



VI CONGRESO  
**SMART GRIDS**  
Madrid, 12 Diciembre 2019

# **TSN EN SMART GRIDS - COMUNICACIONES DETERMINISTAS PARA OPERACIONES CRÍTICAS**

**Alberto Sánchez**

Responsable de Innovación

Grupo Cuerva

**Jesús Torres**

Director de Integración TIC

Fundación CIRCE



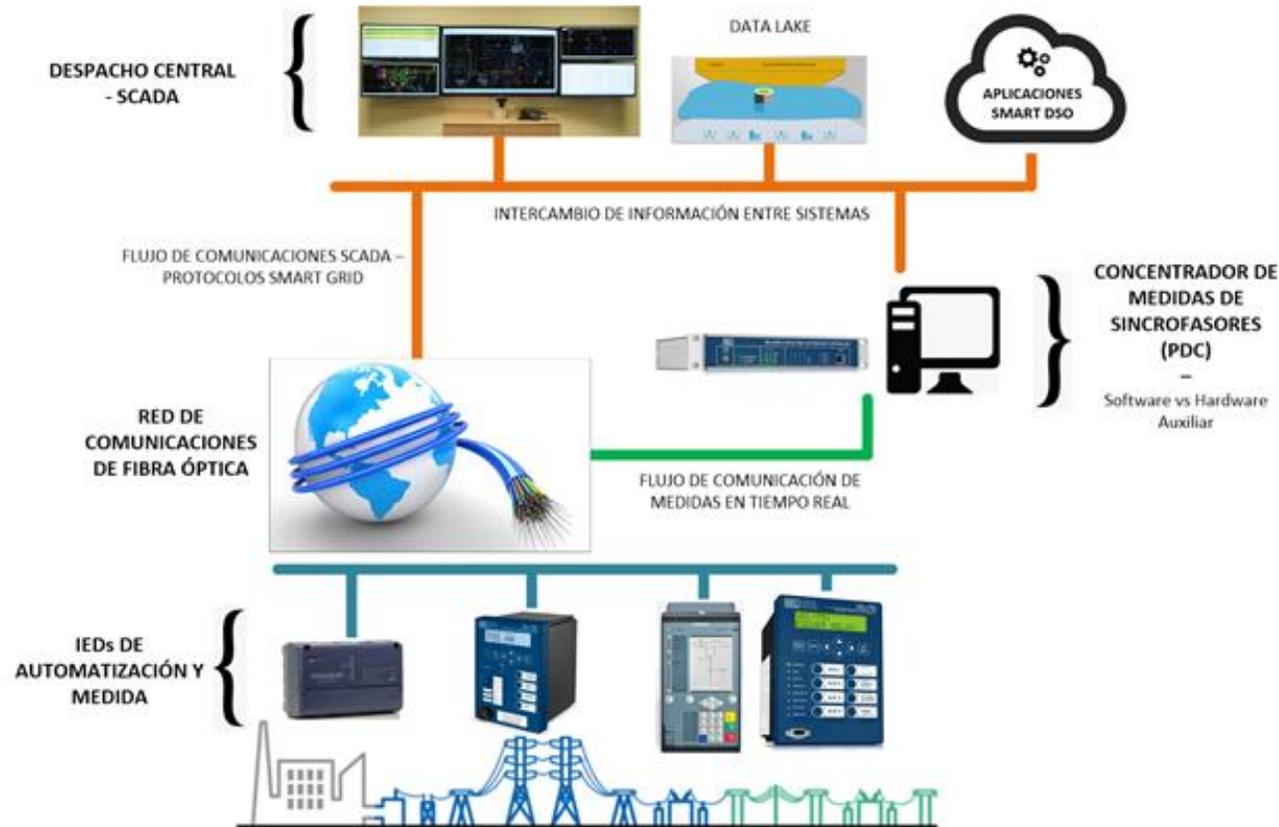
GRUPOTECMARED

@CongresoSG / #CongresoSG6



VI CONGRESO  
**SMART GRIDS**  
Madrid, 12 Diciembre 2019

