

 **Innovar**  **+**  **Grupo·epm**  
 **Desafíos que transforman vidas** **2021**   
**23 al 27 de agosto**

**Un espacio  
que fortalece la cultura  
de la innovación**



**Protección Diferencial de Línea y  
Teleprotección, sobre la red MPLS  
(Multiprotocol Label Switching) de EPM. Una  
apuesta por el cumplimiento técnico y la  
optimización de recursos.**

## Equipo



Mónica Quintero  
CET - UIP2



Ana I. Vanegas  
G. Proyectos S&L



David Ramirez  
G. Proyectos S&L



Walter Rodríguez  
USTO T&D



José H. Marquez  
U. Sub. Y líneas T&D



Rafael M. Luna  
D. Montajes



John E. Valencia  
D. Montajes



Jonathan Carmona  
CET - UIP2

## Antecedentes

2017: pruebas para el esquema de protección distancia (21)

2018: idea de implementar la función de teleprotección usando las tarjetas de red propias de los IED's

2019: idea de probar el esquema de protección 87L por medio de la red MPLS. Pruebas satisfactorias



## Objetivo

**Verificar, sobre la red MPLS, la correcta operación de la protección diferencial de línea y la teleprotección. Asegurando, con esto, la disminución de costos y de la indisponibilidad de las líneas existentes**

## Oportunidad

Evitar la implementación de la red de fibra óptica dedicada, como medio de comunicación entre los IED's de protección; reducción de costos y posible reducción de tiempos de puesta en operación

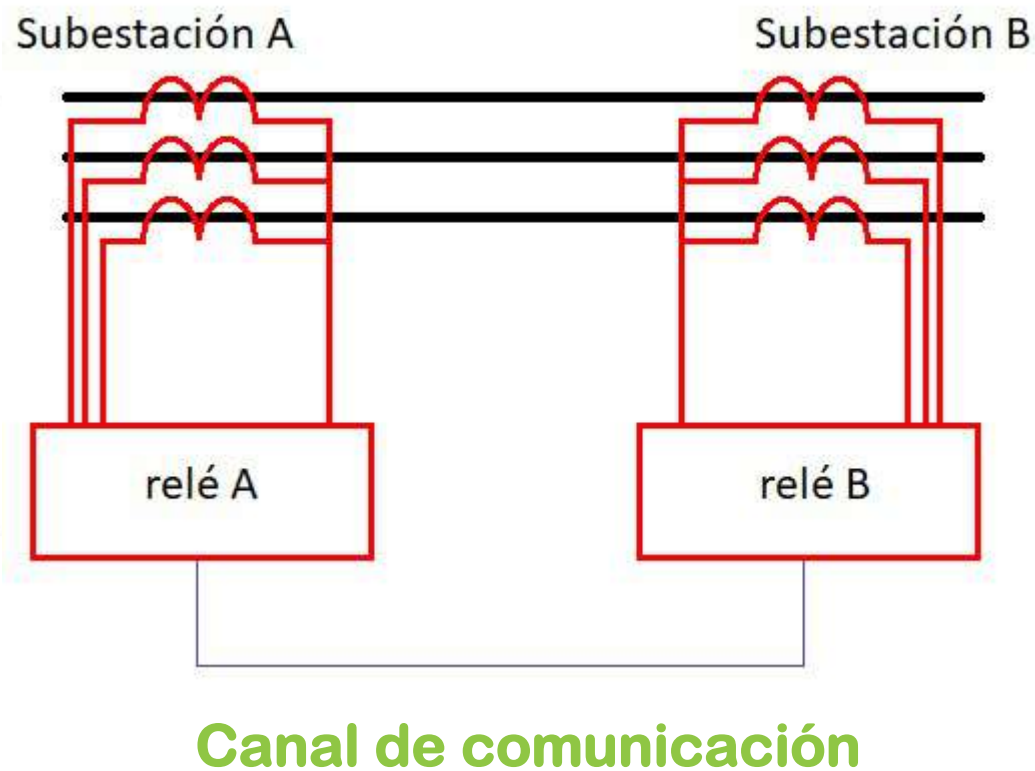
Subestación  
Ancón Sur

Subestación  
Miraflores

Subestación San  
Jerónimo

Subestación  
Santa Fe de  
Antioquia

## Protección diferencial de línea



# Protección diferencial de línea

## Medios de comunicación



Hilo piloto



Onda portadora



Microondas



Fibra óptica



## Condiciones a evaluar:



### Latencia o retardo:

Tiempo que transcurre entre un estímulo y la respuesta que produce



### Jitter o fluctuación del retardo:

variabilidad de la latencia entre ciclos de comunicación



### Simetría del canal:

Similitud del retardo en ambas direcciones del canal de comunicación



### Reconfigurabilidad o reenrutamiento:

Capacidad de la red para detectar fallas en el sistema y reconfigurarse rápidamente sobre una ruta de respaldo



