

# Una solución de latencia ultrabaja para las compañías de electricidad

En 2003, la región noreste de los EE. UU. sufrió el **apagón más grande** en la historia del país. Durante dos días, 50 millones de suscriptores en ocho estados y partes de Ontario se quedaron sin energía, lo cual produjo una pérdida económica estimada de \$6 mil millones. La causa principal de la interrupción: la incapacidad de reconocer, evaluar y comprender las insuficiencias y el deterioro de partes de la red eléctrica en áreas amplias, una historia conocida en la administración de la infraestructura crítica. Desde daños a la reputación y multas costosas hasta pérdidas financieras directas de millones de dólares, la confiabilidad de la red a nivel de la infraestructura crítica fue (y aún es) la principal preocupación en el sector de las compañías de electricidad.

Además de ocasionar daños en el sistema y en los equipos que son costosos de reparar, las fallas en el sistema de energía pueden generar interrupciones en las operaciones normales del sistema. Las interrupciones graves incluso pueden generar la pérdida de estabilidad en el sistema y apagones a gran escala. Por lo tanto, la eliminación de fallas es un componente integral del diseño, del mantenimiento y de las operaciones del sistema de transmisión y distribución de energía. Los esquemas de protección diseñados para identificar y eliminar fallas abordan diversos objetivos en la red:

- quitar el elemento defectuoso del resto del sistema,
- limitar o evitar daños en los equipos,
- evitar oscilaciones de energía o inestabilidad en el sistema graves,
- minimizar los efectos adversos en las cargas de clientes,
- mantener la capacidad de transferencia del sistema de energía,
- evitar lesiones personales.

## Esquemas, aplicaciones y convergencia

Un tipo de método comúnmente implementado en las subestaciones de servicios públicos de energía es un esquema de protección asistida por comunicaciones a través de la WAN. Este tipo de esquema facilita la coordinación y los datos compartidos entre los dispositivos de protección y posibilita la implementación de métodos que mejoran la fiabilidad, selectividad, seguridad y velocidad del esquema. Las comunicaciones confiables permiten la implementación de esquemas de comparación diferenciales, como la protección diferencial de corriente de línea (87L).

Las WAN se utilizan para transmitir los canales multiplexados de protección de relés, además de otros servicios de subestación (voz, teleprotección, telemetría, video, control y automatización, correo electrónico, y LAN corporativa) y se han convertido en una parte integral y necesaria de los sistemas modernos de protección de redes de energía.

La TDM/SONET ha sido adoptada ampliamente en el sector de servicios eléctricos como la tecnología de transporte WAN predilecta ya que ofrece rendimiento determinista, de baja latencia y de asimetría mínima. Sin embargo, existe en el sector una clara tendencia hacia el uso de Ethernet y redes de paquetes para todas las aplicaciones y servicios de las compañías de electricidad, incluida la protección. La motivación de abandonar los sistemas basados en TDM, especialmente los sistemas SONET y SDH, está impulsada por un deseo de converger las redes de IT y OT y estandarizar un conjunto común de interfaces para reducir los gastos operativos y de capital. La migración a tecnologías de redes de paquetes, como Carrier Ethernet, ha creado el desafío de diseñar servicios de teleprotección para ofrecer el determinismo y el rendimiento garantizado que requieren las aplicaciones de protección.