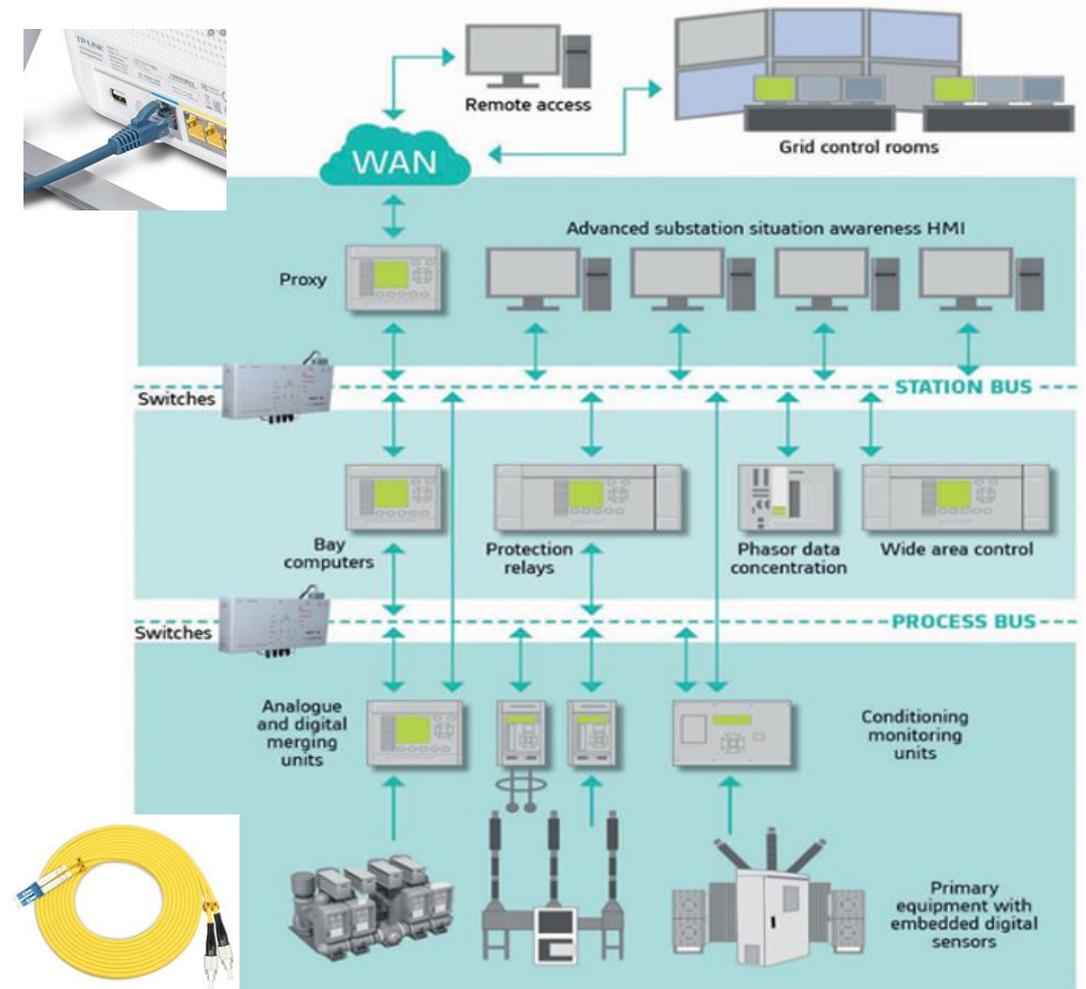
# MOTIVACIÓN Y CONTEXTO DEL TRABAJO



- Digitalización del DSO.
- Mejora de la operación de la red y de la calidad del servicio.
- Integración de las fuentes de información de la red.
  - Despliegue red de comunicaciones F.O.
  - Sistemas de información centrales normalizados.
- Especial enfoque en las medidas MT.
  - Algoritmos avanzados de operación

