

FACTS Modulares Tecnología de la transformación de la red

Giovanni Marín Avalos

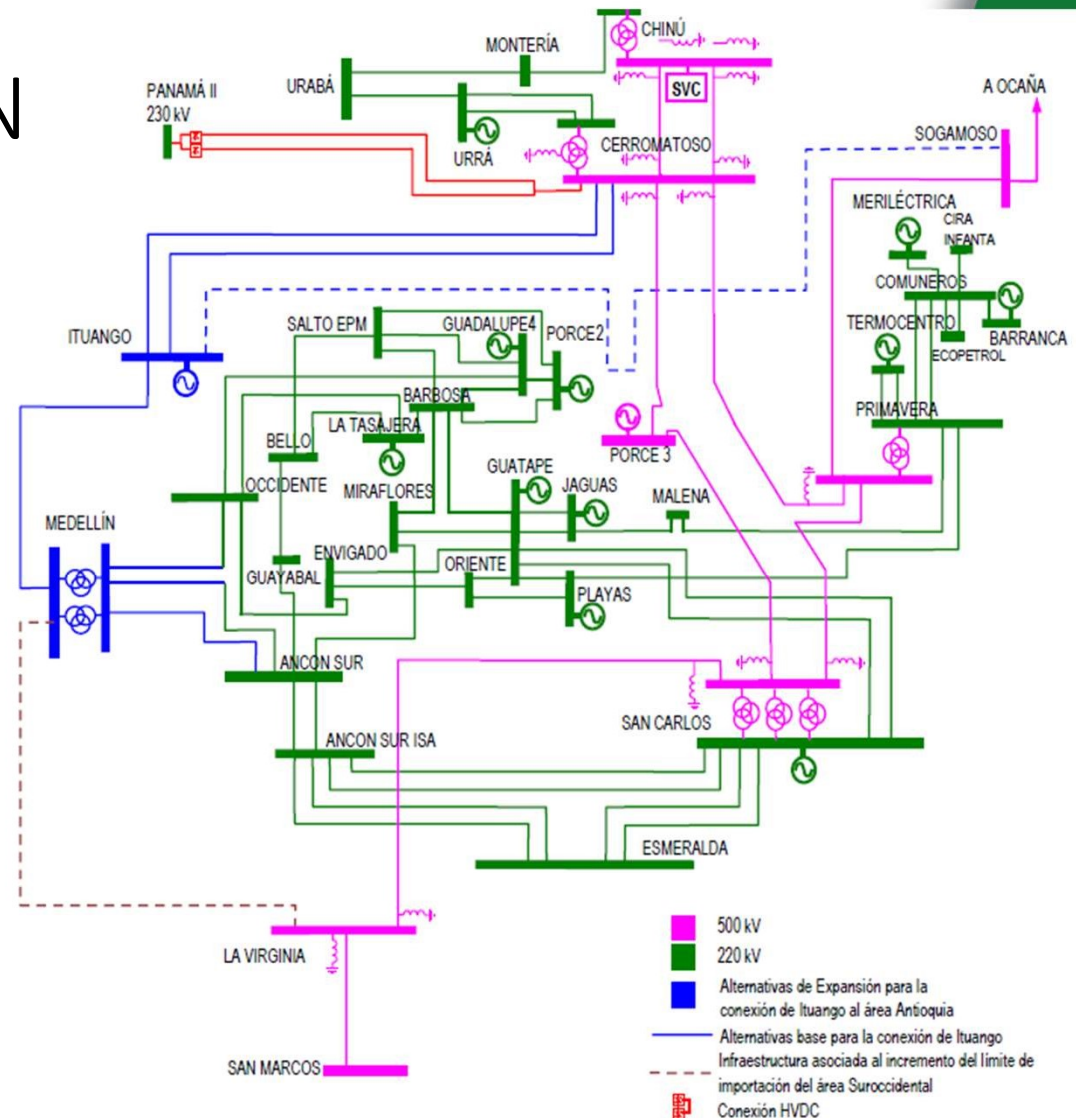
UN. PLANEACION INFRAESTRUCTURA T&D ENERGÍA

EPM



Antecedentes en el STN

Obras para la interconexión de la central Hidroituango - Plan de Expansión de Referencia Generación – Transmisión 2013 – 2027



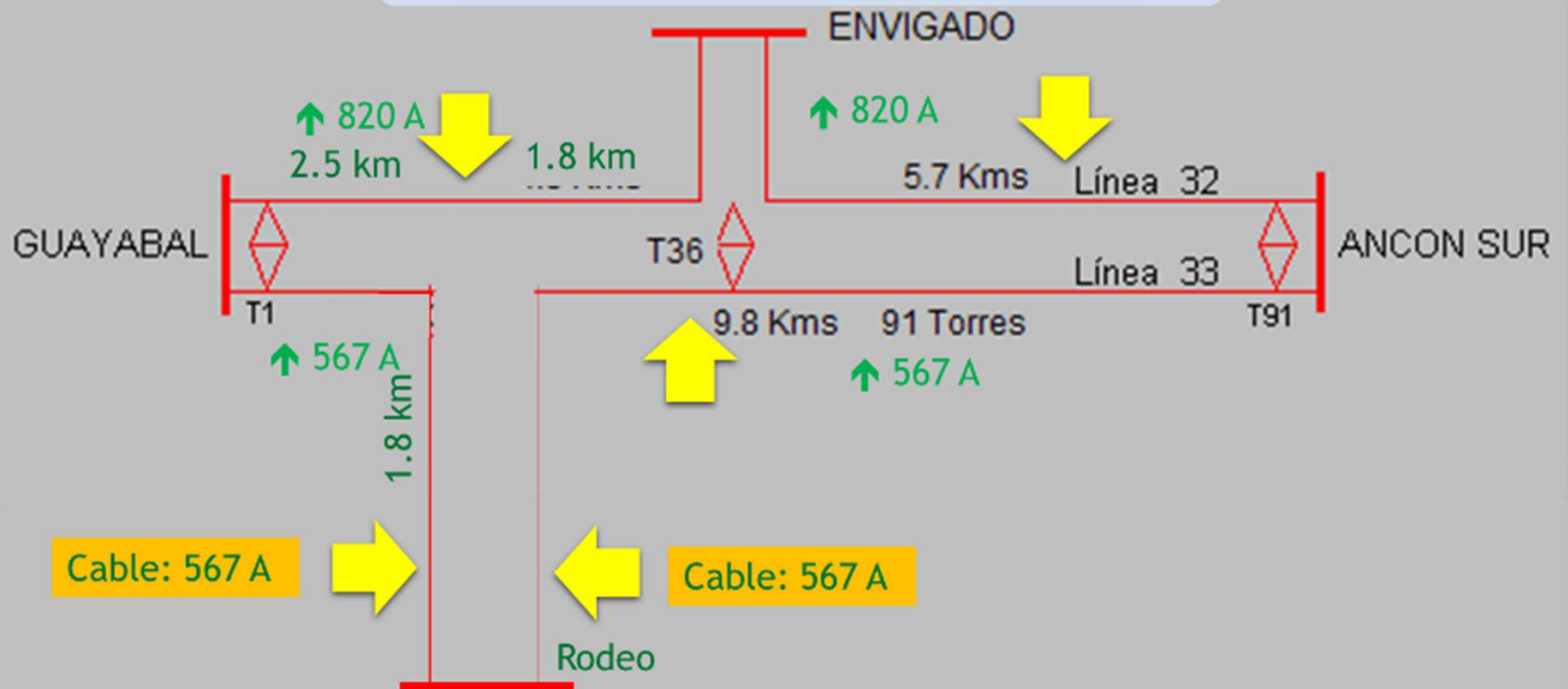
Fuente de gráfica: UPME

Antecedentes del CTD

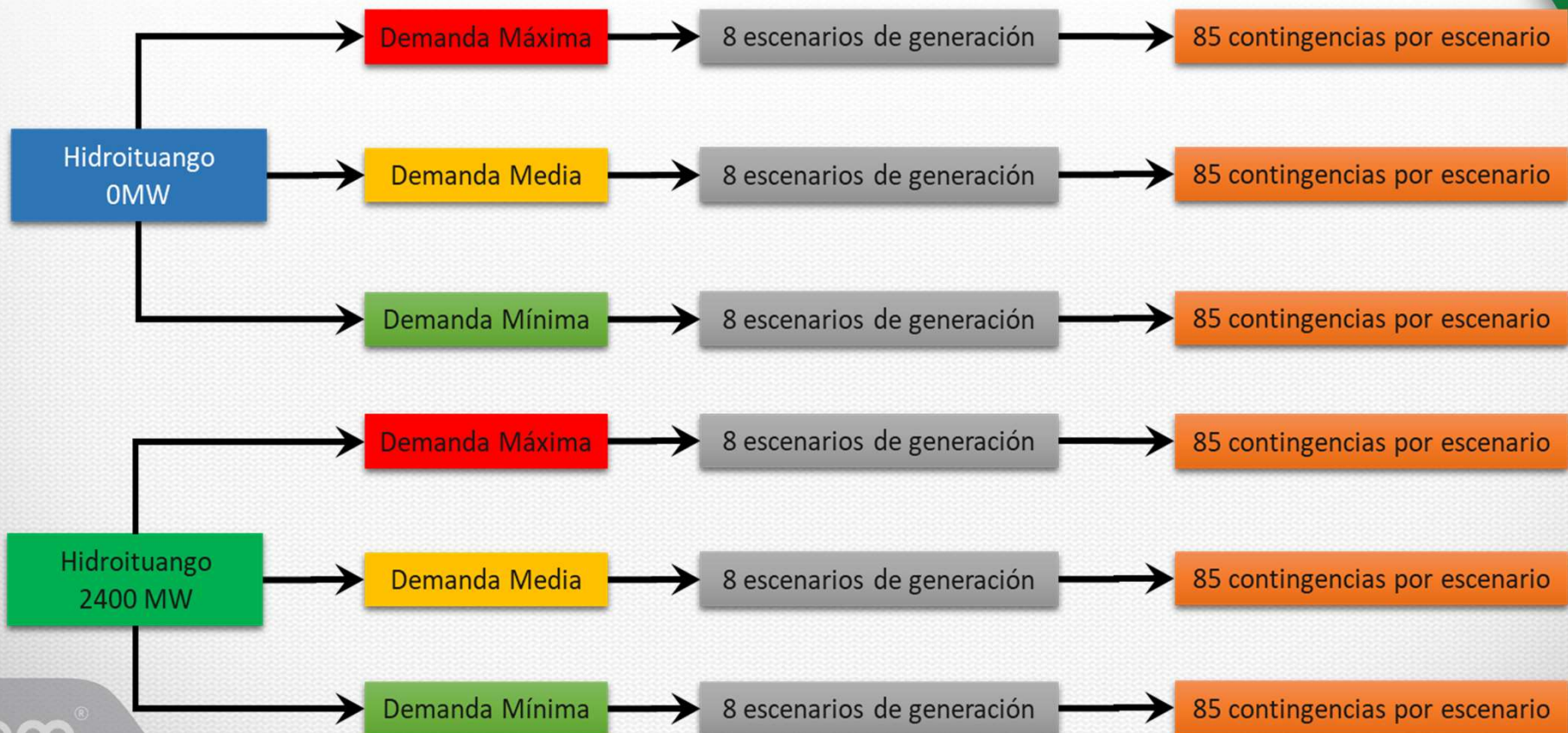
Alternativa B: Reconfigurar Ancón - Guayabal 110 kV