Energía para mantener  
las luces encendidas  
Obtenga más información



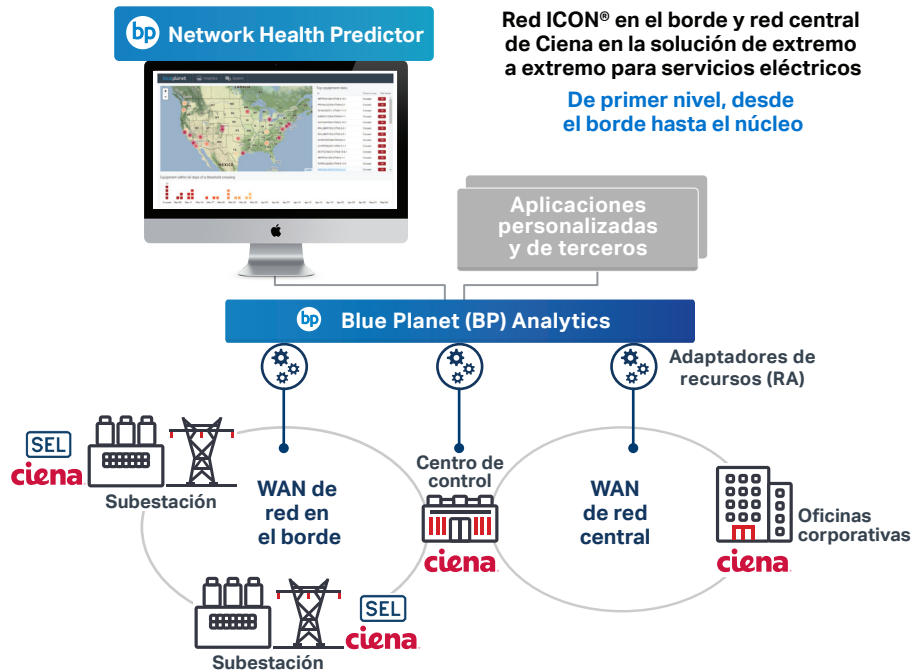


Figura 1. Red ICON en el borde y red central de Ciena en la solución de extremo a extremo para servicios eléctricos

La motivación de abandonar los sistemas basados en TDM, especialmente los sistemas SONET y SDH, está impulsada por un deseo de converger las redes de IT y OT y estandarizar un conjunto común de interfaces para reducir los gastos operativos y de capital.

Para evitar otra interrupción del suministro eléctrico como la ocurrida en 2003, se requiere una solución con latencia ultrabaja y un rendimiento rápido de conmutación por error. Si ocurre una falla en el sistema de energía, los esquemas de protección asistida por comunicaciones en la WAN operan para aislar la falla y evitar la inestabilidad en torno a la falla. Los tiempos de eliminación de fallas para la infraestructura de línea de transmisión deben estar en el orden de milisegundos y, si la condición de falla del sistema de energía no se detecta ni se comunica con las latencias más bajas, los daños en el equipo y las partes más grandes de la red eléctrica podrían verse afectados.

Para abordar estos desafíos, Ciena se ha asociado con una solución de primer nivel para la subestación de energía, ofrecida por [Schweitzer Engineering Labs \(SEL\)](#).

La solución determinista de transporte de paquetes de la red óptica de comunicaciones integrada (ICON) de SEL brinda el enfoque innovador que ofrece tráfico crítico con latencia

baja y determinista en una red de transporte Carrier Ethernet de Ciena. El concepto es preservar las características de rendimiento de TDM, que actualmente están disponibles en la plataforma SONET de ICON, sin degradación del rendimiento cuando se transporta por Carrier Ethernet como un protocolo de transporte de WAN.

Más información sobre la solución de Ciena y SEL



### Resultados de la prueba de latencia y conmutación por error de la encapsulación de SONET a través del núcleo de Carrier Ethernet de Ciena.

Los siguientes resultados de la prueba demuestran que, con el concepto de la red virtual SONET (VSN) de ICON de SEL, es posible proporcionar de manera constante latencia baja, asimetría de canal baja y restauración del sistema de OT muy rápida para las fallas en las redes centrales y en el borde. Estos resultados de rendimiento cumplen con los requisitos para las aplicaciones de protección.

Varios estándares especifican los requisitos de rendimiento del canal de comunicación para las aplicaciones de subestaciones de energía eléctrica. Si tomamos los requisitos de rendimiento especificados en IEEE 1646 e IEC TR 61850-90-12, incluidos los requisitos de fabricantes de relés para asimetría y restauración, podremos establecer un resumen de los requisitos de rendimiento del canal de comunicación para las aplicaciones de protección (Tabla I).

Esquema	Latencia (ms)	Asimetría (ms)	Restauración (ms)
Protección de 87L	5	<0.5	5
Protección piloto	8	5	5
Transferencia de disparo directo	10	5	5

Tabla I. Requisitos de rendimiento del canal de comunicaciones para circuitos de protección

## Pruebas y resultados de rendimiento de latencia

Los siguientes casos de pruebas proporcionan datos de rendimiento para la encapsulación del servicio mediante ICON de SEL a través de la red central Carrier Ethernet (nodo IT WAN 3930/3932 de Ciena). Esta red utilizó la topología indicada en la Figura 2.