## Latencia o retardo



- Interfaz entre el relé y el equipo de comunicación



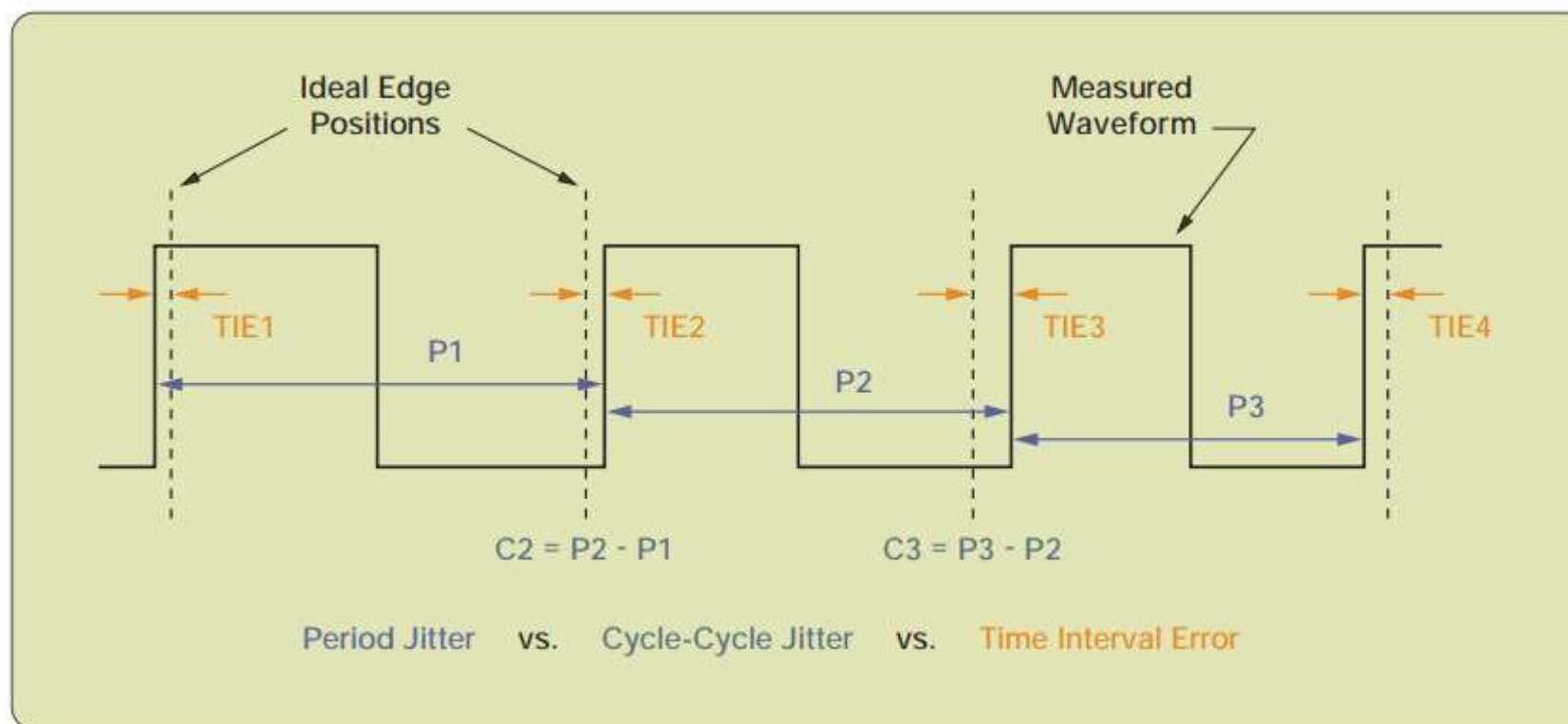
- Redes de equipos de comunicación



- Medio físico de la red (propagación)



## Jitter o fluctuación del retardo



Tektronix. (2002). Understanding and Characterizing Timing Jitter [Imagen]. archive.

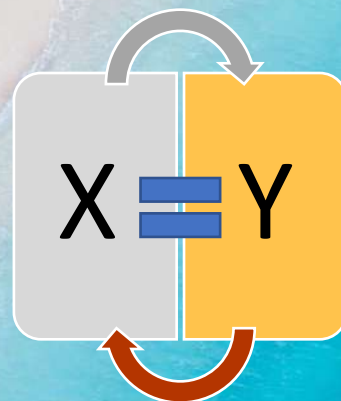
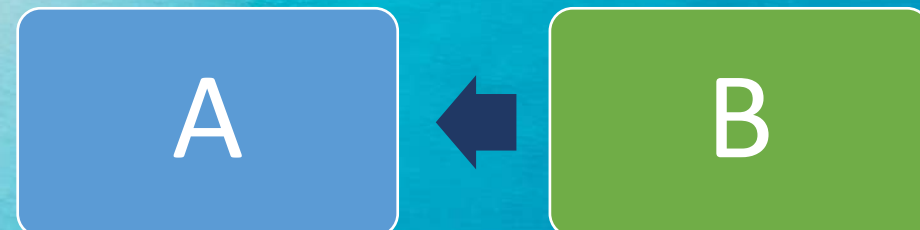
[https://web.archive.org/web/20110626113626/http://www.tek.com/Masurement/scopes/jitter/55W\\_16146\\_1.pdf](https://web.archive.org/web/20110626113626/http://www.tek.com/Masurement/scopes/jitter/55W_16146_1.pdf)