1B: Repotenciar con conductor HTLS

2B: FACTS Distribuidos



Escenarios de análisis





Problemas de cargabilidad encontrados

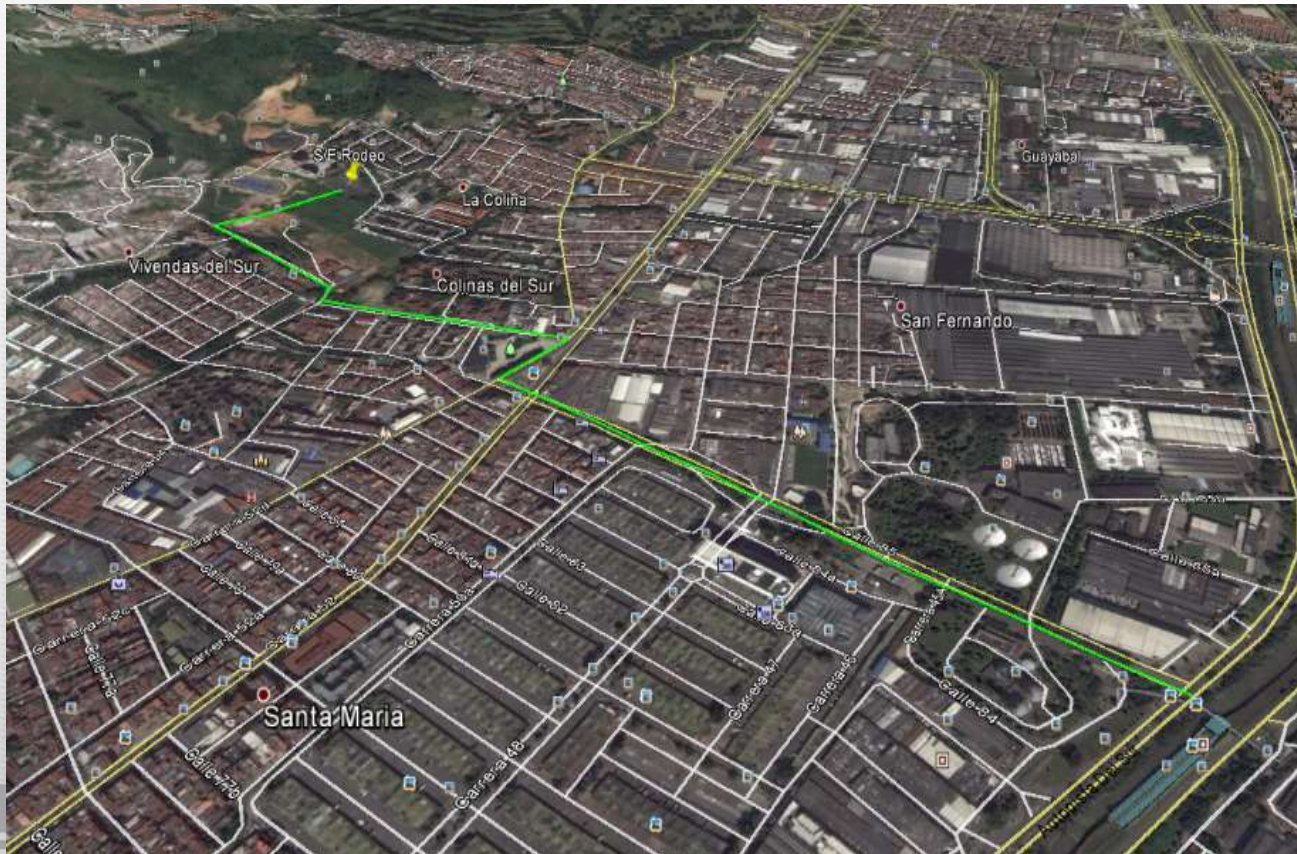
Reconfiguración Envigado-Rodeo-Guayabal



Generation Scenario	Demand Scenario	Affected Element	Contingency	Ituango 2400MW				Ituango 0MW			
				Load % 2020	Load % 2022	Load % 2025	Load % 2030	Load % 2020	Load % 2022	Load % 2025	Load % 2030
NAal_Gsal_pch	Min	Ancón Sur - Envigado 110	Medellín - Occidente 220	139.05	105.21	104.35	104.67	147.97	127.98	126.76	126.18
NAal_Gsal	Min	Ancón Sur - Envigado 110	Medellín - Occidente 220	126.22	107.98	106.75	106.66	135.34	127.09	125.69	127.06
Naba_Gsba_pch	Med	Ancón Sur - Envigado 110	Guayabal - Rodeo A 110		100.57	88	81.37	81.85	93.76	94.2	87.98
NAal_GSba	Min	Ancón Sur - Envigado 110	Medellín - Occidente 220	96.41	80.66			105.7	98.58	95.73	98.19
NAal_Gsal	Max	Ancón Sur - Envigado 110	Medellín - Occidente 220	92.69				100.69	91.13	86.06	87.38
NAal_Gsal_pch	Max	Ancón Sur - Envigado 110	Medellín - Occidente 220	104.24				113.65	102.17	93.93	91.11
NAal_Gsal_pch	Med	Ancón Sur - Envigado 110	Medellín - Occidente 220	101.49				111.27	93.05	89.65	87.73
NAal_Gsal_pch	Min	Ancón Sur - Envigado 110	Base case	96.11				101.08	85	83.55	82.84
NAal_Gsba_pch	Min	Ancón Sur - Envigado 110	Medellín - Occidente 220	105.85				115.23	98.63	95.13	97.86
Naba_Gsal_PCH	Min	Ancón Sur - Envigado 110	Medellín - Occidente 220	96.35				105.19	89.9	86.51	87.5
NAal_Gsal_pch	Min	Ancón Sur - Guayabal 110	Guayabal - Ancón 220	103.45				105.61	85.41	82.39	
Naba_Gsal	Max	Envigado - Rodeo 110	Envigado - Itagüí 110	123.29	137.88	150.59	170.08	125.09	141.11	154.45	172.93
Naba_Gsal	Med	Envigado - Rodeo 110	Envigado - Itagüí 110	116.77	132.72	145.04	161.86	118.93	135.62	149.08	165.13
Naba_Gsal_PCH	Max	Envigado - Rodeo 110	Envigado - Itagüí 110	100.22	111.92	125.92	145.54	102.75	116.45	129.85	149.17
Naba_Gsba	Max	Envigado - Rodeo 110	Envigado - Itagüí 110	97.44	124.79	123.25	141.14	99.41	115.08	127.57	144.79
Naba_Gsal_PCH	Med	Envigado - Rodeo 110	Envigado - Itagüí 110	93.65	107.84	120.45	138.48	96.56	111.83	124.72	141.83
Naba_Gsba	Med	Envigado - Rodeo 110	Envigado - Itagüí 110	91.29	105.17	117.35	133.58	93.11	109.05	121.66	137.29
NAal_Gsal	Max	Envigado - Rodeo 110	Envigado - Itagüí 110	85.63	100.17	113.36	130.29	87.91	104.94	117.2	135.07
Naba_Gsal	Max	Envigado - Rodeo 110	Base case	88.94	100.59	110.43	126.25	90.54	103.83	114.19	129.18
NAal_Gsal	Med	Envigado - Rodeo 110	Envigado - Itagüí 110		94.42	106.93	123.6	80.19	98.92	111.36	127.79
Naba_Gsal	Med	Envigado - Rodeo 110	Base case	84.19	96.86	106.46	120.18	86.1	99.78	110.3	123.4
NAal_GSba	Max	Envigado - Rodeo 110	Envigado - Itagüí 110		88.8	100.7	118.99		92.28	105.52	122.56
Naba_Gsba_pch	Max	Envigado - Rodeo 110	Envigado - Itagüí 110		87.67	99.15	117.4		92.04	104.32	121.74
NAal_GSba	Med	Envigado - Rodeo 110	Envigado - Itagüí 110		82.76	94.62	112.45		86.1	99.04	116.08
Naba_Gsba_pch	Med	Envigado - Rodeo 110	Envigado - Itagüí 110		96.86	93.48	109.8		86.23	98.35	114.58
NAal_Gsal_pch	Max	Envigado - Rodeo 110	Envigado - Itagüí 110			89.72	107.62		80.37	95.18	112.53
Naba_Gsal_PCH	Max	Envigado - Rodeo 110	Base case			89.7	105.6		82.83	93.52	109.17
Naba_Gsba	Max	Envigado - Rodeo 110	Base case		90.4	88.16	102.68		82.72	92.29	106.29
NAal_Gsal_pch	Med	Envigado - Rodeo 110	Envigado - Itagüí 110			84.15	102.61			89.77	106.45
Naba_Gsal_PCH	Med	Envigado - Rodeo 110	Base case			85.82	100.41			89.89	103.72
Naba_Gsba	Med	Envigado - Rodeo 110	Base case			83.7	96.93			87.78	100.56
NAal_Gsba_pch	Max	Envigado - Rodeo 110	Envigado - Itagüí 110				96.81			82.73	101.35
NAal_Gsal_pch	Min	Medellín - Occidente 220	Ancón Sur - Miraflores 220	125.28	112.71	112.85	112.85	136.02	133.58	133.73	132.3
NAal_Gsal_pch	Min	Medellín - Occidente 220	Base case	109.59	100.28	100.26	100.21	119.62	119.34	119.49	118.11
Naba_Gsal_PCH	Med	Cordova - Miraflores 110	Envigado - Oriente 220	128.32	118.57	122.87	134.9	137.08	130.08	135.95	147.25
Naba_Gsal_PCH	Max	Cordova - Miraflores 110	Envigado - Oriente 220	119.11	116.51	111.83	126.87	126.98	129.61	124.39	139.41
Naba_Gsal	Med	Cordova - Miraflores 110	Envigado - Oriente 220	101.79	102.56	105.32	116.77	108.37	111.47	118.04	128.5
Naba_Gsal_PCH	Med	Cordova - Miraflores 110	Base case	95.86	89.34	92.41	100.97	101.63	96.99	101.15	109.26
Naba_Gsal_PCH	Max	Cordova - Miraflores 110	Base case	87.71	86.01	82.99	93.7	92.91	94.87	91.46	102.15
Naba_Gsal	Max	Miraflores - P Blancas 110	Miraflores - V Hermosa 110	111.59	110.38	118.23	126.34	112.51	111.27	119.24	126.94
NAal_Gsal	Max	Amagá - Ancón 2 110	Amagá - Bolombolo 110	101.18				97.04			

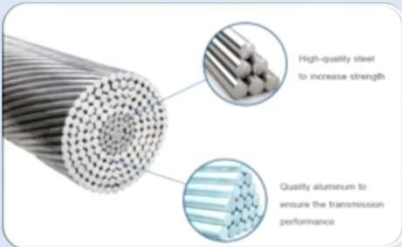


Antecedentes en el STR



Corredor con
altos desafíos
ambientales y
prediales

• Alternativas Tecnológicas



Repotenciar con Conductor tradicional de alma de acero



Repotenciar con Conductor de alta temperatura



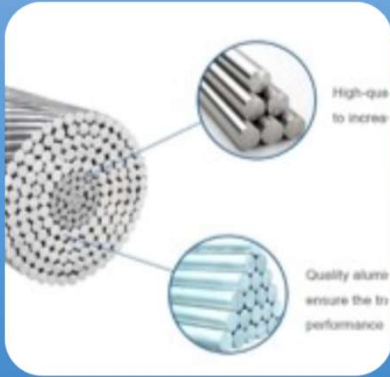
FACTS Convencionales



FACTS Distribuidos

FACTS: Flexible AC Transmission Systems

Características de las soluciones



Conductor tradicional de alma de acero

- ¿Si es Repotenciar o es construir de nuevo? → nuevas torres, actuales no soportarían el peso del nuevo conductor.
- Indisponibilidad del corredor de transmisión → retos y sobrecostos operativos
- Necesidad licenciamiento ambiental



Conductores de alta temperatura

- En principio se pueden usar las mismas torres, eligiendo adecuadamente el conductor
- Con un conductor con máximo mismo el mismo peso/longitud es posible aumentar sustancialmente la capacidad de corriente
- Posible indisponibilidad del corredor de transmisión → sobrecostos operativos
- Pérdidas eléctricas inherentes a este tipo de tecnología → dentro del OPEX en el horizonte de evaluación
- Posible necesidad de licenciamiento ambiental

FACTS



- Potencializan la utilización óptima de los activos**
- Reducen la congestión del sistema**
- Reducen pérdidas**
- Aumentan la confiabilidad del sistema y la capacidad bajo contingencia**
- Mejoran la estabilidad del sistema**
- Reducen costos operativos**
- Difieren o eliminan la construcción de activos**
- Disminuyen impactos ambientales, sociales y prediales**



FACTS TRADICIONALES



- Altos requerimientos de espacio
- Diseños complejos y a la medida
- Complejos procesos de mantenimiento con altos OPEX
- Largos tiempos de diseño y construcción
- No son directamente reubicables
- Confiabilidad casi siempre concentrada
- Sobrevaloración inicial de los dispositivos para acomodar el crecimiento futuro



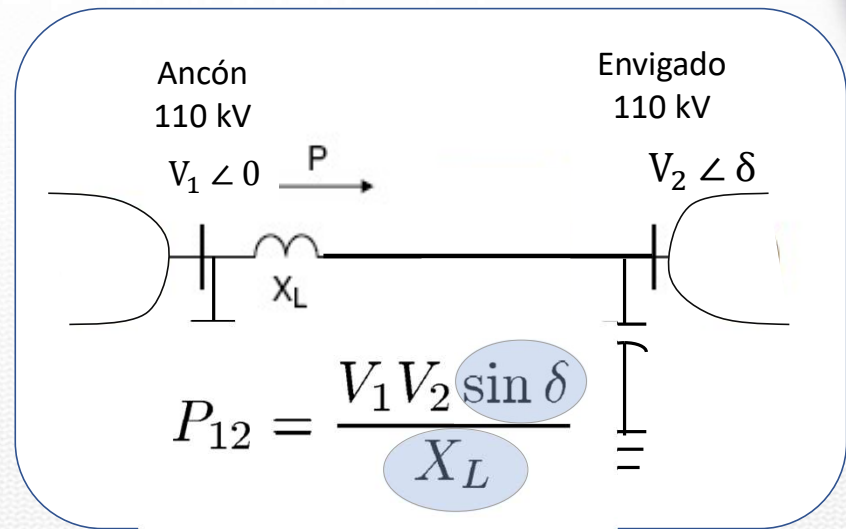
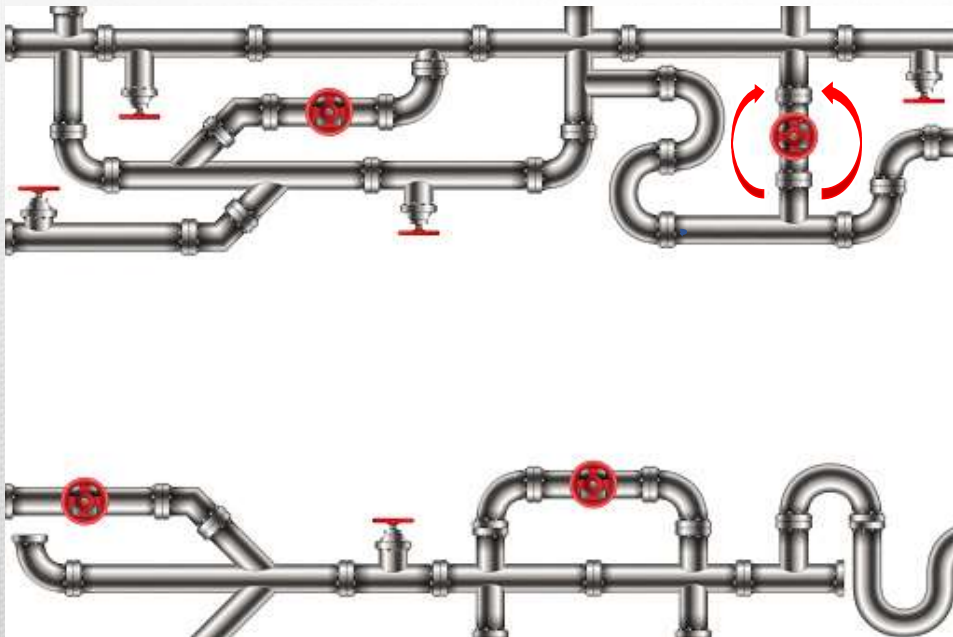
FACTS Distribuidos (modulares)