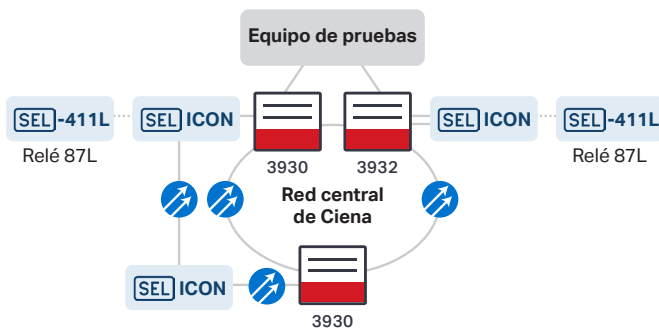


Figura 2. Topología de la red de prueba

Para establecer un conjunto de datos de referencia, se conectaron dos relés 87L de forma recíproca con un puente de fibra óptica (Figura 3).

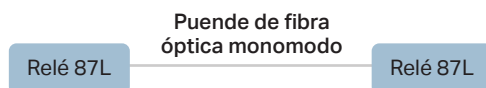


Figura 3. Topología de la red de prueba

Luego, los relés 87L de referencia se conectaron a una VSN de tres nodos. La información sobre latencia y asimetría se registró para compararla con los datos de los relés de referencia. En la Figura 4 se muestra la topología de la prueba para el sistema de prueba de la VSN.

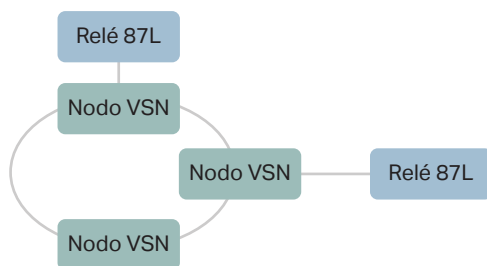


Figura 4. Red de prueba de VSN

La red de prueba de la VSN luego se expandió a la topología indicada en la Figura 1. Se insertó una WAN Carrier Ethernet de Ciena de tres nodos para que actúe como red central, de modo que la VSN de prueba se comunicara mediante túneles a través de la WAN y los relés 87L aún estaban conectados a la VSN. Se utilizó un equipo de prueba para generar tráfico de red que simule las condiciones típicas de carga de tráfico. Esto se realizó para validar que la red central podía utilizar la configuración de calidad de servicio para darle a la VSN una prioridad mayor sobre otro tráfico de red a fin de mantener el rendimiento determinista. Para el núcleo de la red Carrier Ethernet de Ciena, se le asignó a la VSN una clase de servicio fija resuelta (F-RCoS) de 0 y al tráfico del equipo de prueba se le asignó una F-RCoS de 7.

La prueba se realizó en los nodos de la WAN central de Carrier Ethernet de Ciena que se muestran en la Figura 1. En cada prueba se utilizó un relé 87L para establecer un circuito de protección de 87L, y las capacidades de medición interna de los relés se utilizaron para medir la latencia y asimetría del canal. Se registraron los parámetros de rendimiento de latencia y asimetría para la implementación de la red Carrier Ethernet. Se realizó una serie de cinco mediciones separadas en cada prueba, y se calcularon las latencias y asimetrías promedio.

En la Tabla II se muestran los resultados en comparación con los datos de referencia y de VSN únicamente. Cada dispositivo en el borde de VSN OT utilizó un buffer de jitter de tamaño variable según la PDV de la red central para optimizar la latencia a través de la red central de IT. Se utilizó una configuración de PDV para ajustar el tamaño del buffer de jitter. Para la red Carrier Ethernet, se utilizó una PDV de 50 µs.

Los resultados de la prueba en la Tabla II indican que la red Carrier Ethernet de Ciena solo introdujo un 1 ms adicional de latencia de ida y vuelta en comparación con las configuraciones de referencia y de VSN únicamente. La red central introdujo asimetría mínima, y los resultados están dentro de los requisitos de rendimiento del canal de comunicaciones para los circuitos de protección de 87L resumidos en la Tabla I.