## Simetría

Retardo X



Retardo Y



## Reconfigurabilidad o reenrutamiento



## Las pruebas

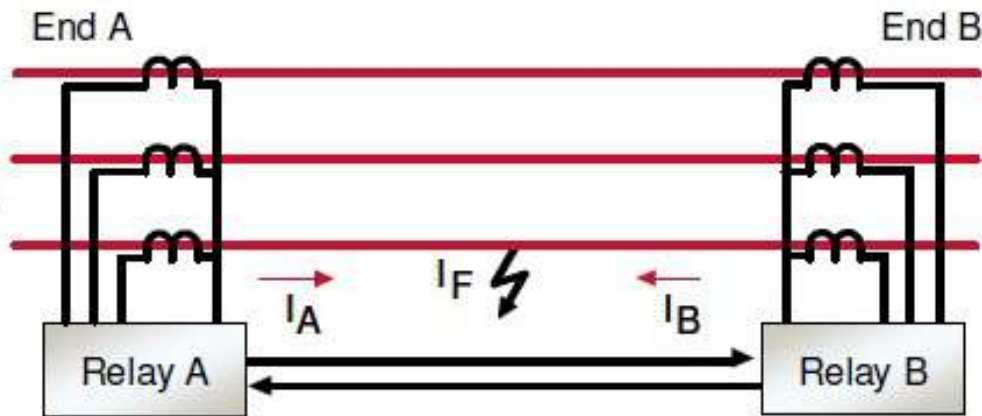


# Protección diferencial de línea

## Principio de operación

$I_A + I_B = 0$  Healthy

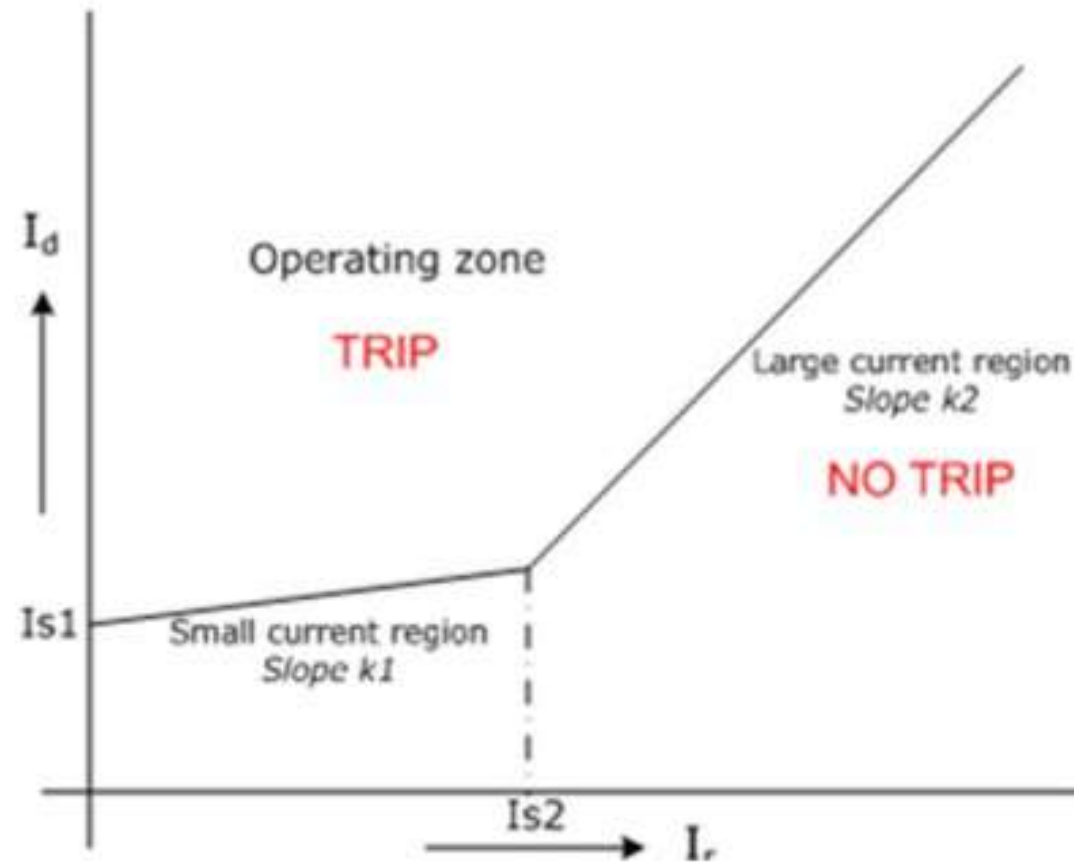
$I_A + I_B \neq 0$  Fault ( $= I_F$ )



Jesus J. Diago C. Lobo R. Blair S. De Valck B. (2014). mpls networks for inter substation communication for current differential protection applications in digital substations.

# Protección diferencial de línea

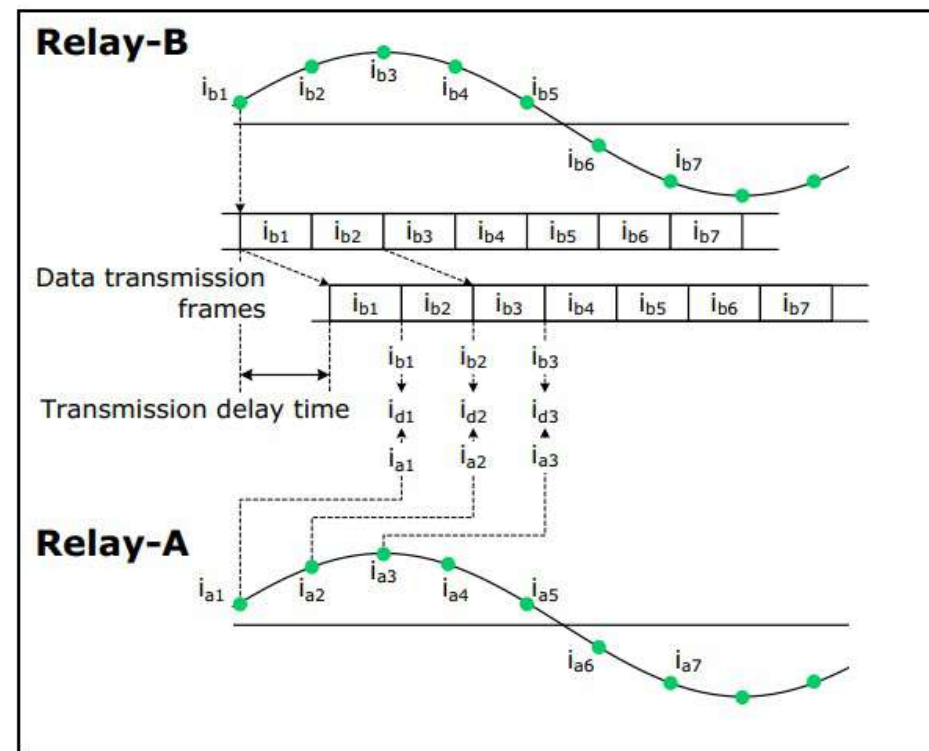
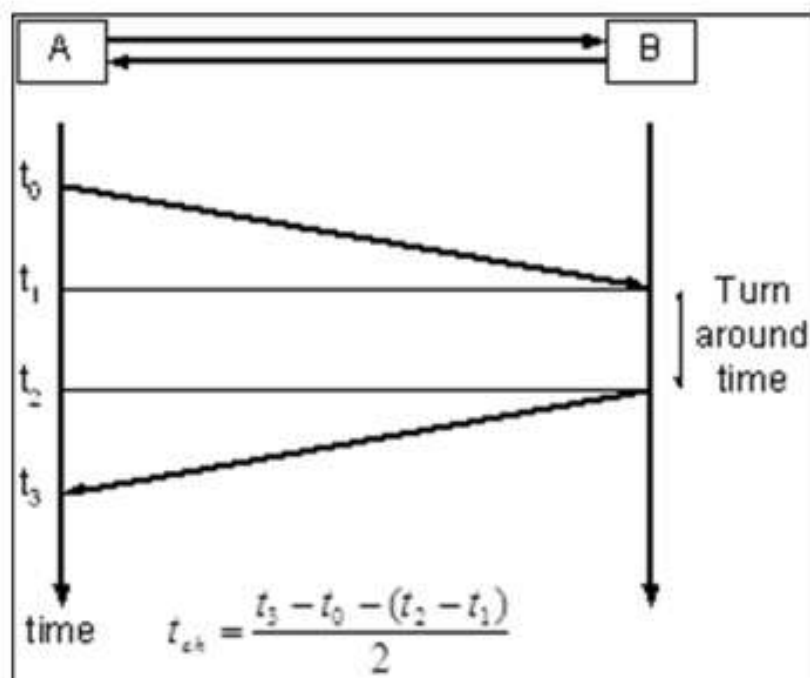
## Principio de operación