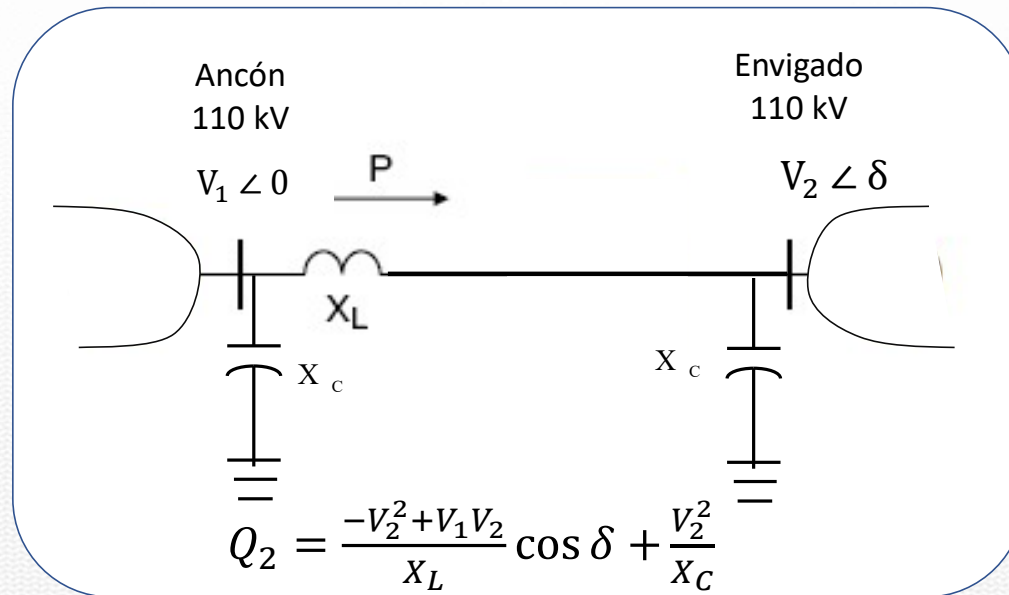
- Sin los requerimientos de espacio de los FACTS tradicionales
- Diseños modulares-escalables
- Mantenimiento sencillo
- Cortos tiempos de diseño e implementación
- Fácilmente Reubicables
- La confiabilidad distribuida
- Valoración adecuada de requerimientos en el tiempo



CONTROL DE POTENCIA ACTIVA



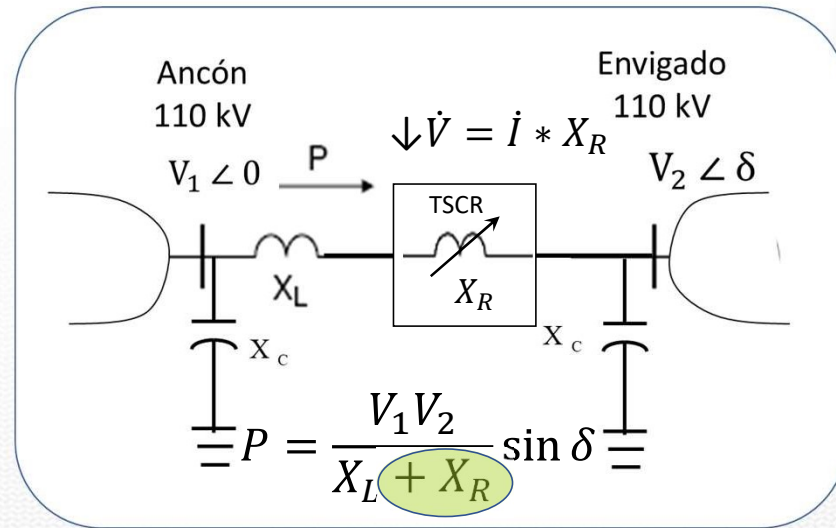
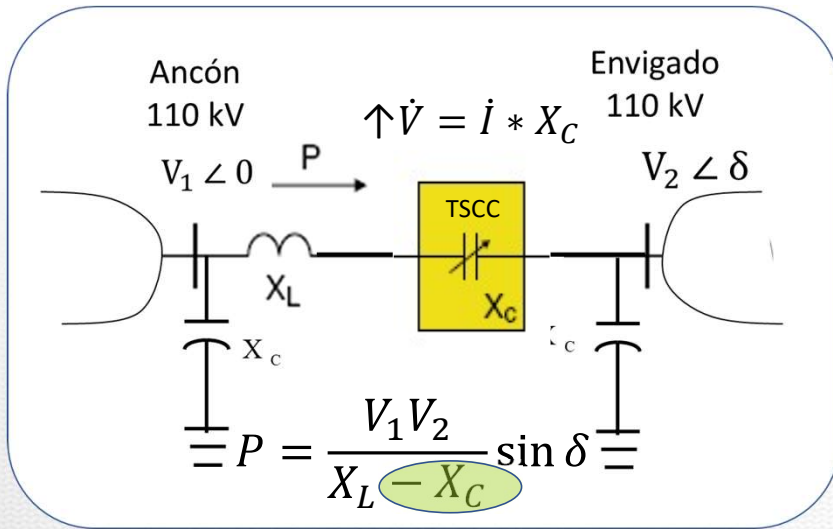
CONTROL DE POTENCIA REACTIVA



$$Q_1 = \frac{V_1^2 - V_1 V_2}{X_L} \cos \delta - \frac{V_1^2}{X_C}$$

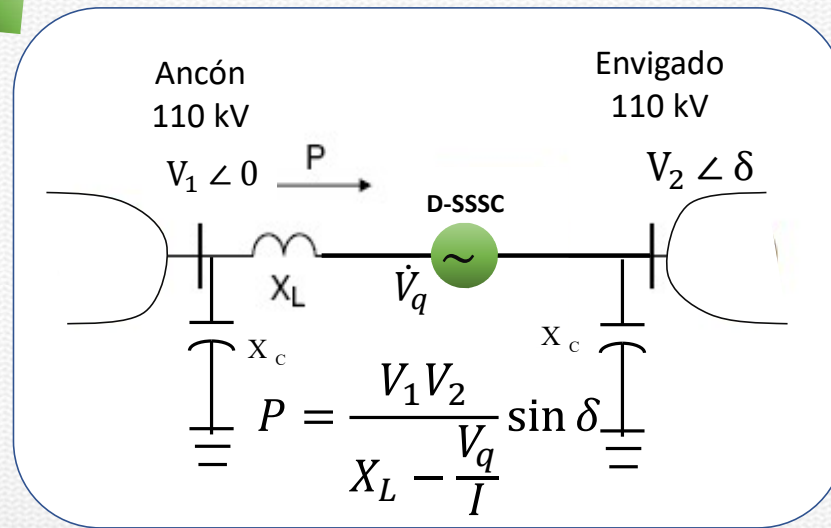
La reactiva fluye del nodo de mayor tensión al de menor tensión.
Puedo controlar la corriente, variando la caída de tensión en la línea

a)



b)

c)





SmartValve™ combina tecnología utilizada en la industria con la experiencia de Smart Wires en soluciones de control de flujo de potencia modulares

Experiencia en la industria

- ✓ La SmartValve es un Static Synchronous Series Compensator (SSSC) monofásico y modular que utiliza tecnología convertidores VSC (Voltage-Sourced Converter). **Instalaciones previas de SSSCs han ocurrido desde 1998 en NYPA, AEP y Red Eléctrica de España entre otros.**
- ✓ La electrónica de potencia en la SmartValve utiliza Insulated-Gate Bipolar Transistors (IGBTs), los cuales se usan regularmente para convertidores VSCs, incluyendo STATCOMs y sistemas HVDC

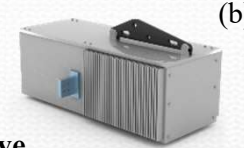
Historial de proyectos de Smart Wires

- ✓ La SmartValve se construye de 7 años de experiencia adquirida durante el desarrollo de los productos Guardian, ejecución de proyectos y excelencia operacional.
- ✓ La SmartValve contiene menor cantidad de partes y diseñadas de manera más simple que los productos Guardian. La mayoría de las partes de la SmartValve han sido desarrolladas, testeadas y probadas en los productos Guardian

PowerLine Guardian



Power Guardian

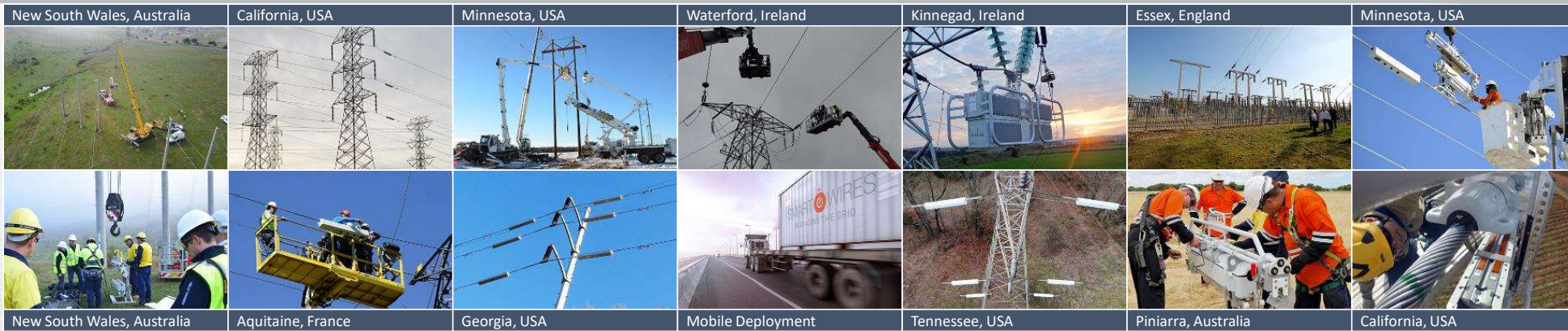


SmartValve



Tomado de material de Smart Wires

Solutions validated by the world's most admired utilities



NORTEAMERICA

Proyectos multimillonarios en etapas finales con **7 de las 11 compañías eléctricas más grandes.**



AUSTRALIA

Proyectos multimillonarios en etapas finales con **las 5 compañías eléctricas más grandes.**



EUROPA

Proyectos multimillonarios en etapas finales con **9 de las 10 compañías eléctricas más grandes.**





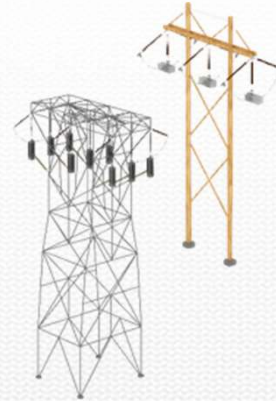
Soluciones de Smart Wires

SmartValve



Push

Pull



SmartTower™



Mobile Deployment



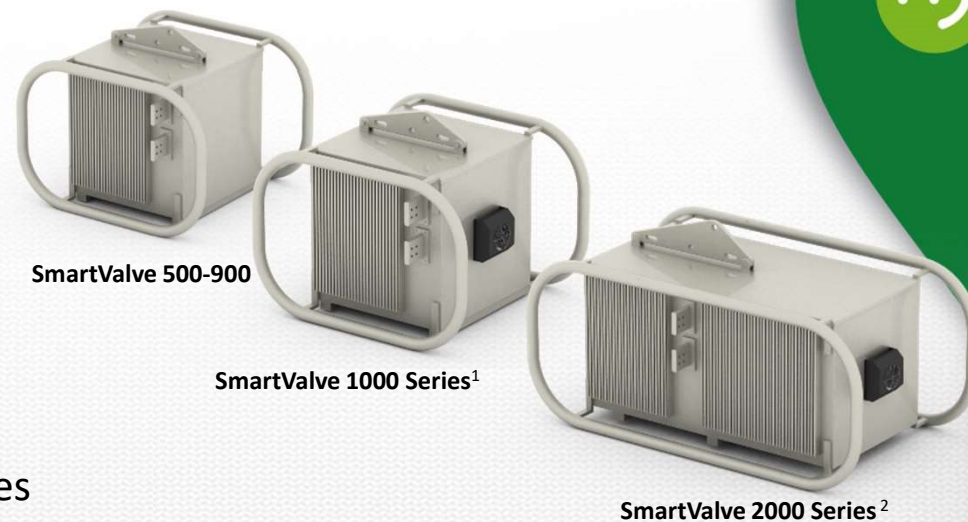
SmartBank™



SmartPodk™

SmartValve™

- ✓ La primer “válvula” bidireccional e inteligente
- ✓ *Modular Static Synchronous Series Compensator (M-SSSC) monofásico*
- ✓ Instalado en Torres, en el piso o en contenedores
- ✓ Gran versatilidad y operación flexible



¹SmartValve 1000 series includes the SmartValve 1000-900 and SmartValve 1000-1800

²SmartValve 2000 series includes the SmartValve 2000-900, SmartValve 2000-1800 and SmartValve 2000-3600



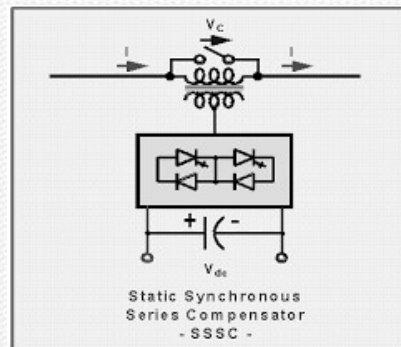


Smart Wires ha desarrollado a partir de los SSSC anteriores

- Los SSSCs se utilizaron para el control de flujo de potencia en 1998 en la red de American Electric Power (AEP).
- En 2001, hubo otra instalación en la red de New York Power Authority (NYPA). Los SSSCs de NYPA se encuentran operativos al día de hoy.