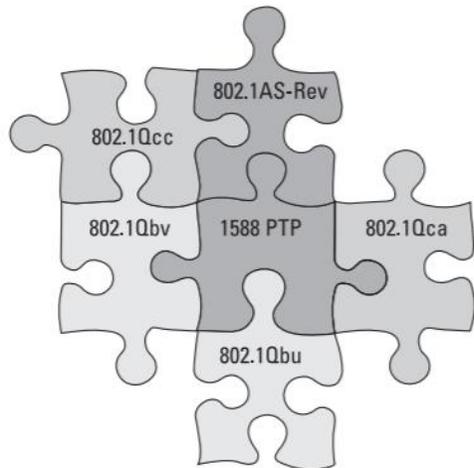
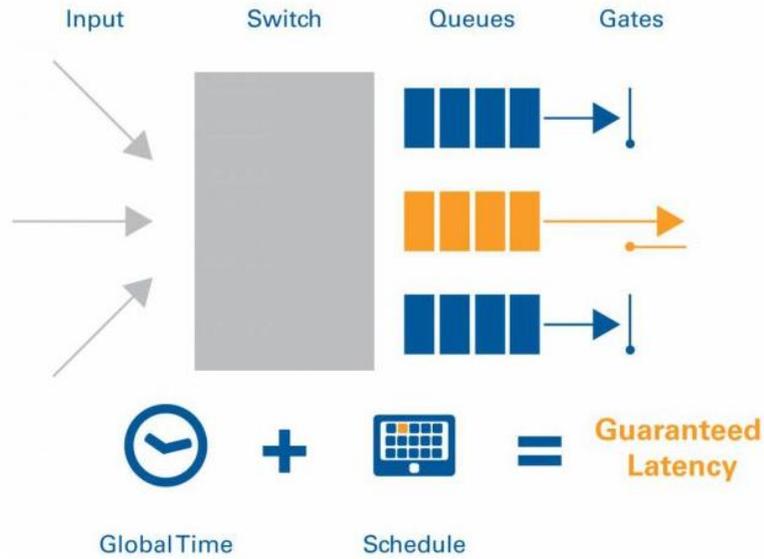
# SUBESTACIÓN DIGITAL Y COMUNICACIONES LOCALES

- Eficiencia de operación, gestión activa y visibilidad.
  - TIC para los procesos de monitorización y control (digitalización)
- Niveles: subestación, posición y proceso.
  - Requisitos crecientes de tiempo real y rendimiento (criticidad).
- Comunicaciones basadas en redes Ethernet
  - Modelo TCP/IP, Redes LAN
  - Latencia y tasas de transmisión equivalentes no garantizadas
  - **La robustez TIC es necesaria en tecnologías de operación**



(General Electric, 2014)

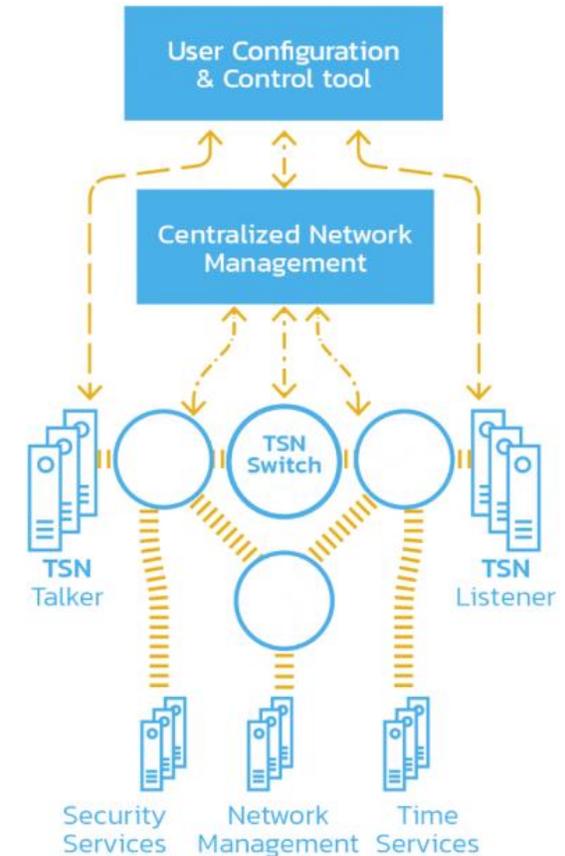
# TECNOLOGÍA TSN



Time synchronization | Scheduling | Reservation and configuration

- Aplicada sobre las redes Ethernet actuales
  - Es su **evolución**.
- Casos de éxito en otros sectores:
  - **Finanzas**: sincronización entre centros de datos y resolución temporal de las operaciones.
  - Introducción de Ethernet en las comunicaciones internas electrónicas en **vehículos**
- Objetivo: comunicación determinista.
  - **Ancho de banda y retardo**
- **Varios estándares** (IEEE 802.1)
  - Competencias funcionales
  - Implementación gradual
- **Puntos clave**: sincronización, reserva de recursos, prioridades.
- Requiere **dispositivos compatibles y mayor configuración**.

