (TC),
para el flujo 1 de 100G configurado con esquema de protección SBR

No.	Flujo 1	
	TP	TC [ms]
1	7196516	8635.8192

El tiempo de restauración obtenido, de aproximadamente unos 8.63s, es varios órdenes de magnitud superior a los ≈ 50 ms del SNCP-N, lo cual es esperable dado que SBR no dispone de una ruta de respaldo preasignada. No obstante, este valor resulta competitivo para un esquema de restauración dinámica si se compara con los tiempos de convergencia de protocolos de capa 2 como RSTP (que típicamente superan los 10s en redes de extensión metropolitana). Se destaca que esta medición es meramente ilustrativa y carece de validez estadística por su tamaño muestral unitario. No es posible inferir un valor representativo ni una variabilidad del tiempo de restauración SBR. Se recomienda que futuros trabajos realicen un estudio sistemático con múltiples repeticiones para caracterizar estadísticamente los tiempos de restauración SBR en redes DWDM de alta capacidad.

3.8 SINTESIS DE LOS HALLAZGOS ESTADISTICOS

En resumen, los intervalos de confianza (Tabla 3a), la prueba de Lilliefors (normalidad), el test de Levene ($p = 0,0012$) que confirmó la heterogeneidad de varianzas, la prueba de Kruskal-Wallis ($p = 0,7787$) y el análisis del tamaño del efecto ($\varepsilon^2 \approx 0, \eta^2 \approx 0,0115$, diferencia mínima detectable > diferencia observada) convergen en la misma conclusión: no existen diferencias prácticas ni estadísticamente significativas entre los tiempos de conmutación de los cuatro flujos. Todos ellos se agrupan en torno al valor nominal de 50 ms, con variaciones cuya magnitud es irrelevante para cualquier especificación de ingeniería de redes o acuerdo de nivel de servicio. La restauración SBR, por su parte, presenta tiempos del orden de segundos, lo que la hace inadecuada para servicios críticos, aunque puede ser útil para aplicaciones menos exigentes.

4.- CONCLUSIONES

Se ha evaluado experimentalmente el tiempo de conmutación SNCP-N para flujos Ethernet de 100 Gbps en una red DWDM nacional real. Los resultados confirman que el mecanismo mantiene los tiempos de conmutación en torno a 50 ms, en línea con los estándares históricos. Bajo las condiciones experimentales empleadas, el tiempo de restauración SNCP se mantiene en torno al valor nominal de 50 ms, sin que se detecten efectos atribuibles al flujo de datos analizado. Las pequeñas fluctuaciones observadas se explican por la variabilidad aleatoria inherente al proceso de medición y al número relativamente limitado de repeticiones del experimento por cada flujo analizado ($n = 24$).

El análisis estadístico avanzado (intervalos de confianza, test de Levene, Kruskal Wallis, tamaño del efecto) demuestra que no existen diferencias significativas entre flujos concurrentes, y que la variabilidad observada (desviaciones típicas de 1,2 ms

a 2,6 ms) es aceptable para acuerdos de nivel de servicio. La contribución principal es la validación en un entorno real, caracterizando la heterogeneidad de varianzas y la equivalencia práctica de los tiempos de conmutación. Se recomienda ampliar el estudio a otros escenarios (red con mayor nivel de mallado, diferentes capacidades de transporte), así como realizar una caracterización sistemática de la restauración SBR.