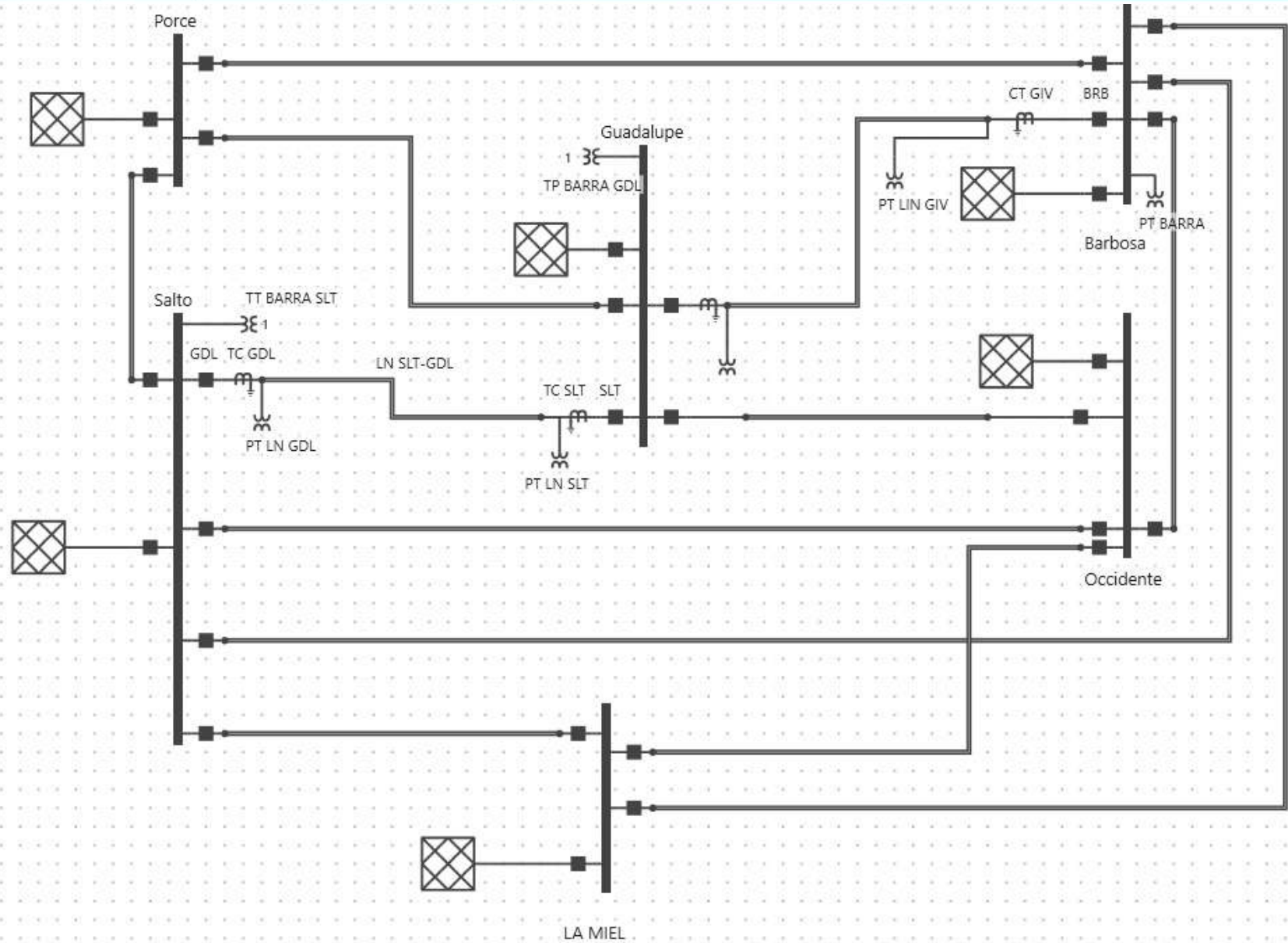


# Protección diferencial de línea

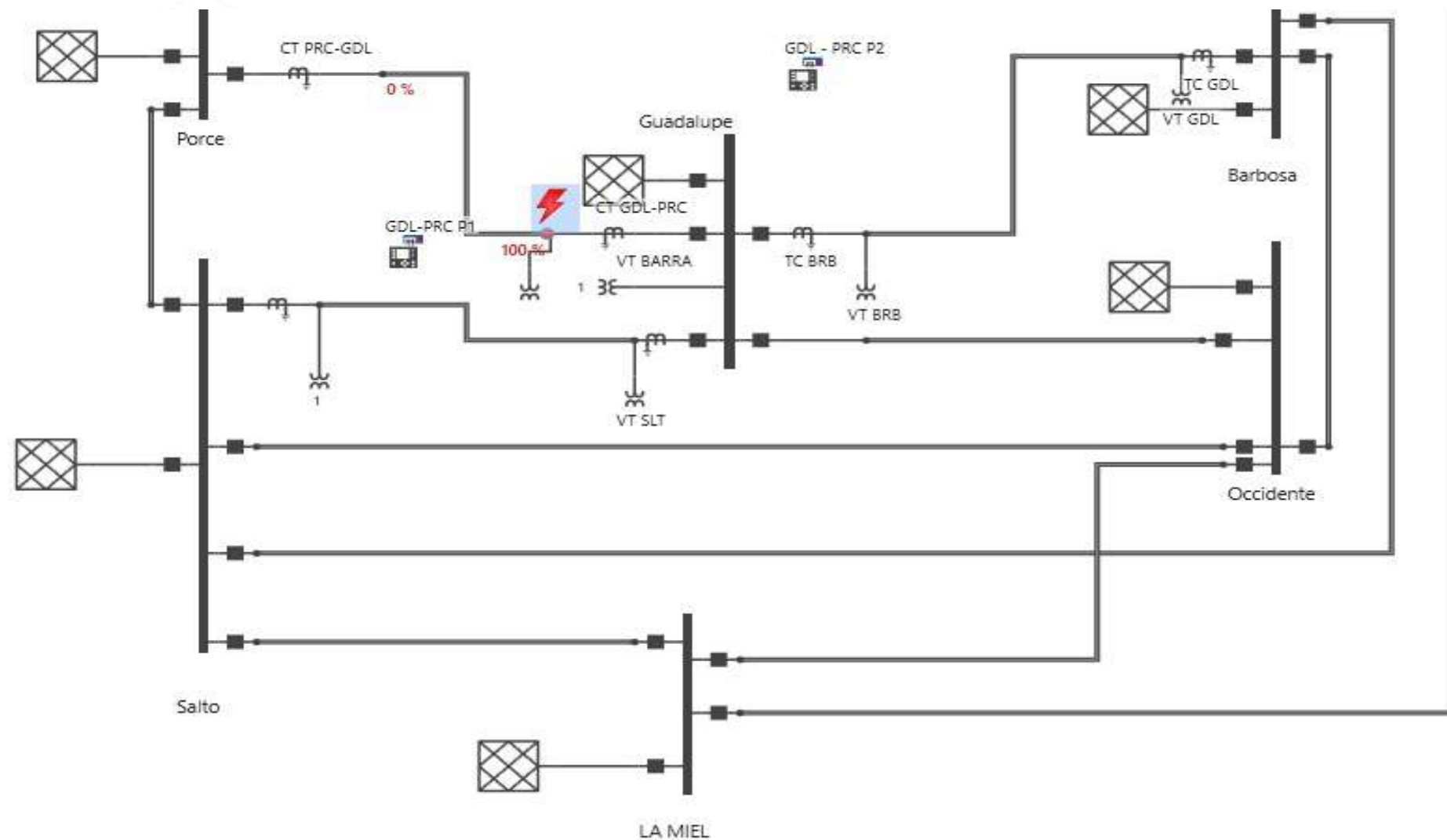
## Principio de operación



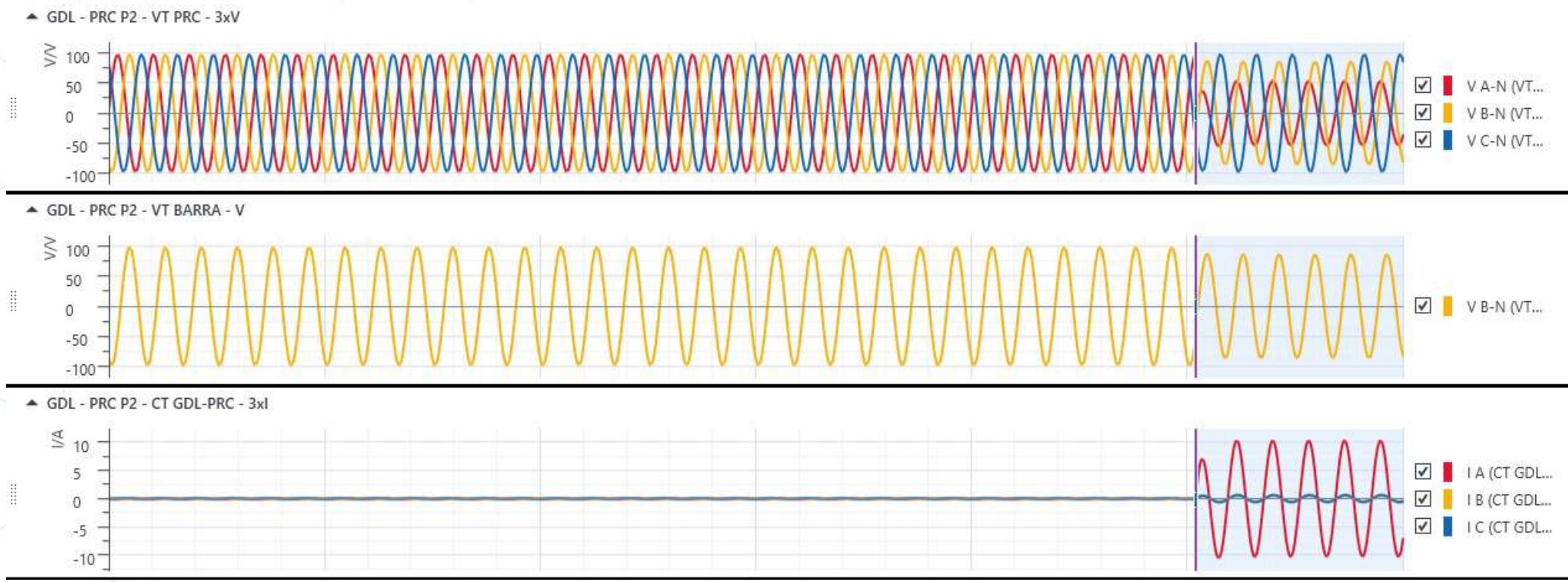
# Caso de simulación



# Caso de simulación

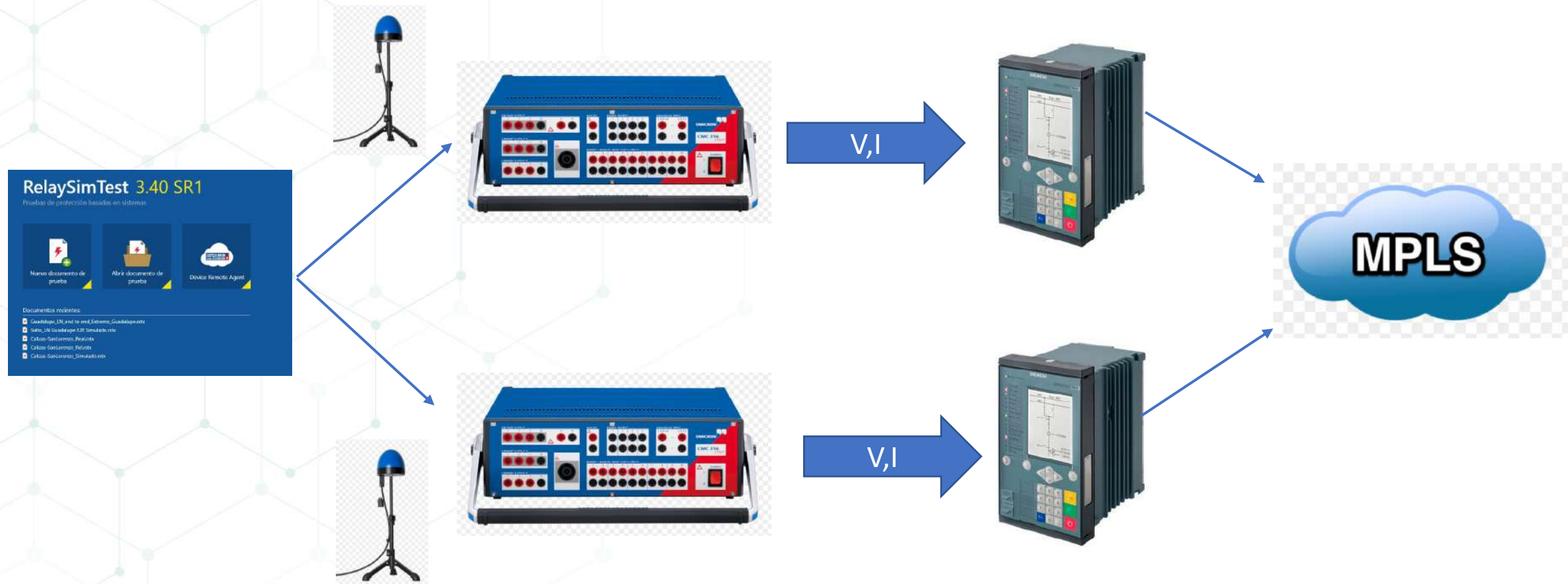