## TSN network topology



(Manufacturing tomorrow, 2018)

# EL PROYECTO

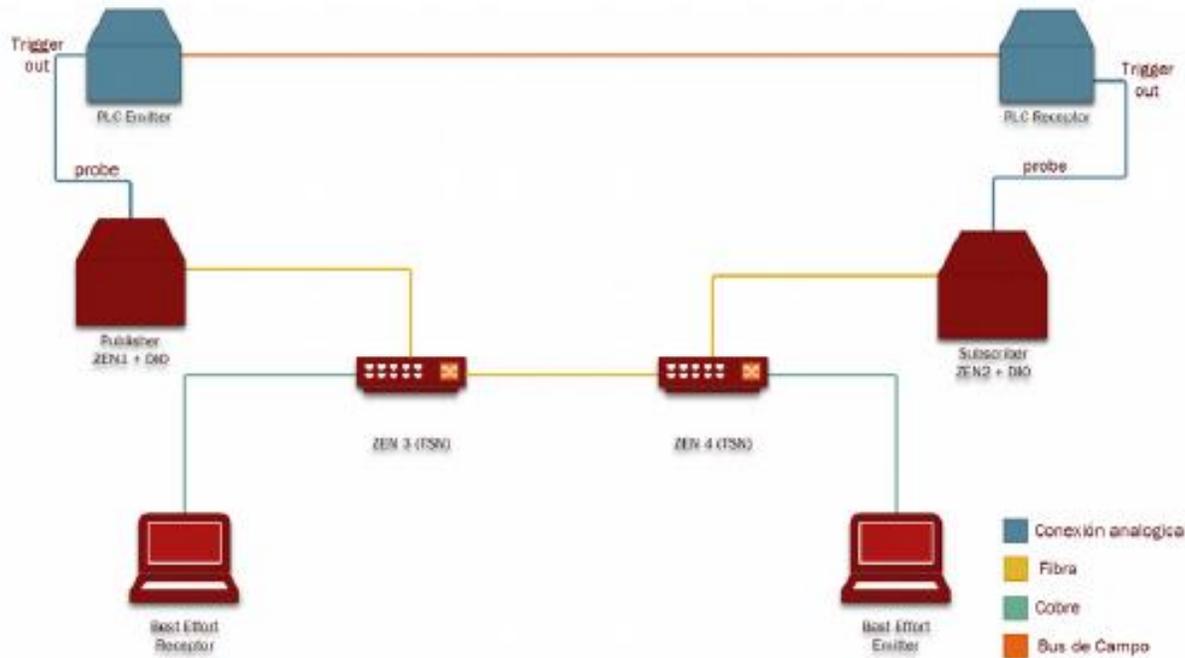
TSN: Deterministic communications for the Industry 4,0



TSN(2018): Deterministic communications for Industry 4.0. TSN for Smart Grid.

- Grupo Cuerva, Seven Solutions y Universidad de Granada.
- Materializado a través del clúster tecnológico y ecosistema regional OnGranada.
- Demostración de la viabilidad y conveniencia de TSN en Smart Grid.
  - Desarrollo tecnológico y pruebas (7S, UGR)
  - Demostración en un entorno real (Cuerva)