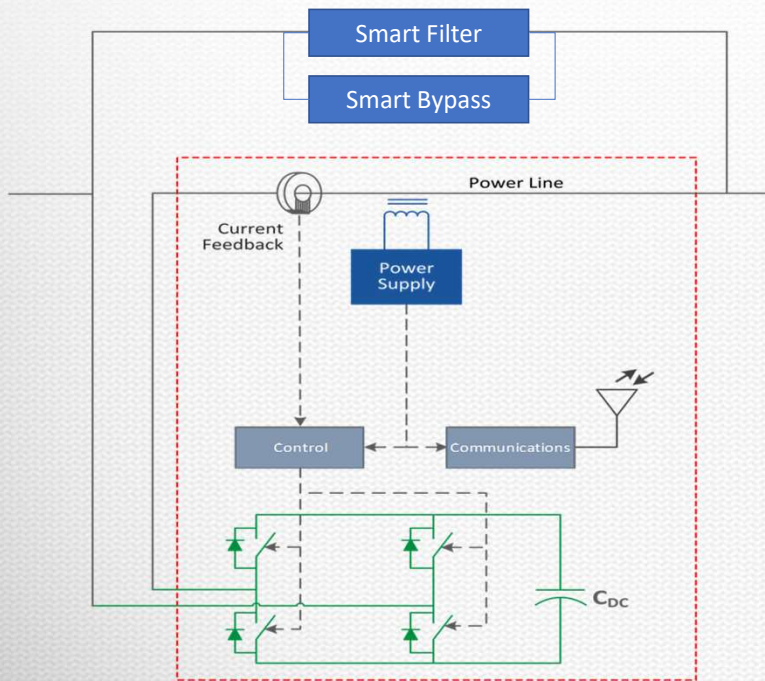
SmartValve Model 1000-1800



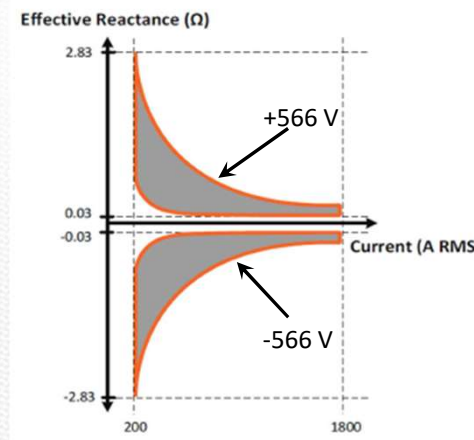
Smart Wires ha solucionado varias limitaciones de las instalaciones previas de SSSCs

Instalaciones previas de SSSCs	Smart Wires
Diseño personalizado de convertidores VSCs para cada instalación	Utiliza convertidores VSCs estándares y modulares
Requiere un transformador de inyección, incrementando significativamente los costos	No requiere transformador de inyección, se opera al nivel de potencial de la línea
Requiere refrigeración con agua, añadiendo requisitos de mantenimiento y riesgos de confiabilidad	Utiliza sistemas de refrigeración de aire forzado
Precisa de un disyuntor costoso para la protección de cortocircuito y bypass	Se hace el bypass mediante un interruptor de semiconductor de acción rápida
Precisa de gran espacio en las subestaciones	Se puede instalar en la subestación, en torres, o a lo largo de la línea. También se pueden instalar en contenedores móviles

SmartValve: Resumen Técnico



(a)



(b)

Se alimenta desde la línea

Convertidor standard de voltaje con cuatro interruptores de estado solido y un banco de condensadores.

Los controles operan el convertidor para mantener el voltaje del condensador relativamente constante.

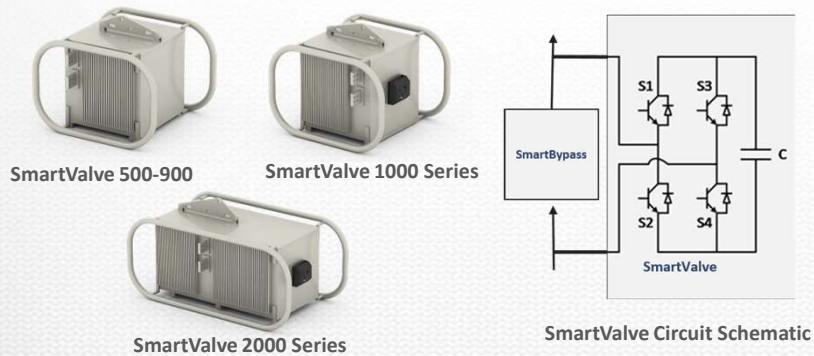
Inyecta un voltaje en cuadratura con la corriente produciendo un efecto capacitivo ($-\Omega$) o inductivo ($+\Omega$).

El voltaje inyectado es independiente de la corriente de la línea, no así como los condensadores y inductancias comunes.

Curva: Rango de reactancia inyectada = $f(I \text{ línea})$.
Contorno curva: Inyección máxima de voltaje, en este caso $\pm 566 \text{ V RMS}$



SmartValve: Detalles del producto



La SmartValve puede funcionar como un capacitor en serie o un reactor en serie sin las características negativas asociadas a estos dispositivos pasivos como el riesgo de Resonancia Sub-Síncrona (SSR) en los capacitores en series, o el consumo constante de energía reactiva de los reactores en serie.

SmartValve Models

Models (1)	Max Continuous Current (A RMS)	Max Voltage Injection (2) (V RMS)	Max 2 Hour Emergency Current (A RMS)	Dimensions without Corona Rings (L x H x W in mm)	Mass (kg)
500-900	900	± 566	1080	914 x 914 x 914	227
1000-900	900	± 1132	1080	914 x 914 x 914	363
1000-1800	1800	± 566	2160	914 x 914 x 914	363
2000-900	900	± 2264	1080	1829 x 914 x 914	726
2000-1800	1800	± 1132	2160	1829 x 914 x 914	726
2000-3600	3600	± 566	4320	1829 x 914 x 914	726

(1) First number is reactive power rating in kVAR, the second is max continuous current rating in A RMS

(2) At both 50 Hz and 60 Hz

Note: The SmartValve operates in conjunction with the SmartBypass which provides a fault current rating of up to 63 kA RMS for 1 sec and 164 kA peak for the first cycle

SmartValve: Modos de control



Modo Inyección voltaje:
El dispositivo instalado puede inyectar ± 566 Voltios ($\pm 100\%$)

Voltaje Inductivo:
Ingresando un set point (+) de % de voltaje:
Logra una disminución de flujo de I

Voltaje Capacitivo:
Ingresando un set point (-) de % de voltaje:
Logra un aumento de flujo de I

Modo Inyección reactancia: Los dispositivos instalados pueden operar entre ± 1.21 y ± 2.83 Ohmios

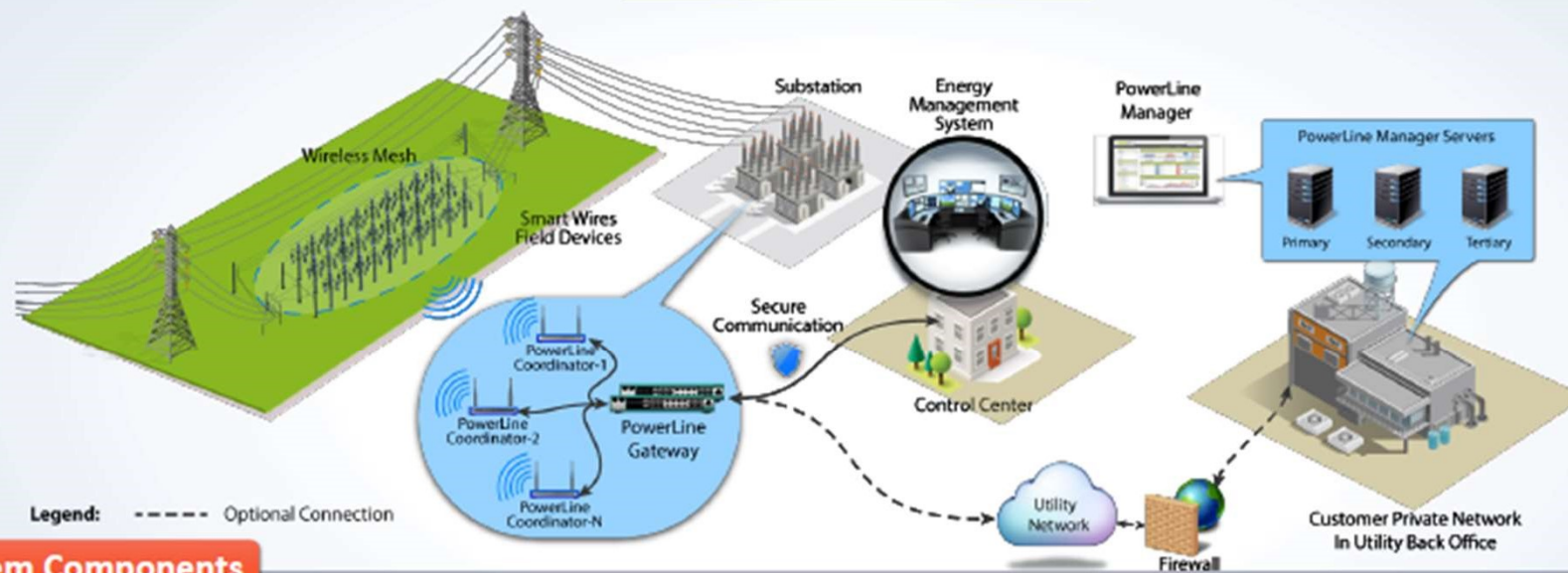
Reactancia Inductiva:
Ingresando un set point (+) de reactancia en Mili ohmios: Logra una disminución de flujo de I

Reactancia Capacitiva:
Ingresando un set point (-) de reactancia en Mili ohmios: Logra un aumento de flujo de I

Umbral de Corriente

Opera para regular la corriente de la línea dentro de un umbral.

End-to-End (E2E) Communication & Control



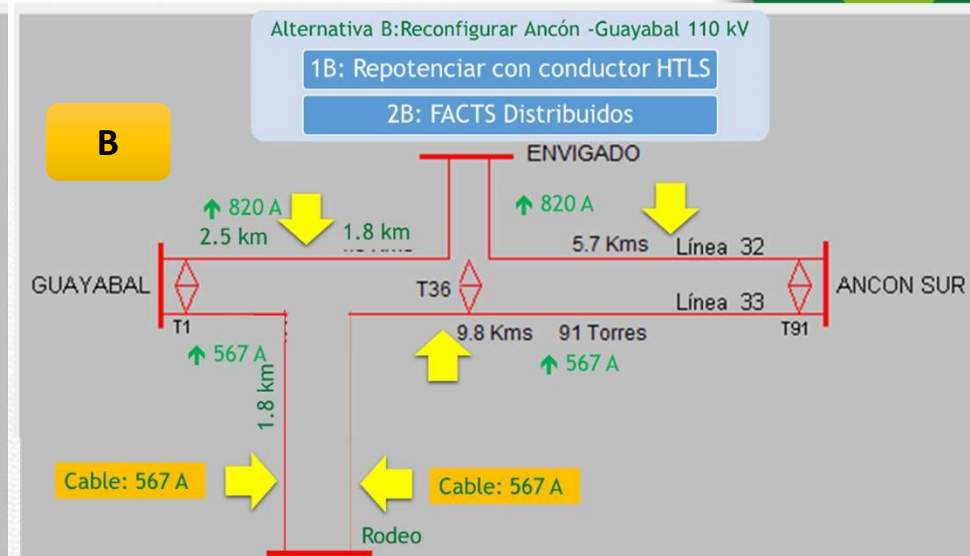
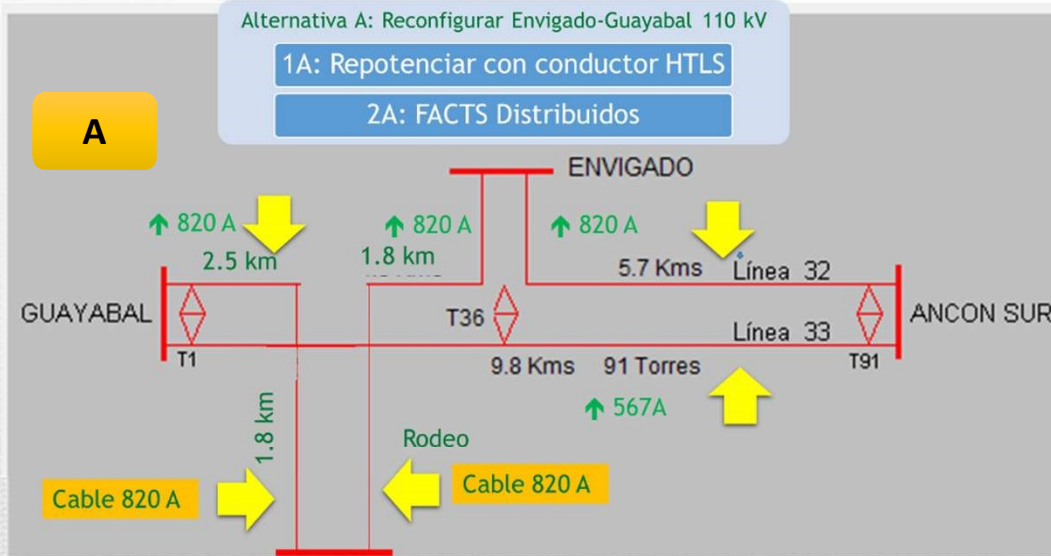
Legend: - - - - Optional Connection

System Components

- **Smart Wires Field Devices (SWFD)** – Control power flows and communicate over a secure Industrial, Scientific, Medical (ISM) wireless mesh to the substation
- **PowerLine Coordinator** - Manages the secure wireless mesh and communication between the SWFDs and PowerLine Gateway
- **PowerLine Gateway** - Provides for operation and management of the SWFDs at the substation and supports multiple utility communication protocols with the EMS
- **PowerLine Manager** - Runs on a server located in utility data center to provide remote configuration, observation, asset management services of SWFDs (optional feature)



Soluciones estudiadas



Lugar de Inyección	Rating (A)	Número de SmartValve 1000-1800			
		2021	2022	2025	2030
Ancón Sur - Guayabal 110	462	6	0	0	0
Ancón Sur - Envigado 110	462	9	6	6	6
Envigado - Rodeo 110	462	6	6	9	12
Total		21	12	15	18