REFERENCIAS

1. Nokia. 1830 Photonic Service Switch (PSS) [Internet]. Espoo, Finlandia: Nokia; 2025 [citado 12 Mar 2026]. Disponible en: <https://www.nokia.com/optical-networks/1830-photonic-service-switch/>.
2. Intelligent CIO Europe. Nokia and illwerke vkw AG announce state-of-the-art optical transport network in Austria [Internet]. 2024 Ago 21 [citado 12 Mar 2026]. Disponible en: <https://www.intelligentcio.com/eu/2024/08/21/nokia-and-illwerke-vkw-ag-announce-state-of-the-art-optical-transport-network-in-austria/>.
3. ITU-T. Types and characteristics of SDH network protection architectures. ITU-T Recommendation G.841. 1998 Oct.
4. Karam J, Hachem N. Practical benchmark analysis of traffic protection with Ethernet over SDH transmission. *Int J Commun Netw Inf Secur*. 2010;2(3):185-92.
5. Ko J, Lee J, Kim J, Kim H. Implementation of ODUk linear protection switching in packet optical transport system. In: 16th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). Piscataway (NJ): IEEE; 2014. p. 1125-8. doi: 10.1109/ICACT.2014.6779042
6. Tanaka T, Nishihara M, Kato T, Oguma H. Novel ODU4 path protection without bit disruption. In: European Conference on Optical Communication (ECOC); 2018; Rome. p. 1-3.
7. Tanaka T, Nishihara M, Kato T, Oguma H. Large capacity ODU path protection without bit disruption for metro/core networks. *Opt Fiber Technol*. 2019;52:101960. doi: 10.1016/j.yofte.2019.101960
8. ITU-T. Recommendation G.841/Y.1321 (Amendment 1): New appendix VII – SNC/I and SNC/N protection switching behaviour. Geneva: International Telecommunication Union; 2019.
9. Yamazaki E, Yamanaka S, Inoue Y, Nishihara M, Hayashi T, Nakano Y. 100 Gbps Ethernet transmission field test with real time DSP based optical recovery. *Opt Express*. 2011;19(26):B829-34. doi: 10.1364/OE.19.00B829
10. Ruiz M, Velasco L. Fast failure recovery in multi band optical networks. *J Opt Commun Netw*. 2021;13(5):84-95. doi: 10.1364/JOCN.417998
11. Giorgetti A, Sgambelluri A, Paolucci F, Cugini F, Castoldi P. Experimental assessment of SNCP and restoration times in a disaggregated optical network. In: Optical Fiber Communication Conference (OFC). Washington (DC): Optical Society of America; 2023. Paper Th2A.5.
12. Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Std 802.3ba-2010 (Amendment to IEEE Standard 802.3-2008). Part 3: CSMA/CD access method and physical layer specifications – Amendment 4: Media access control parameters, physical layers, and management parameters for 40 Gb/s and 100 Gb/s operation. New York: IEEE; 2010.
13. Veisllari R, Bjornstad S, Braute JP. Experimental demonstration of 100 Gb/s optical network transport and aggregation for Ethernet fronthaul with low and bounded delay. In: Optical Fiber Communication Conference (OFC 2018). Washington (DC): Optical Society of America; 2018. Paper M4I.2. doi: 10.1364/OFC.2018.M4I.2.
14. Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2nd ed. Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Associates; 1988.

CONFLICTO DE INTERESES

No existe conflicto de intereses entre los autores, ni con ninguna institución a la que cada uno está afiliado, ni con ninguna otra institución. Las opiniones expresadas aquí son únicamente responsabilidad de los autores y no representan la posición de la Institución o las instituciones a las que están afiliados. La información sobre la red de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba (ETECSA), a la que se hace referencia en el trabajo, es de dominio público y en ningún caso afecta los intereses de la propia empresa o de ninguno de sus clientes. Aun así adicionalmente, los nombres de los sitios específicos de la red así como los de los servicios de prueba con los que se ha trabajado han sido anonimizados, evitando de esta forma cualquier vinculación o posible asociación con centros de telecomunicaciones o servicios reales en producción.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Durante la realización del presente trabajo los autores han desempeñado las siguientes responsabilidades y roles: Dioen Biosca, autor principal: Conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, validación, así como la redacción del borrador original y la revisión y edición del mismo. Yohan Hernández, Raúl A. González y Nereida Castilla: Curación de datos e investigación. Alberto Vega: Administración del proyecto, validación y revisión y edición del borrador original.

AUTORES

Dioen Biosca Rojas, Profesor titular, doctor en ciencias técnicas. Profesor adjunto del Departamento de Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría” CUJAE. Especialista superior en redes de transporte IP y DWDM de la empresa COPAL. dioen.biosca_rojas.ext@nokia.com. No. ORCID: 0000-0001-5880-6718.

Yohan Hernández Domínguez, Graduado de ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica en 1997 por la Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría” CUJAE. Especialista superior en redes de transporte IP y DWDM de la empresa COPAL. yohan.hernandez_dominguez.ext@nokia.com. No. ORCID: 0009-0006-2809-8726.

Raúl Adrián González García, Graduado de ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica en 2001 por la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Experto en Telemática, especializado en redes ópticas Nokia, perteneciente al grupo de conectividad del Departamento de Soporte Especializado dentro de la Vicepresidencia de Operaciones de la Red. ETECSA. rauladrian.gonzalez@etecsa.cu. No. ORCID: 0009-0003-8109-7368.

Nereida Castilla Panadero, Graduada de ingeniera en Telecomunicaciones y Electrónica en 2010 por la Universidad de Oriente de Santiago de Cuba. Especialista del grupo de atención a comunicaciones internacionales de la Dirección de Operación y Mantenimiento de la Vicepresidencia de Operaciones de la Red. ETECSA. nereida.castilla@etecsa.cu. No. ORCID: 0009-0001-0550-5580.

Alberto E. Vega Hernández, Graduado de ingeniero en Telecomunicaciones en 1985 por la Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría” CUJAE. Experto en Telemática, especializado en redes ópticas Nokia, perteneciente al grupo de conectividad del Departamento de Soporte Especializado dentro de la Vicepresidencia de Operaciones de la Red. ETECSA. alberto.vega@etecsa.cu. No. ORCID: 0009-0008-5083-5416.



Esta revista se publica bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)