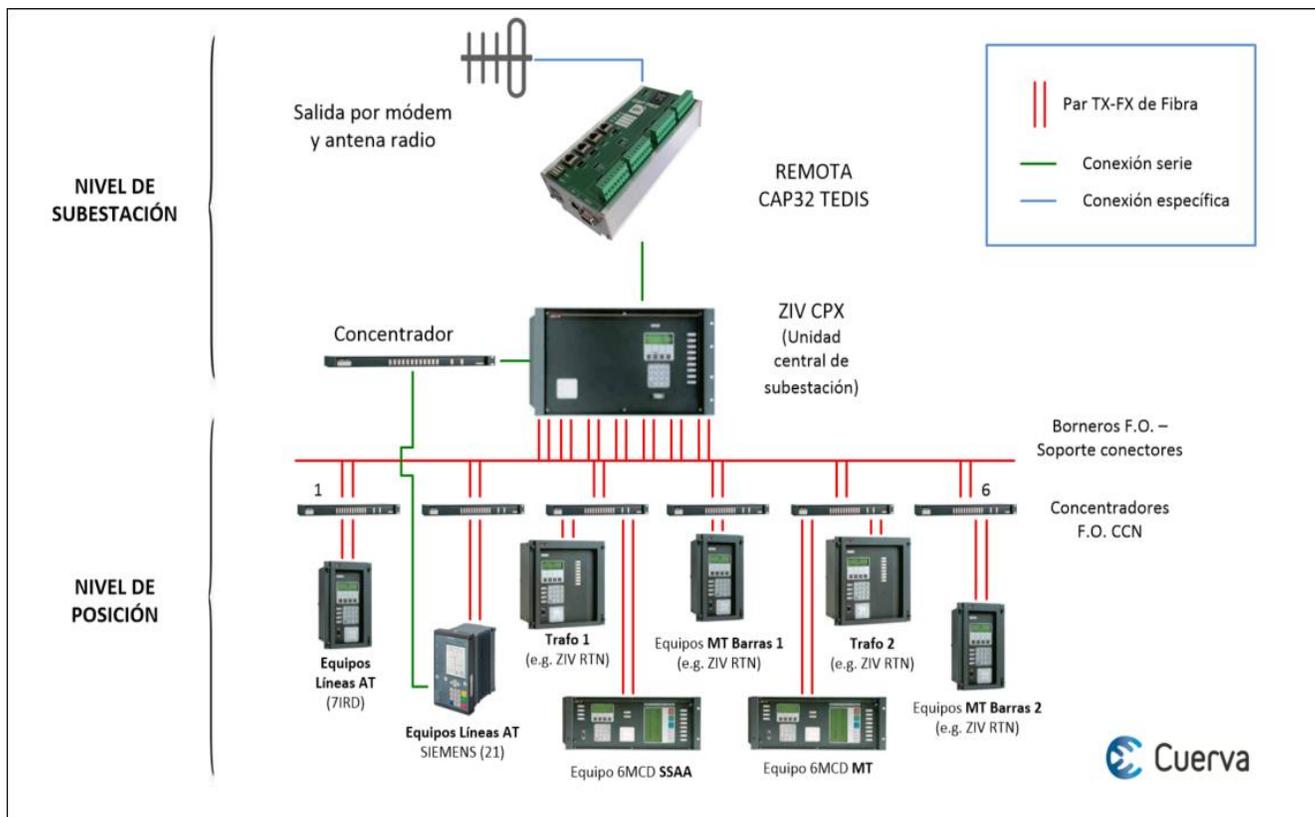
# DESARROLLOS Y DISPOSITIVOS TSN



- **Switch TSN 4 puertos.**
  - S.O. de tiempo real y herramientas de configuración propias.
  - Sincronización (802.1AS), clasificación (802.1Qbv) y reserva de recursos (802.1Qcc)
- **Nodos TSN ZEN.**
  - Emisión y recepción de tráfico TSN.
- **Equipos informáticos – PC**
  - Tráfico subestación digital (GOOSE).
  - Tráfico de propósito general.
- **Equipamiento general.**
  - Osciloscopios y sondas, analizadores de tráfico LAN, etc.