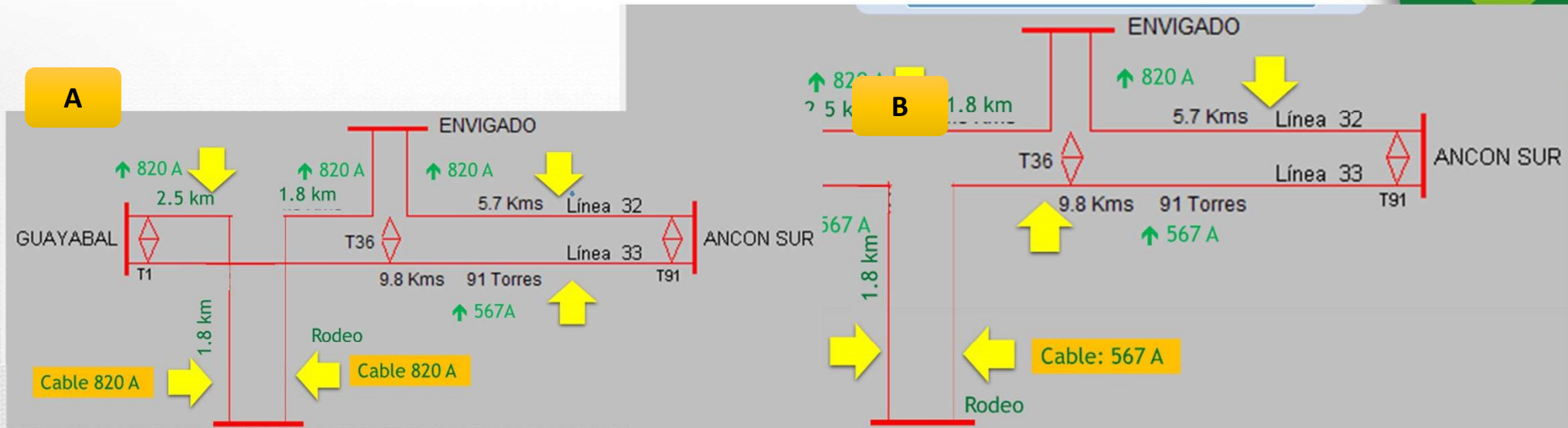
Lugar de Inyección	Inyección Óhmica			
	2021	2022	2025	2030
Ancón Sur - Guayabal 110	2.45	0	0	0
Ancón Sur - Envigado 110	3.68	2.45	2.45	2.45
Envigado - Rodeo 110	2.45	2.45	3.68	4.9

Lugar de Inyección	Rating (A)	Número de SmartValve 1000-1800			
		2021	2022	2025	2030
Envigado- Guayabal 110	462	6	3	3	3
Ancón Sur - Envigado 110	462	0	3	6	6
Guayabal- Rodeo 110	462	3	3	3	3
Total		9	9	12	12

Lugar de Inyección	Inyección Óhmica Máxima			
	2021	2022	2025	2030
Envigado- Guayabal 110	2.45	1.23	1.23	1.23
Ancón Sur - Envigado 110	0	1.23	2.45	2.45
Guayabal- Rodeo 110	1.23	1.23	1.23	1.23



Soluciones estudiadas



Lugar de Inyección	Rating (A)	Número de SmartValve 1000-1800			
		2020	2022	2025	2030
Ancón Sur - Guayabal 110	462	6	0	0	0
Ancón Sur - Envigado 110	462	9	6	6	6
Envigado - Rodeo 110	462	6	6	9	12
Total		21	12	15	18

Lugar de Inyección	Rating (A)	Número de SmartValve 1000-1800			
		2020	2022	2025	2030
Envigado- Guayabal 110	462	6	3	3	3
Ancón Sur - Envigado 110	462	0	3	6	6
Guayabal- Rodeo 110	462	3	3	3	3
Total		9	9	12	12

Lugar de Inyección	Inyección Óhmica			
	2020	2022	2025	2030
Ancón Sur - Guayabal 110	2.45	0	0	0
Ancón Sur - Envigado 110	3.68	2.45	2.45	2.45
Envigado - Rodeo 110	2.45	2.45	3.68	4.9

Lugar de Inyección	Inyección Óhmica Máxima			
	2020	2022	2025	2030
Envigado- Guayabal 110	2.45	1.23	1.23	1.23
Ancón Sur - Envigado 110	0	1.23	2.45	2.45
Guayabal- Rodeo 110	1.23	1.23	1.23	1.23

Consideraciones Piloto en sistema EPM

- Tres Smart Valves 1-1800
- Tres Smart Bypass
- Tres Smart Filter
- Tres Smart Pods

Alcance

- Línea Ancón Envigado 110 kV
- En Subestación Envigado

Ubicación:

- Versatilidad
- Disponibilidad
- Confiabilidad
- Efectividad
- Mantenimiento
- Integridad

Métricas

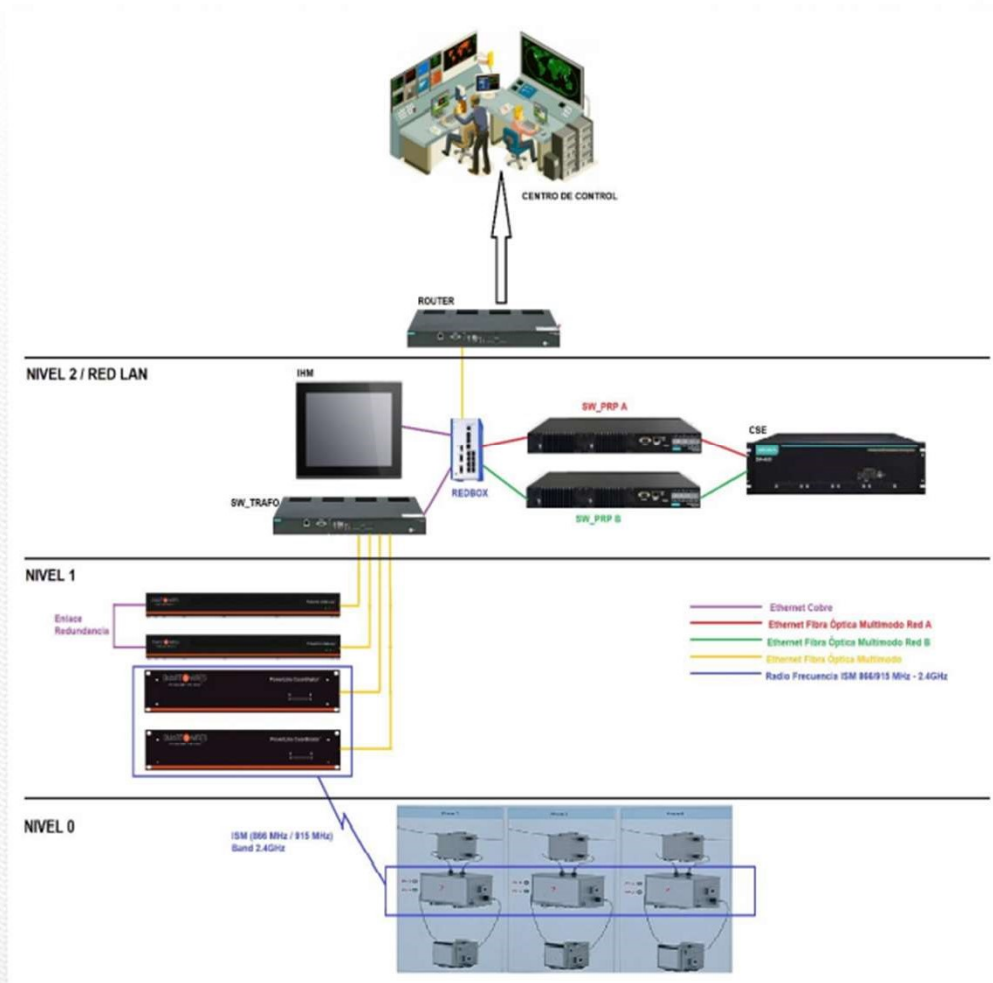
- Planificación
- Objetividad
- Colaboración
- Coordinación
- Intensidad
- Beneficio país

Principios:

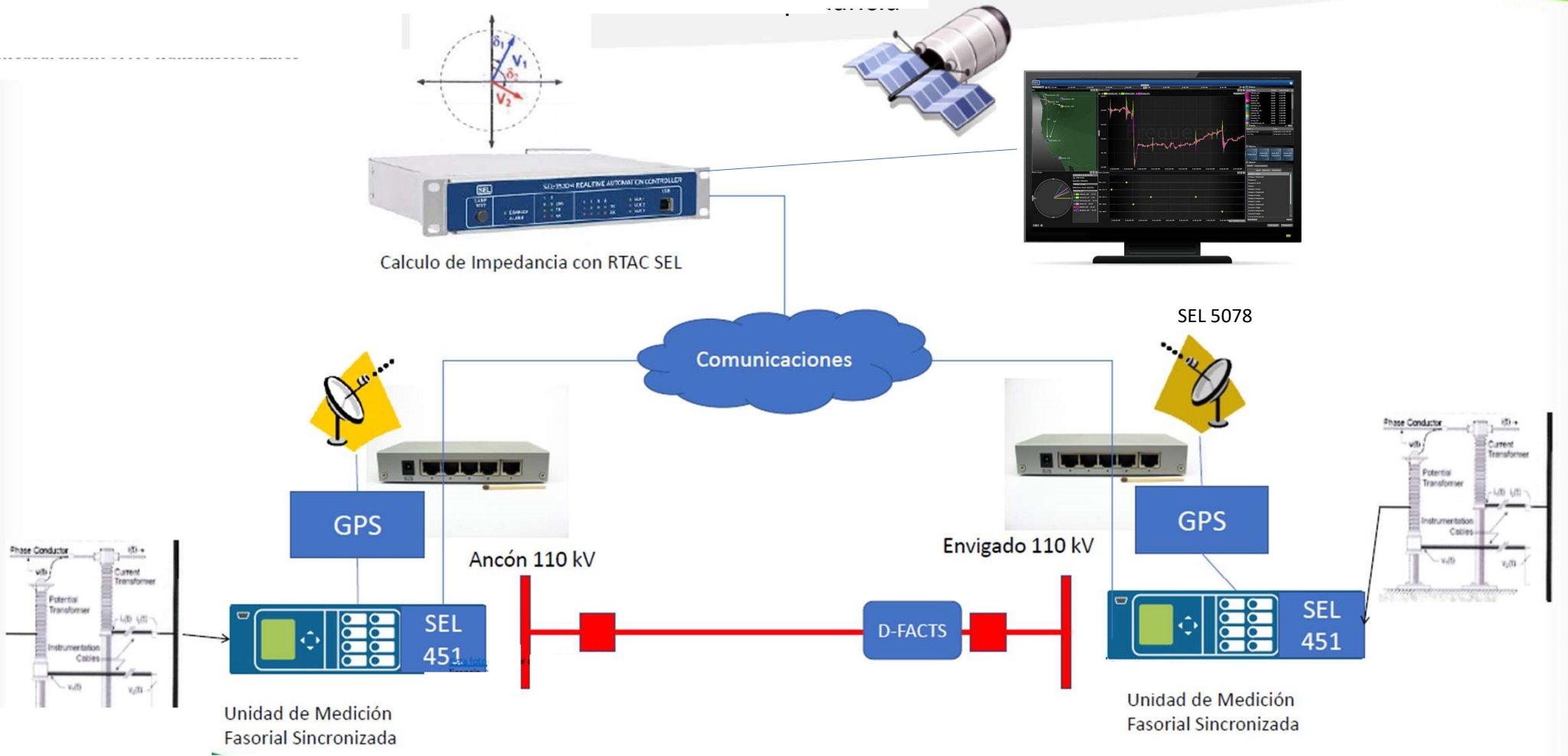
- Proyectos & Ingeniería
- Operación
- Mantenimiento (TO/SE)
- Smart Wires
- XM
- CNO-SAPE
- UPME
- CAPT-GTR CAPT
- Empresas del sector