Parámetro	Referencia (ms)	VSN (ms)	VSN y Carrier Ethernet (ms)
Latencia (RTD)	0,1	0,1	1,1
Asimetría	0,0	0,0	0,04

Tabla II. Resultados de la prueba de rendimiento del canal de comunicaciones

Lo más importante es que las pruebas validaron que la configuración de calidad de servicio adecuada se puede definir para proporcionar circuitos de VSN con prioridad suficiente sobre otros servicios a fin de asegurar el suministro determinista de bastidores de VSN y, por lo tanto, conservar la integridad y la temporización de los datos de SONET encapsulados.

## Transporte de paquetes determinista ofrece rendimiento líder en el sector

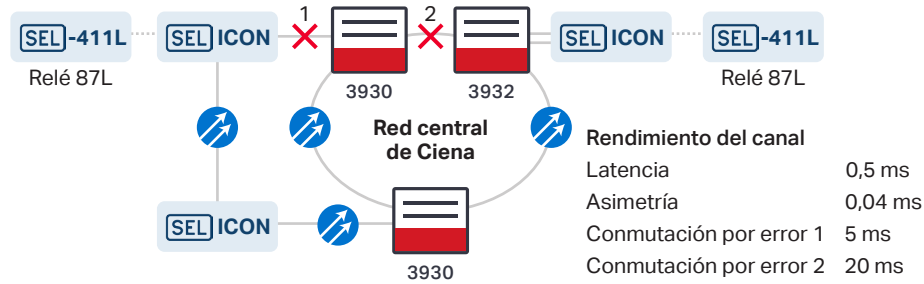


Figura 5. Resultados de la prueba de conmutación por error de la red central y en el borde

### Resultados de la prueba de reparación de red

El rendimiento de reparación de red para las rutas de VSN se puede optimizar al aprovisionar túneles de punto a punto sin protección a través de la red central. La reparación de red entonces se realiza mediante el dispositivo de borde de VSN OT en lugar de hacerlo mediante la red central.

Las siguientes pruebas de reparación se realizaron para medir el rendimiento comparativo de las conmutaciones por error de redes centrales y de borde. La prueba de conmutación por error de la red central implicaba romper la fibra en el enlace, como se muestra en la Figura 5 (Conmutación por error 1) y permitir que la red central realice una conmutación por error en la ruta redundante en el lado opuesto del anillo. En la prueba de conmutación por error de la red de borde que se muestra en la Figura 5 (Conmutación por error 2), se rompió un enlace desde el dispositivo OT en el borde al nodo de la WAN Carrier Ethernet de Ciena y la red OT en el borde realizó la reparación.

Los resultados de la prueba de conmutación por error en la Figura 5 indican que se puede lograr una ventaja de rendimiento significativa con la red OT en el borde para realizar la reparación de la red.

### Resumen

Las compañías de electricidad están implementando redes de suministro de energía altamente inteligentes para mejorar la eficiencia operativa, cubrir las demandas de los consumidores finales y cumplir con las normativas gubernamentales. Estas redes inteligentes funcionan con una red de comunicaciones bidireccional que debe ser muy confiable y de baja latencia, a la vez debe ser de instalación asequible y fácil operación.

Este documento ha demostrado que un enfoque de VSN ofrece un método para brindar protección crítica y tráfico del sistema de control en una WAN Carrier Ethernet mientras asegura que los atributos del rendimiento del canal de comunicaciones cumplan con los requisitos especificados en IEEE 1646 y IEC TR 61850-90-12. También resuelve gradualmente el desafío de migrar los circuitos de protección basados en TDM a Ethernet sin afectar el rendimiento de la red. El diseño, la planificación y la implementación de la red OT se simplifican en gran medida para las redes complejas con elementos de la red central y en el borde de la subestación que implican una combinación de tecnologías de transporte y equipos de fabricantes.

Esta solución utiliza un modelo de aprovisionamiento simplificado que escala fácilmente a medida que la topología de la red cambia y crece. Si se utilizan túneles de punto a punto a través de la red central Carrier Ethernet con la configuración de calidad de servicio más alta por debajo de NMS, se asegura que el rendimiento de los circuitos críticos se mantenga a medida que se realicen cambios en la red, lo cual evita la necesidad de administrar individualmente cada circuito de protección. Además, aunque el tráfico tenga mayor prioridad, la demora de todo el resto del tráfico es insignificante (un máximo de 0,1  $\mu$ s por enlace de red para una red central de 10 GbE).

Obtenga respuestas a sus preguntas  
La comunidad de Ciena