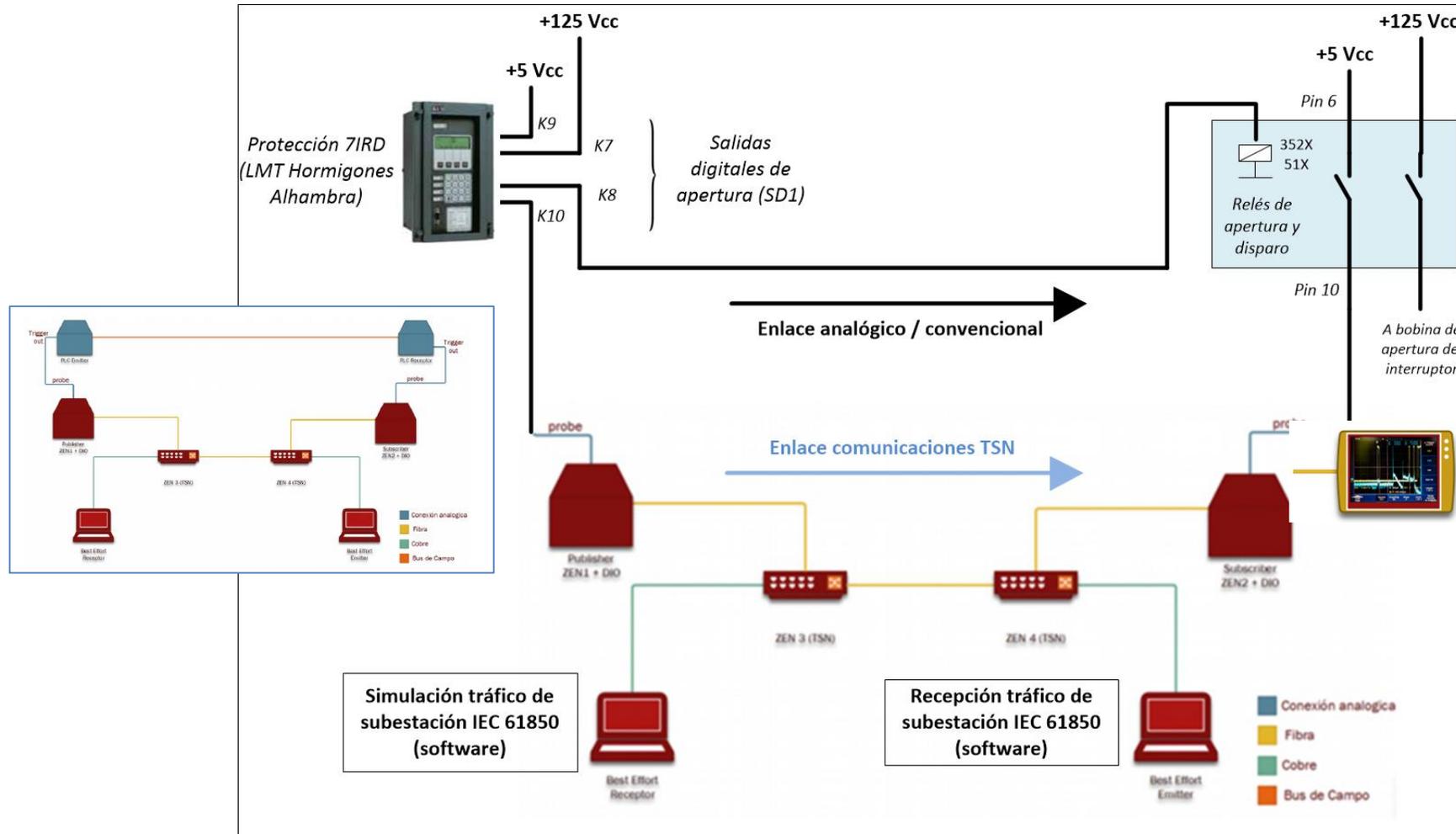


# APLICACIÓN EN LA SUBESTACIÓN - ANÁLISIS



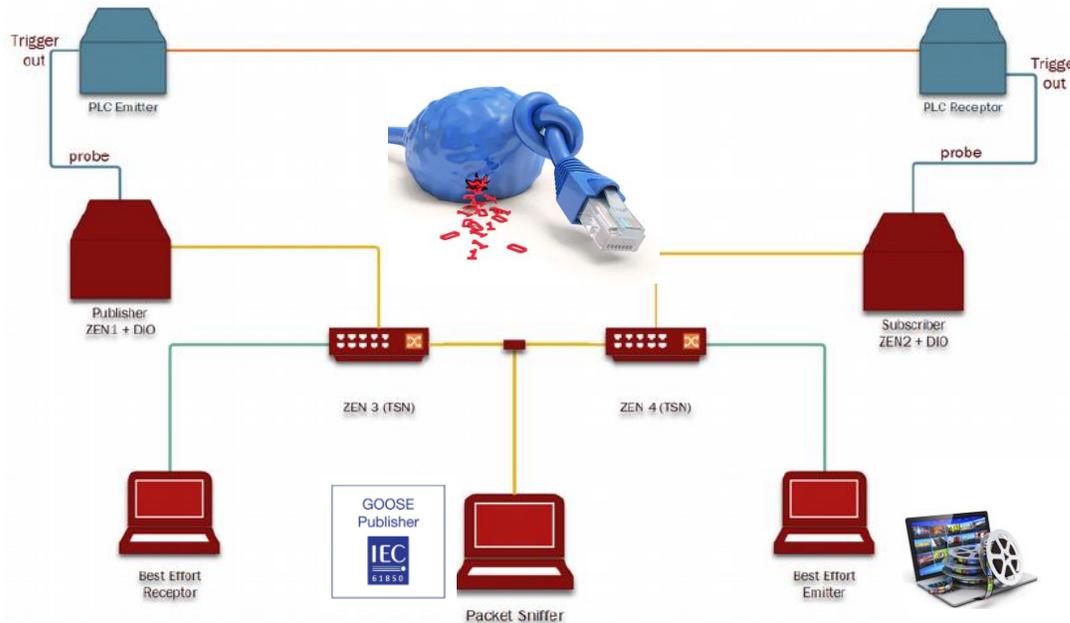
- Subestación real (SE Escúzar, Granada)
- Análisis de la topología de control para identificación de casos de uso trasladables a TSN
  - Ausencia de bus de campo o funciones ejecutadas sobre red LAN