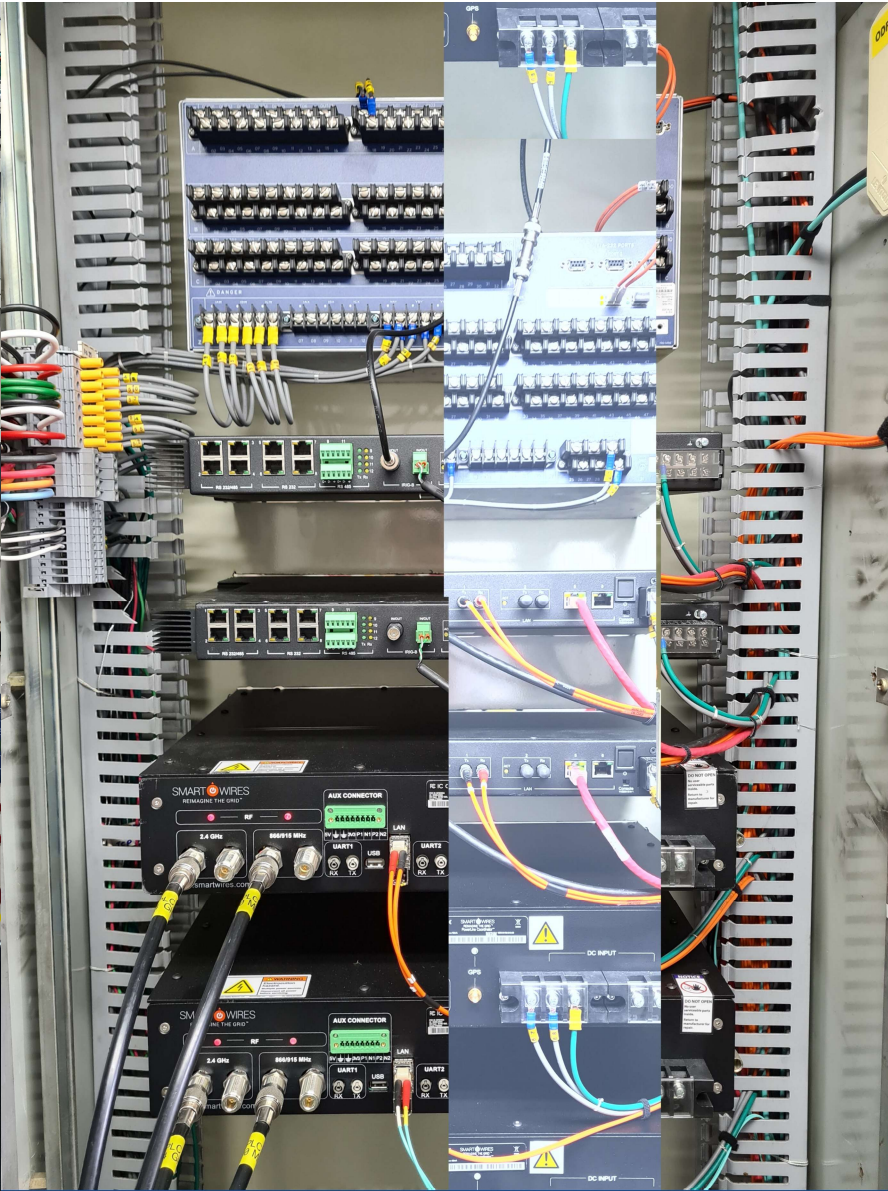
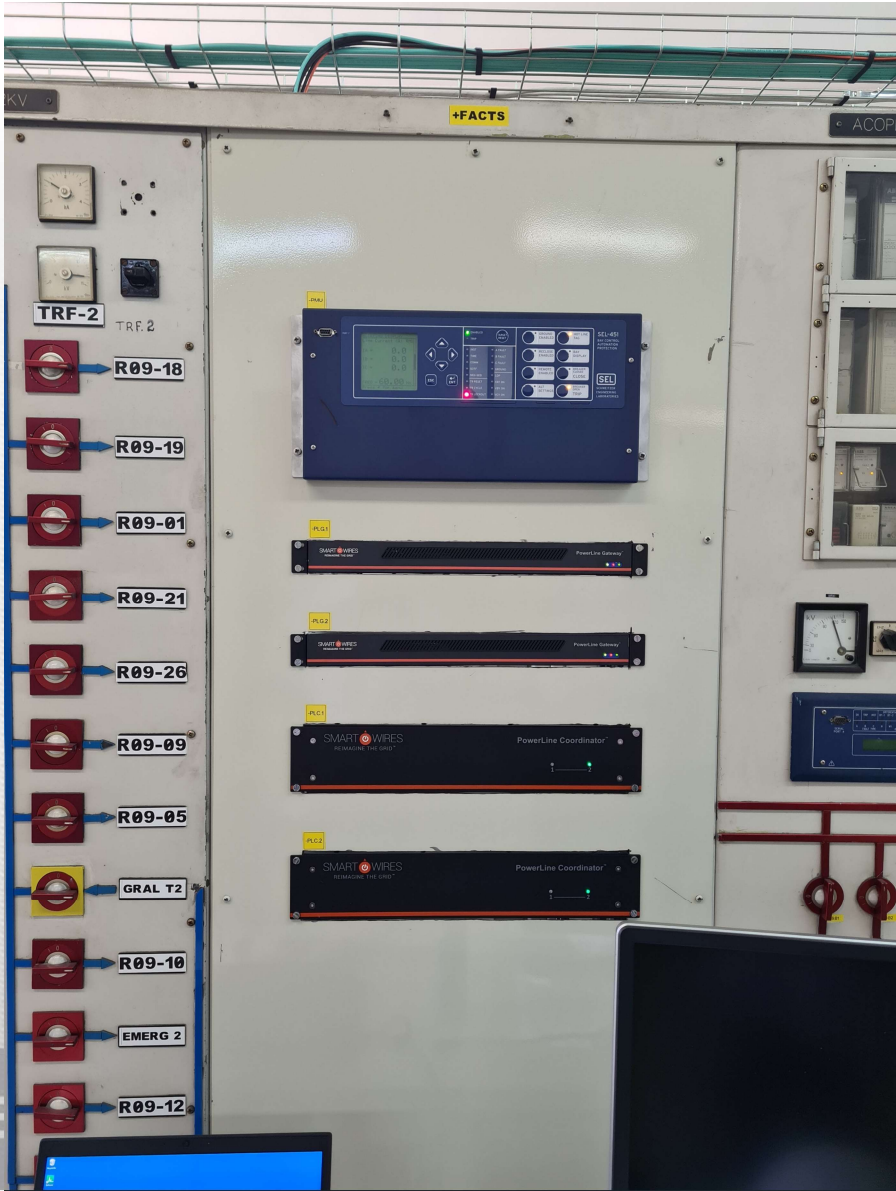
Involucrados