# Caso de simulación



# Desarrollo de la prueba

Topología: esquema general



## Desarrollo de la prueba

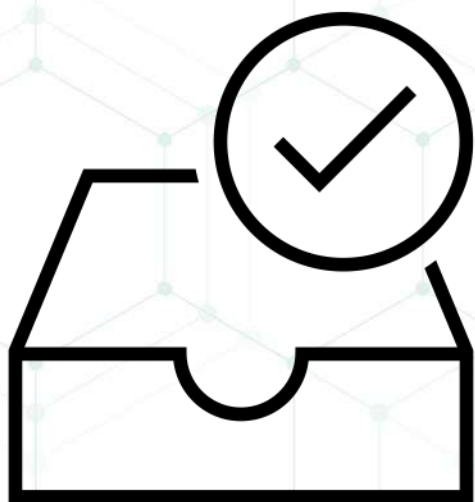
### Criterios de éxito

1. Correcta conexión entre relés
2. Paquetes OK y latencia aceptable
3. No hay disparos indeseados durante suicheo de ruta
4. Correcta operación del esquema diferencial de línea



## Desarrollo de la prueba

### Valores referencia de latencia y simetría

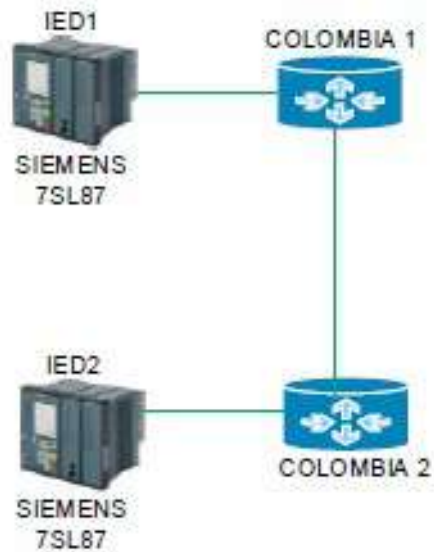


Scheme	Latency (ms)	Asymmetry (ms)	Restoration Time (ms)
Line current differential protection	5	<0.5	5
Pilot protection	8	5	5
Direct transfer trip (DTT)	10	5	5