# APLICACIÓN EN LA SUBESTACIÓN - PLANTEAMIENTO



- Función de proceso escogida: **apertura del interruptor.**
  - Accionamiento SD protección y relé auxiliar para apertura.
- **Réplica de la conexión usando TSN.**
  - Se comparte la misma señal analógica de origen (SD protección).
- Sonda y contactos auxiliares del relé para la **comparación de tiempos**

# PRUEBAS DE LABORATORIO



- Añadido un emisor adicional al montaje tipo de la subestación
  - Tráfico realista en subestación digital (IEC 61850 GOOSE). Aplicación de escritorio.
  - Varios niveles de priorización de tráfico: proceso, GOOSE y general.
    - Distintas configuraciones TSN (tabla)
- Múltiples pruebas para simular un mayor número de señales de campo (aperturas)
  - Solidez de los resultados cuantitativos

Iteración	Ciclo Total ( $\mu$ s)	Int <sub>0</sub>		Int <sub>1</sub>		Int <sub>2</sub>	
		Duración ( $\mu$ s)	Descripción [Q0 Q1 Q2 Q3]	Duración ( $\mu$ s)	Descripción [Q0 Q1 Q2 Q3]	Duración ( $\mu$ s)	Descripción [Q0 Q1 Q2 Q3]
0	192	96	BE & gPTP [1001]	48	GOOSE & gPTP [0101]	48	Crítico & gPTP [0011]
1	768	384		192		192	
2	1536	768		384		384	
3	3072	1536		768		768	