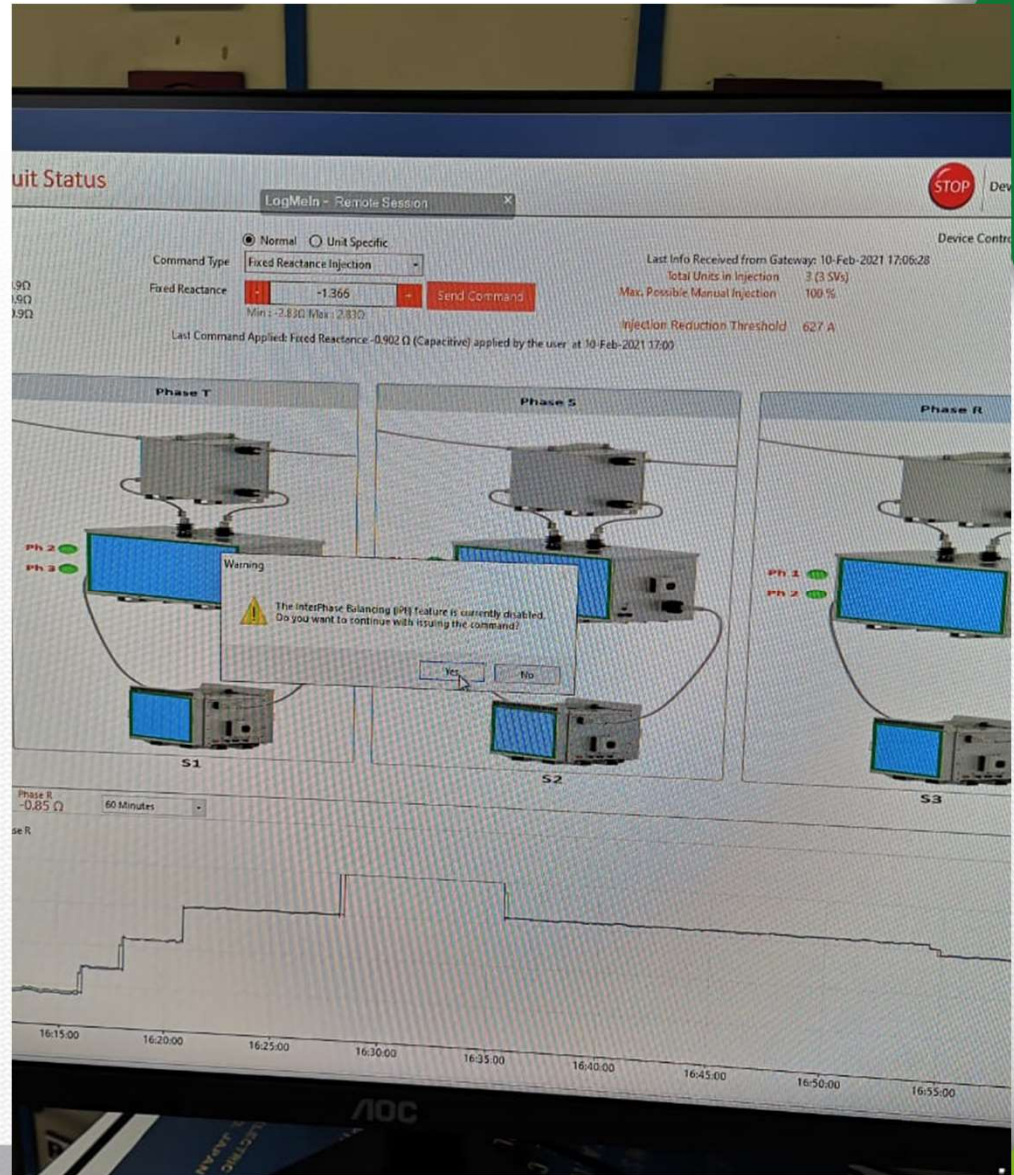
Arquitectura Comunicaciones FACTS

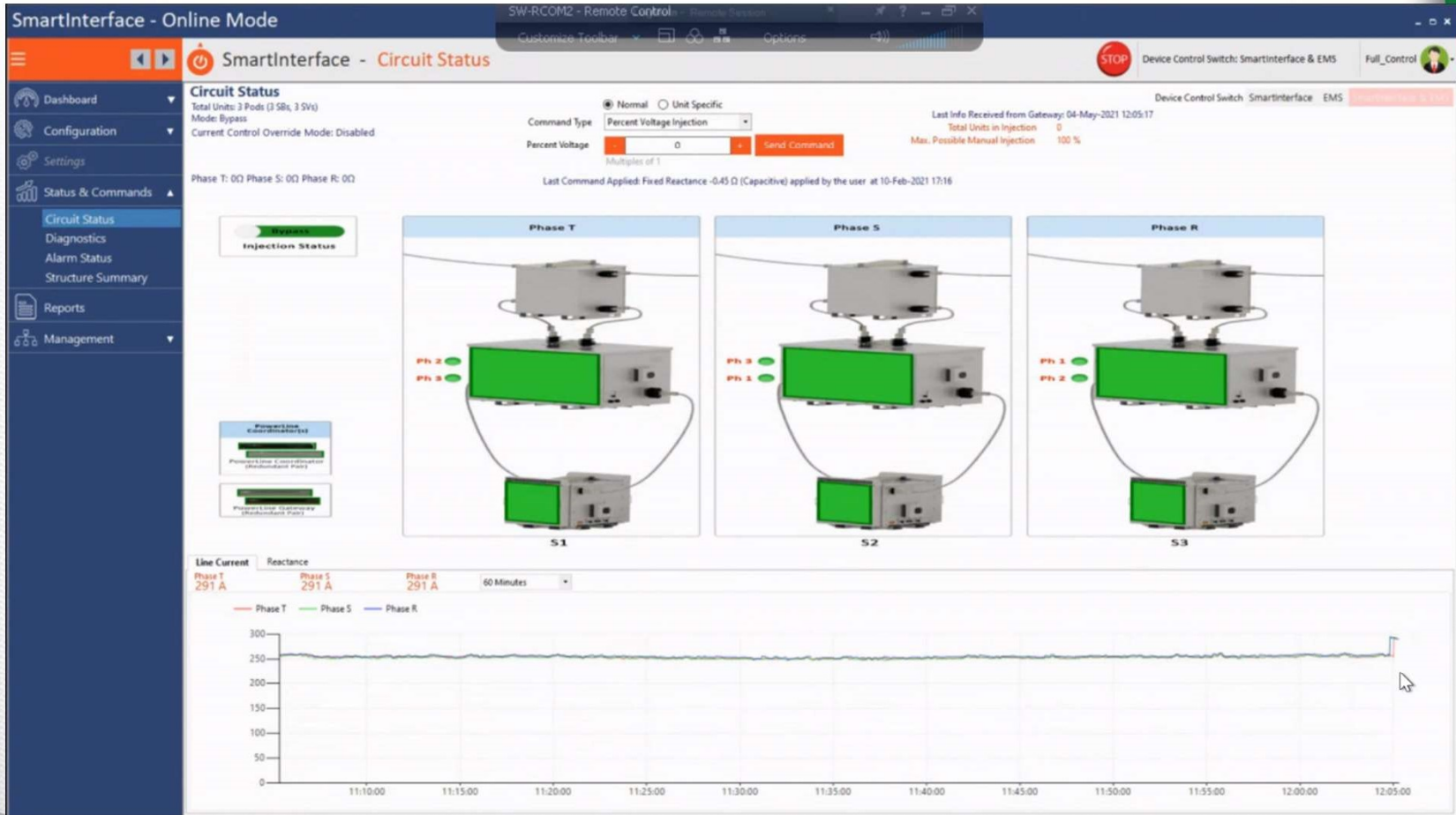


entación



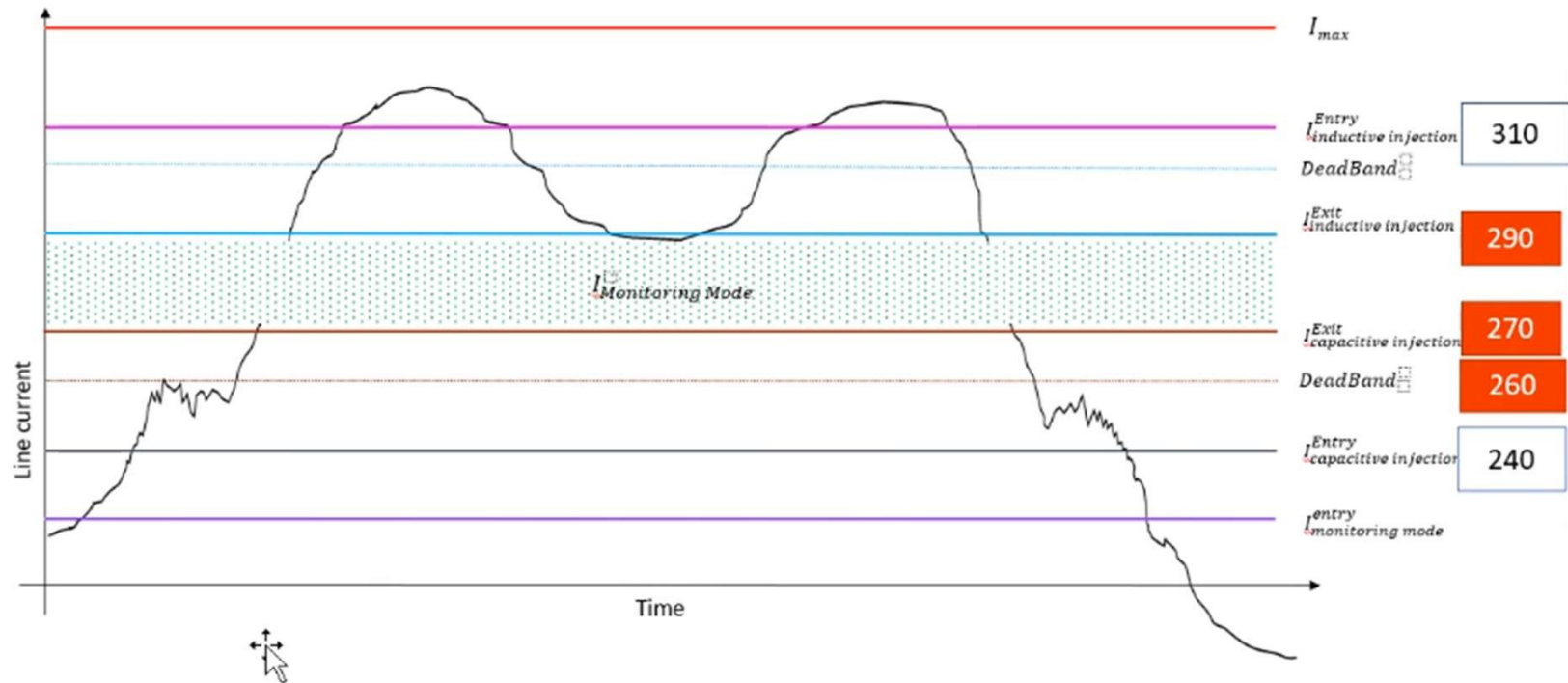








Modo Control Corriente



ENVIGADO
Despacho 110 kV 44:13:2

ENVIGADO
Despacho 110 kV 44:13:2

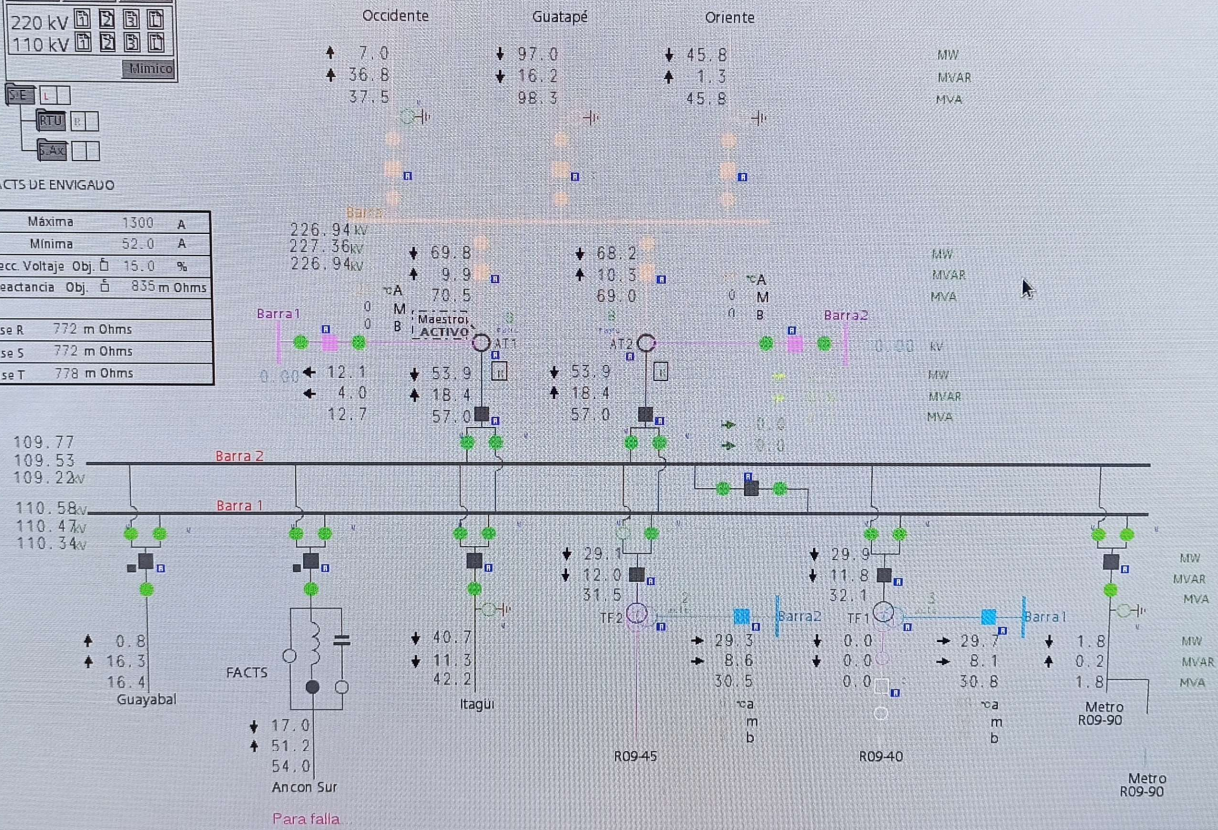
220 kV
110 kV

Módulo

RTU
S.Ax

OPERACION FACTS DE ENVIGADO

Modo Umbral Corriente	Máxima	1300 A
	Mínima	52.0 A
Modo Voltaje	Inyecc. Voltaje Obj.	15.0 %
Modo Reactancia	Reactancia Obj.	835 m Ohms
Modo Bypass		
	Reactancia Fase R	772 m Ohms
	Reactancia Fase S	772 m Ohms
	Reactancia Fase T	778 m Ohms

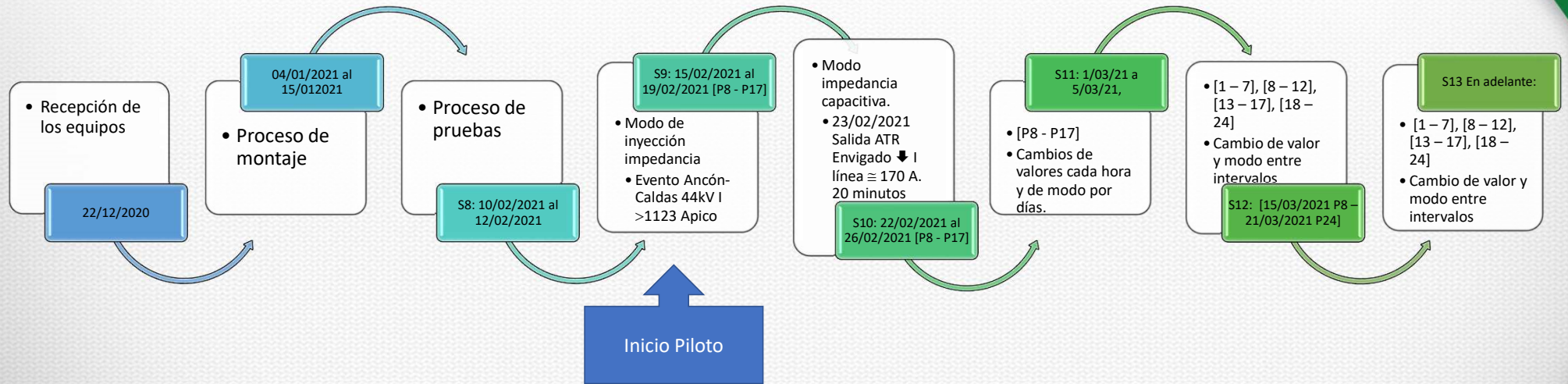




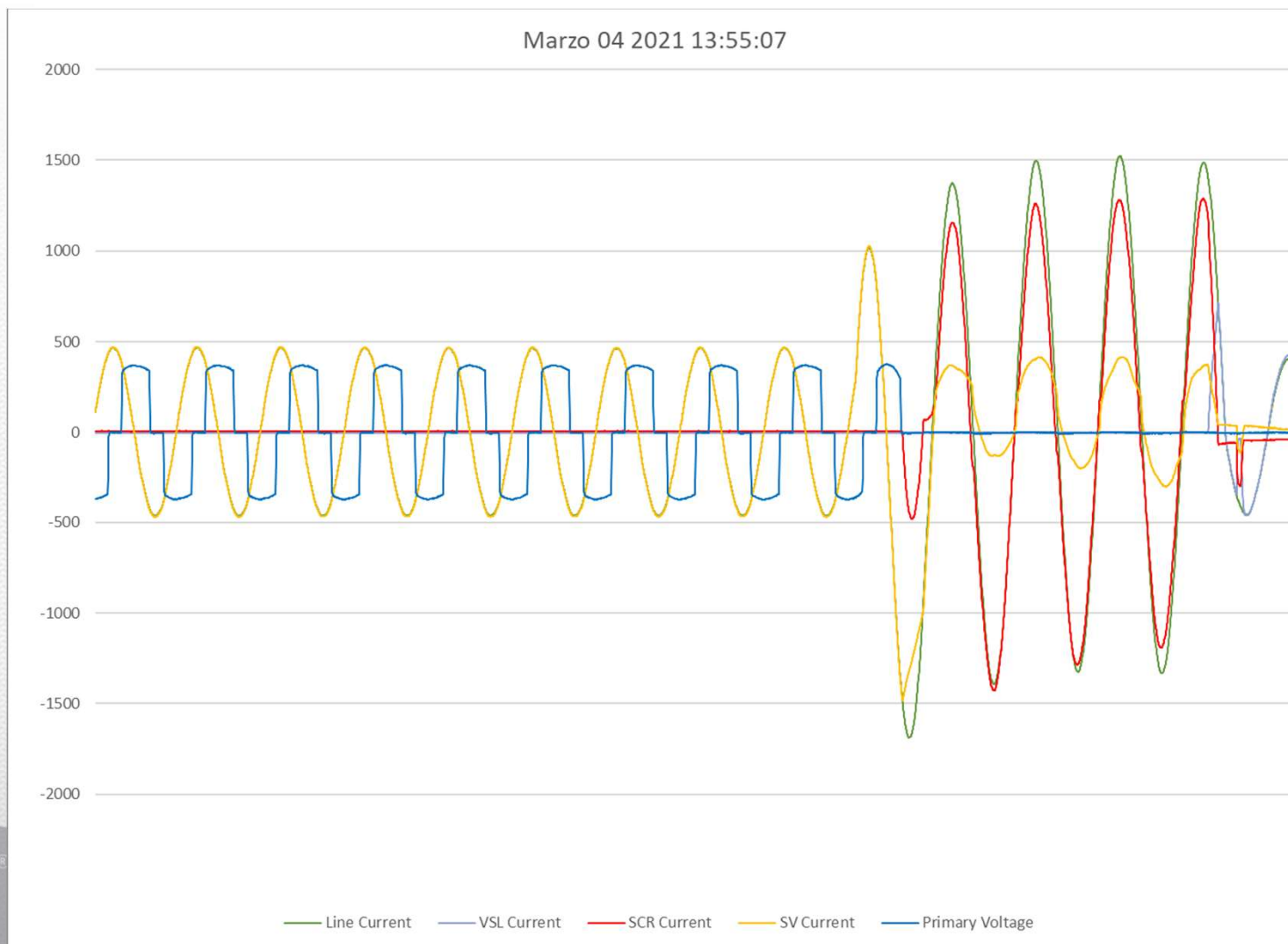




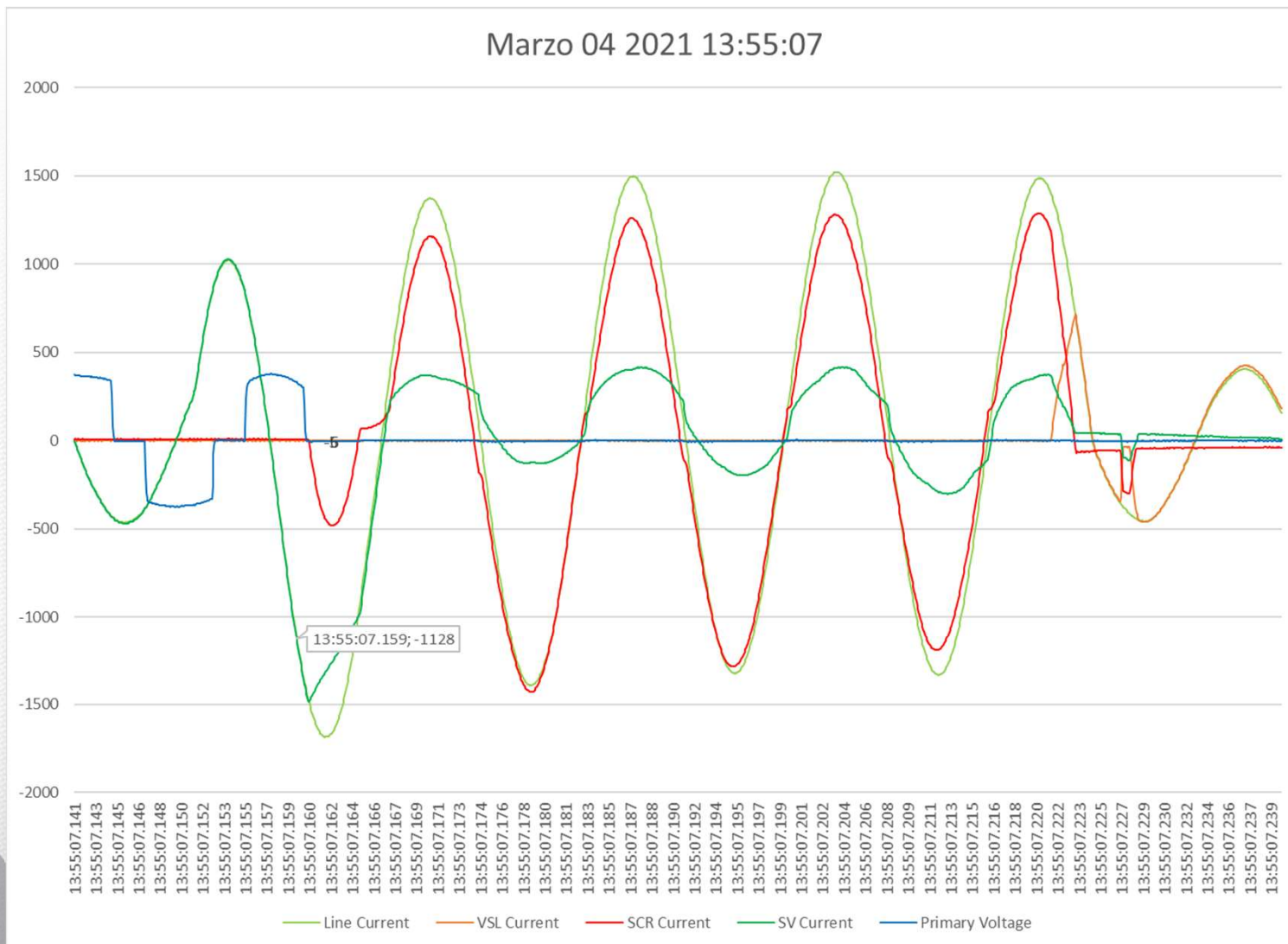
Secuencia Instalación, pruebas y comienzo piloto