# Desarrollo de la prueba

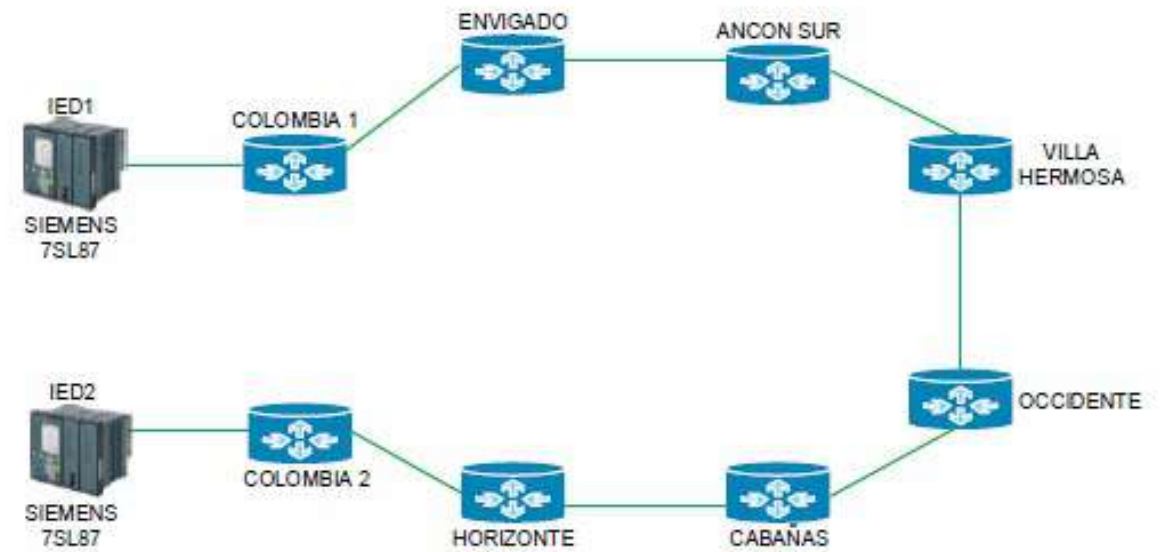
## Escenario 1

Ruta corta: enlace con 2 equipos MPLS



## Escenario 2

Ruta larga: enlace con 8 equipos MPLS





# Desarrollo de la prueba

## Procedimiento escenario

1. Red MPLS conforme a topología del escenario



2. Conectar los IED's al enrutador MPLS por medio del puerto C37.94



3. Verificar que los IED's se conecten correctamente

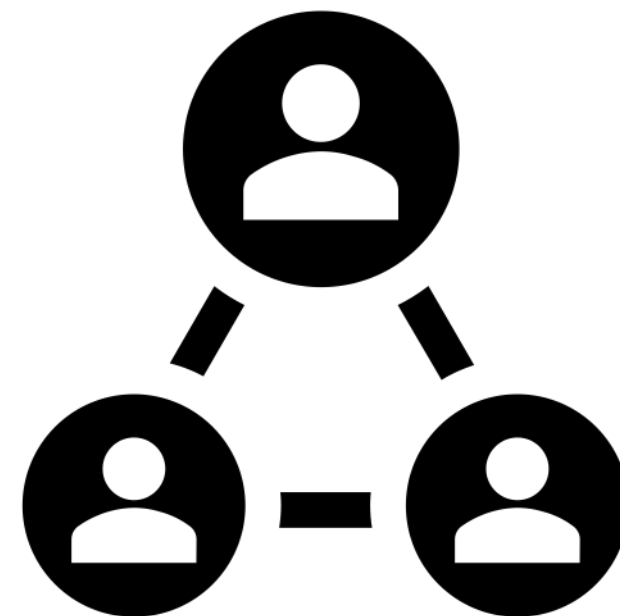
4. Medir latencia en ambas vías



5. Provocar suicheo de la ruta y verificar el comportamiento



6. Provocar una intermitencia de la comunicación y verificar el comportamiento



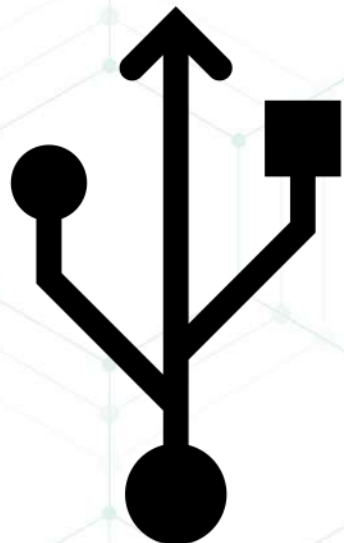
## Desarrollo de la prueba

Registro de pruebas escenario 1: latencia – Velocidad del canal de comunicación

	Velocidad del Canal	Latencia(ms) [<5ms]	Tiempo de Disparo (ms)
Prueba 1	64kbps	1.715	28.6
Prueba 2	128kbps	1.624	19.0
Prueba 3	512kbps	1.496	17.6