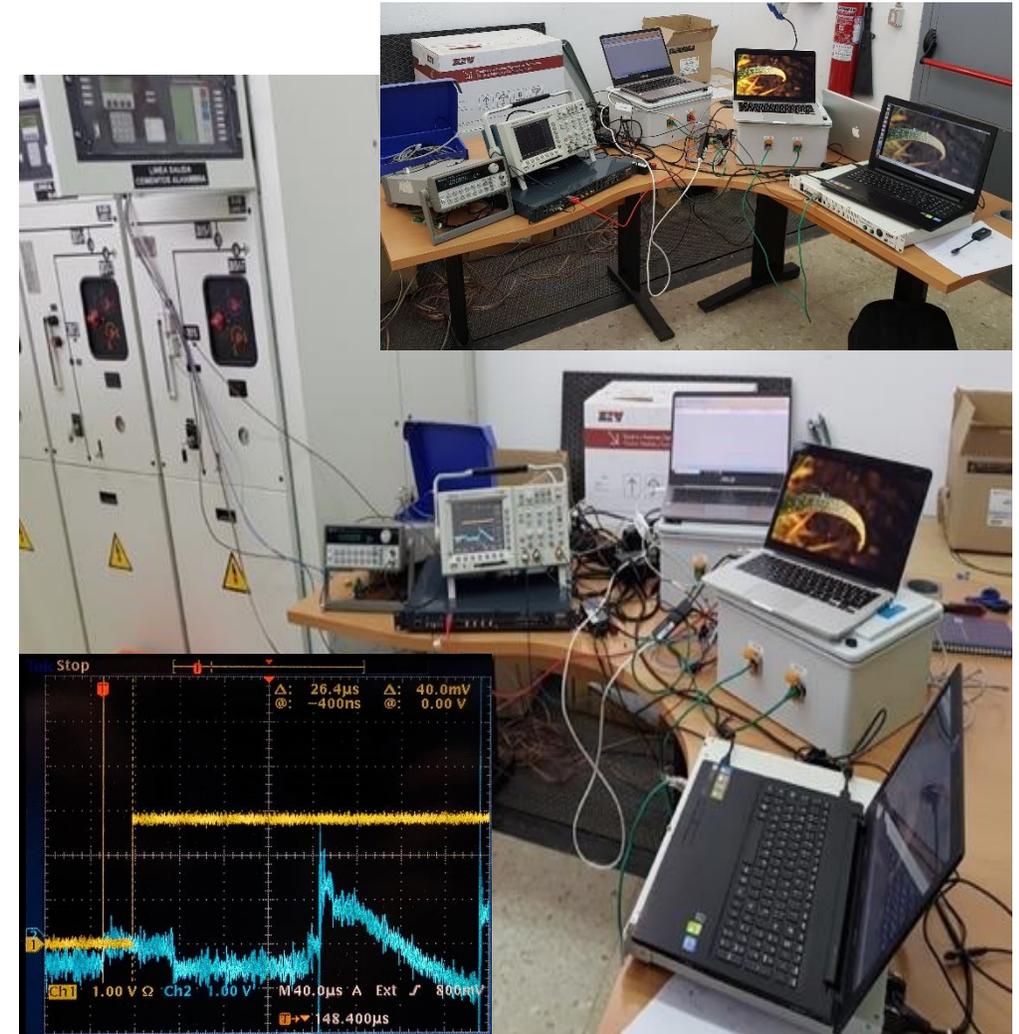
# RESULTADOS

- **Demostrador subestación:**

- Latencia circuito analógico: 209 us.
  - Cierre protección, propagación al relé, cierre relé
- Latencia red TSN: 30 us.
  - Cierre protección, conversión A/D emisor TSN, comunicación TSN, conversión D/A receptor TSN.
- Rendimiento TSN mantenido en la red saturada

## RESULTADOS - LABORATORIO

Iteración	Ciclo (μs)	Tráfico Crítico				Tráfico GOOSE	Tráfico Best-Effort
		Latencia <sub>max</sub> (μs)	Latencia <sub>min</sub> (μs)	Latencia <sub>p-p</sub> (μs)	Desv.Estándar (μs)	Pérdidas de Paquetes (%)	Pérdidas de Paquetes (%)
0	192	178.004	25.763	152.241	50.166	0.000	0.000
1	768	609.804	25.791	584.013	194.757	0.000	0.000
2	1536	1185.984	25.791	1160.193	385.589	0.008	0.008
3	3072	2337.987	25.775	2312.212	766.708	0.040	18.164



# CONCLUSIONES

- Viabilidad de TSN demostrada con una aplicación crítica.
- Los dispositivos de 7S logran un retardo acotado de 30 us por enlace de comunicaciones.
  - 80-120 ms para protecciones instantáneas (REE, 2005)
- El tiempo global de la función no se ve afectado.
  - Se acota el componente de la red de comunicaciones.
- Tráfico crítico independiente de la saturación de la red.
- TSN para barreras de adopción subestación digital:
  - Combinación de varios flujos de tráfico, preservando los más críticos.
  - Tiempo de transmisión garantizado: fiabilidad.
  - Arquitectura publicador-suscriptor -> medidas digitales.
- Próximos pasos:
  - Adaptación hardware
  - Influencia detallada de los parámetros de configuración TSN.
- Demostración documentada de TSN en una subestación real, con involucración del DSO.





# VI CONGRESO **SMART GRIDS** Madrid, 12 Diciembre 2019

Alberto Sánchez – Responsable Innovación Cuerva - [asanchez@grupocuerva.com](mailto:asanchez@grupocuerva.com)

Jesús Torres – Director Integración TIC CIRCE – [jesus.torres@fcirce.es](mailto:jesus.torres@fcirce.es)



*Proyecto financiado por el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (MINCOTUR) bajo el programa de soporte a la AI para la mejora de la competitividad de la industria en España. Referencia AEI-010500-2018-125.*