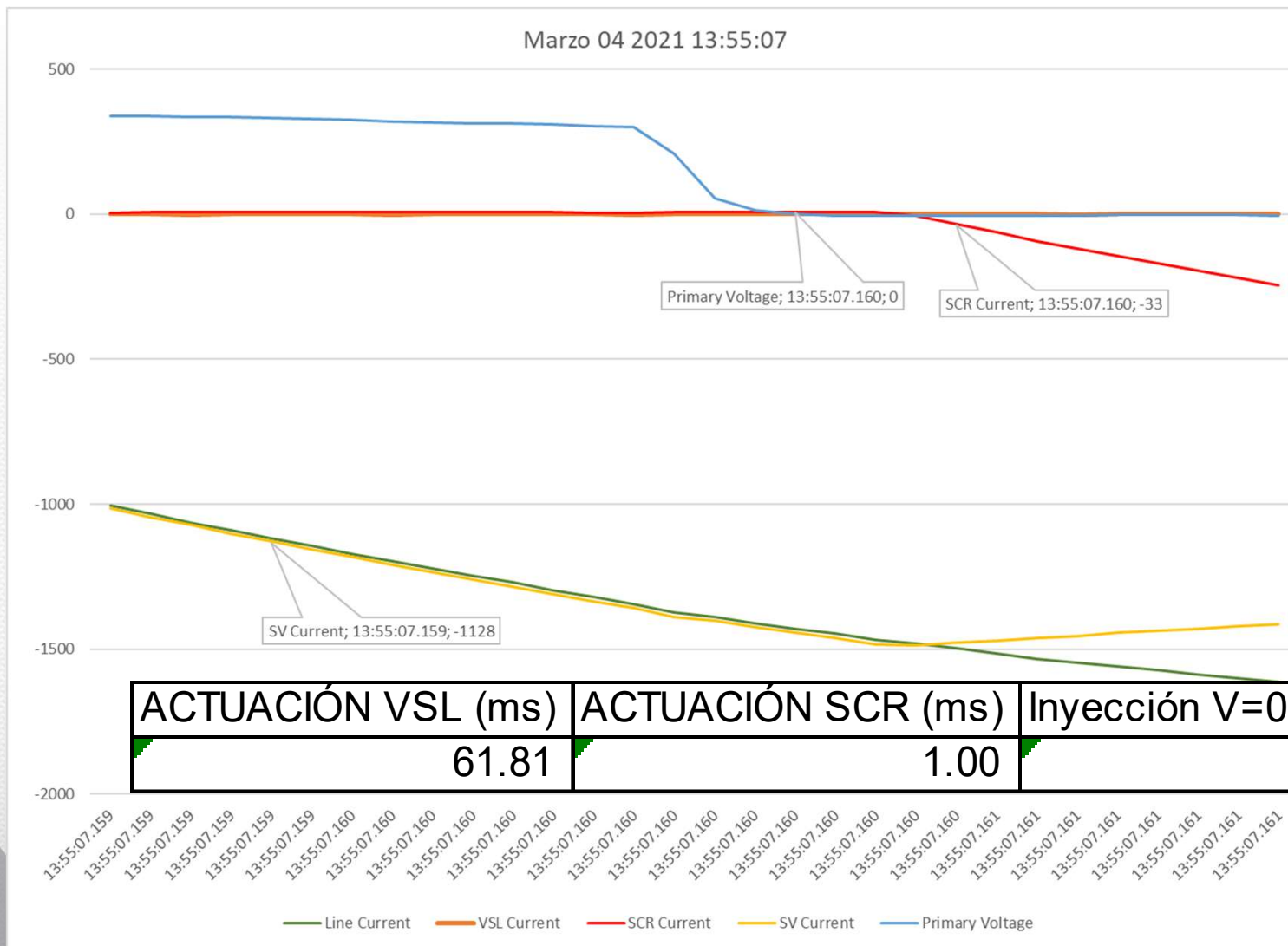
Actuación del Bypass en máximo un milisegundo al superar I pico para no afectar protecciones distancia ante fallas en el sistema



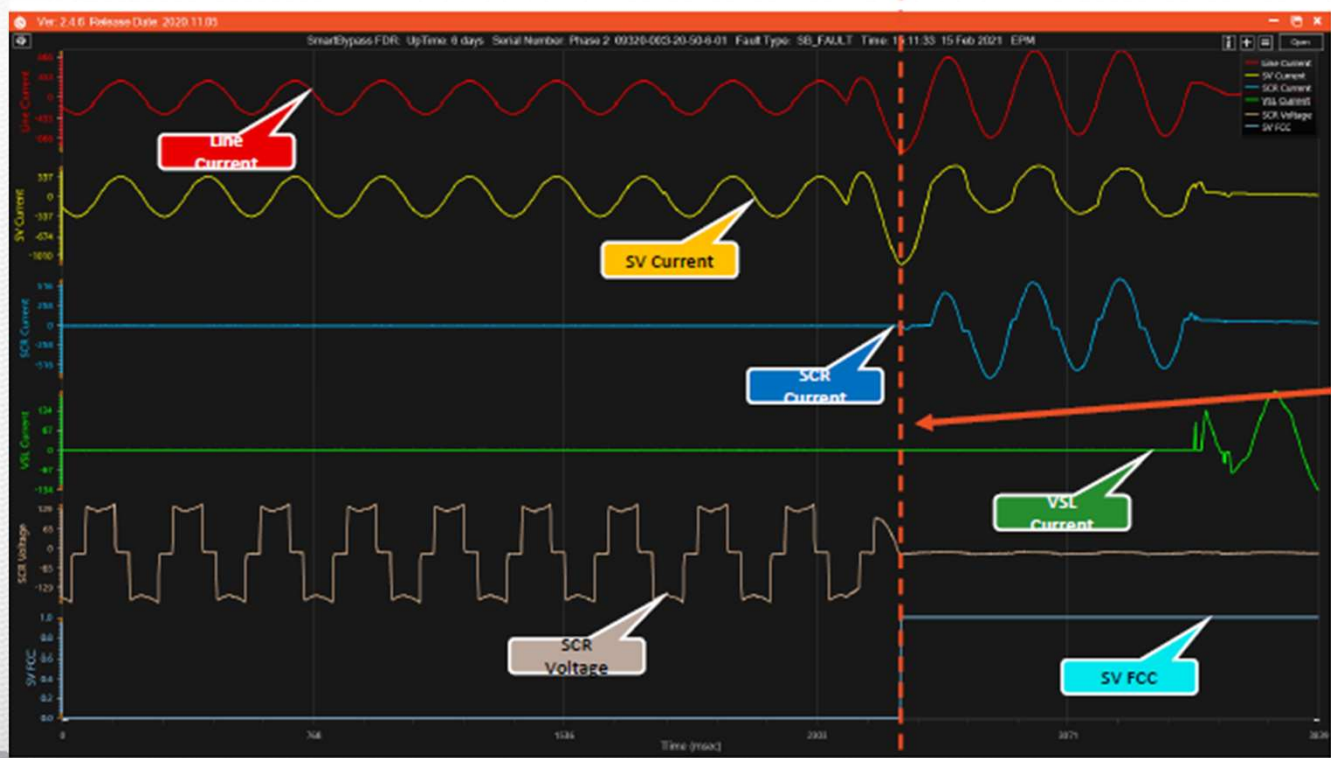
Actuación del Bypass en máximo un milisegundo al superar l pico para no afectar protecciones distancia ante fallas en el sistema (Zoom 1)



Actuación del Bypass en máximo un milisegundo al superar I pico para no afectar protecciones distancia ante fallas en el sistema (Zoom 2)



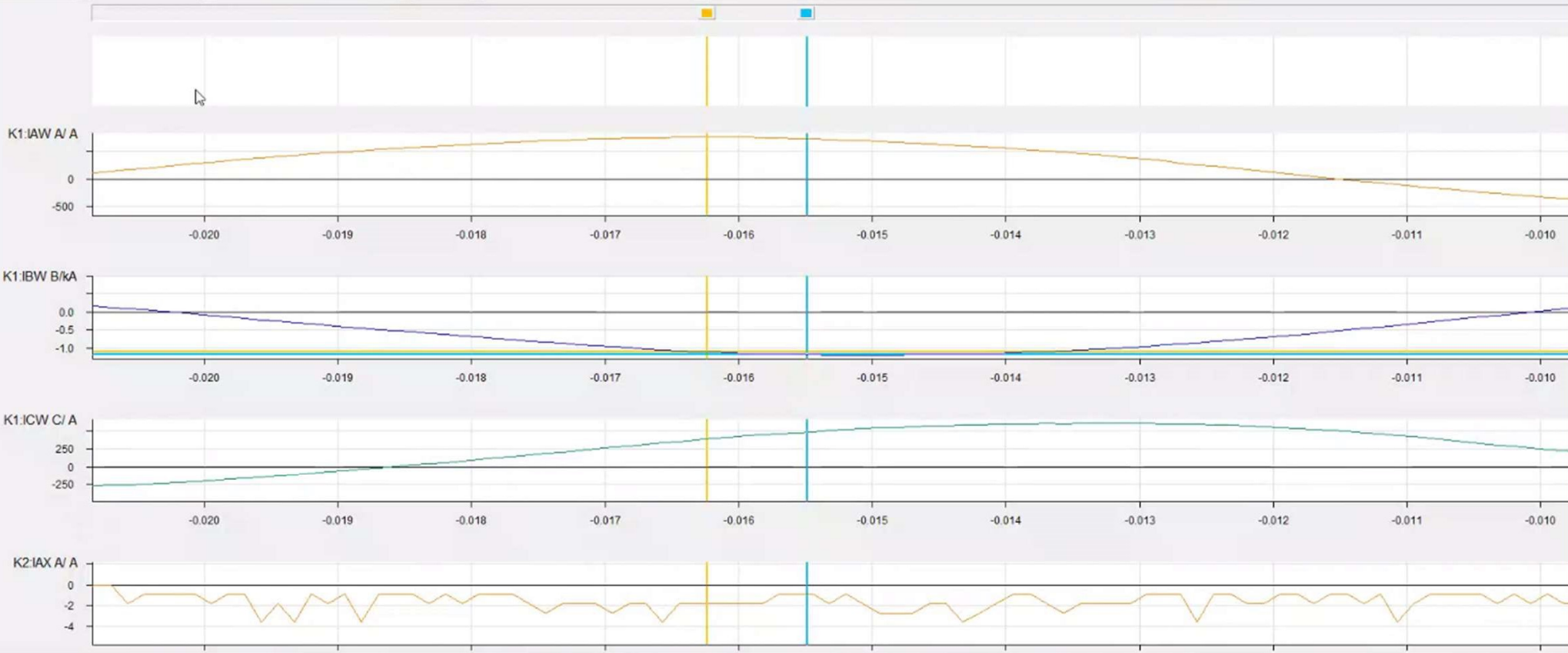
Piloto D-FACTS Evento 15 de febrero



Fault Event Detection and system response

	Tiempo en ms	Señal de medida	Instantáneo	Efectivo
Cursor 1:	-16.24	K1:IBW B	-1.1124 kA	0.4212 kA
Cursor 2:	-15.49	K1:IBW B	-1.1885 kA	0.4833 kA
Σ - C1	0.75	K1:IBW B - K1:IBW	-0.0760 kA	0.0622 kA
Σ + C1	-31.72	K1:IBW B + K1:IBW	-2.3009 kA	0.9045 kA

ENVIGADO
 Ruta de ficheros: D:\UCP\ENVIGADO R9\EVENTOS\210215\HR_10009.CFG
 Tiempo de inicio: 15/02/2021 3:11:32 p. m..309
 Velocidad de datos: 8000 Hz
 Representación de valores: Primario
 Tipo de registro: COMTRADE
 Comentario: Relay 1 ENVIGADO
 Date: 2021/02/15 Time: 15:11:32.710
 Serial Number: 1131220249



- Conclusiones

Los FACTS son una alternativa ambiental y socialmente amigable para la descongestión de los sistemas de potencia

Los FACTS aportan flexibilidad a la operación de la red

Los FACTS Distribuidos aportan flexibilidad tanto a la operación como a la planeación

Las nuevas tecnologías en T&D pueden ser usadas como generadoras de valor para la actividad de T&D Energía y para la sociedad





¡Gracias!

Giovanni Marín Avalos
Giovanni.marin@epm.com.co
Celular: 300 485 39 450