# Desarrollo de la prueba

## Escenario 1: verificación de bit de envío y de recibo

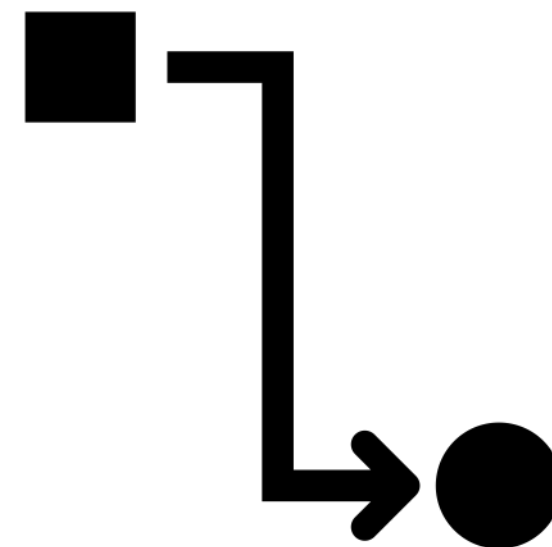


Velocidad del Canal	Tiempo de envío IED 1- IED 2	Tiempo de recibo IED 2- IED 1	Delay (ms) IED 1-IED 2	Delay (ms) IED 2-IED 1
512kbps	13:55:29:805	13:55:29:806	6	5
	13:55:29:811	13:55:29:811		
128kbps	14:06:16:339	14:06:16:339	10	9
	14:06:16:349	14:06:16:348		
64kbps	14:21:47:408	14:21:47:408	20	20
	14:21:47:428	14:21:47:428		

## Desarrollo de la prueba

### Escenario 2: Tiempo de procesamiento de la red MPLS

	Tiempo de envío IED 1- IED 2	Delay (ms) IED 1-IED 2
Prueba 1	15:14:38:573	10
	15:14:38:583	
Prueba 2	15:36:29:647	11
	15:36:29:658	



## Desarrollo de la prueba

Se reportaron los siguientes tiempos de latencia:



Ruta	Latencia
Conexión FO Dedicada	0 ms
Ruta Corta	1.46 ms
Ruta Larga	2.32 ms



## Desarrollo de la prueba



## Operación con rutas redundantes

Bloqueo, en la función diferencial de línea, al simular una falla en el canal de comunicaciones principal

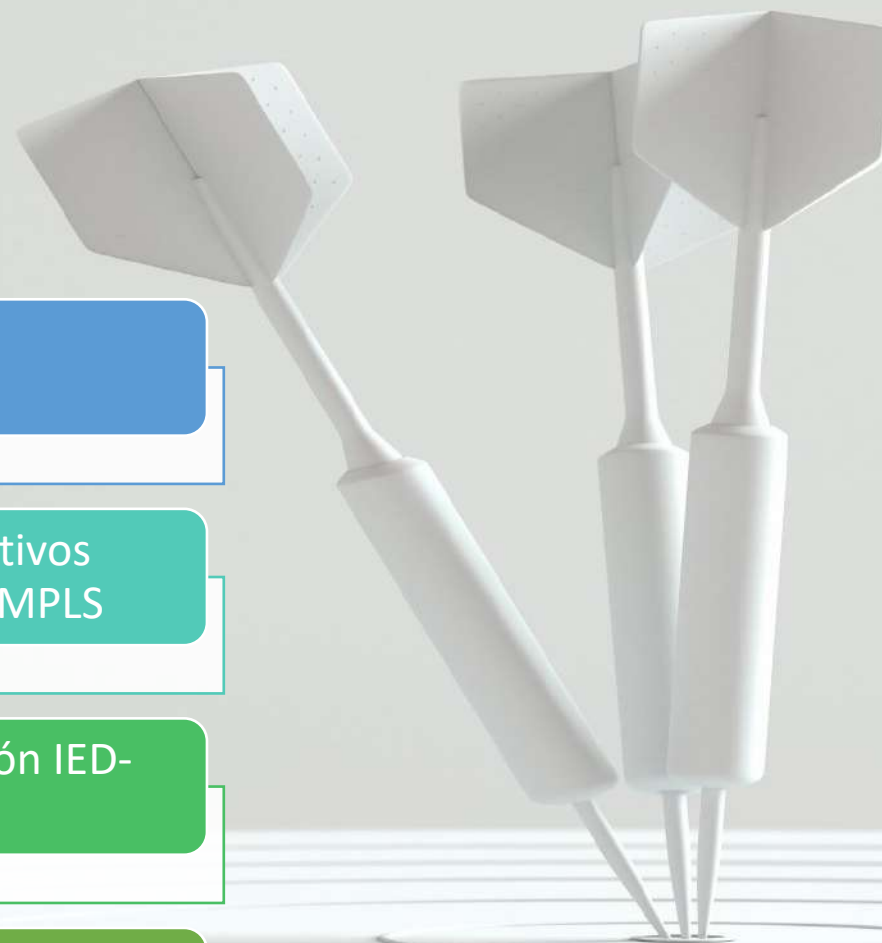
## Resultados

La red MPLS cumple con los requisitos críticos

La latencia obedece, principalmente, a los IED's (dispositivos electrónicos inteligentes) y no a la cantidad de equipos MPLS

Se sugiere no usar conversores de medio para la conexión IED-MPLS

La conmutación del canal origina el bloqueo de la función diferencial



## Conclusiones

La implementación propuesta, y las pruebas realizadas permiten:

Asegurar que la latencia es inferior a 5 ms

Asegurar que la transmisión del disparo es confiable

Asegurar que no hay disparos indeseados a causa de la pérdida de comunicaciones

Lograr la supervisión del canal, de extremo a extremo





## Conclusiones

El tamaño del buffer de jitter, y el tamaño del payload inciden en la latencia del canal

No implementar un canal de redundancia para la diferencial de línea; en 220 kV rutas determinísticas; 110 kV tanto la PP como la PR

garantizar la sincronización, de los IED's, en cada subestación para asegurar la sincronización temporal en caso de fallas que ocasionen latencias asimétricas del canal

El ahorro de dinero, por km de línea de transmisión, puede alcanzar los \$23,000,000



# Sala 2 TRANSFORMACIÓN, del café de innovación

 **Innovar+**  
Desafíos que transforman vidas 2021  
23 al 27 de agosto

Grupo.epm

**¡Gracias!**  
por ser parte de la  
**comunidad Innovar +**



Grupo.epm