



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones
Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

“Implementación de un prototipo de transferencia automática de carga, para el anillo de subtransmisión eléctrica de la Empresa Eléctrica Regional Norte, EMELNORTE S.A.”

Autor: Iñiguez Galván, Jhoan Marcelo

Tutor: Ing. Danny Alexander Sotomayor Cárdenas, MSc



Sangolquí, febrero del 2023

Temario

1

Análisis contextual

2

Desarrollo teórico

3

Caso de aplicación

4

Diseño e
implementación

5

Pruebas y resultados

6

Conclusiones y
recomendaciones



1

Análisis contextual

Sector eléctrico nacional y Smart Grids

Sector eléctrico nacional



Contribución

- Desarrollo económico y social
- Uso residencial, industrial y comercial



Retos

- Aumento de la demanda
- Baja calidad energética



Necesidades

- Mejorar estabilidad en la red
- Confiabilidad del servicio al cliente

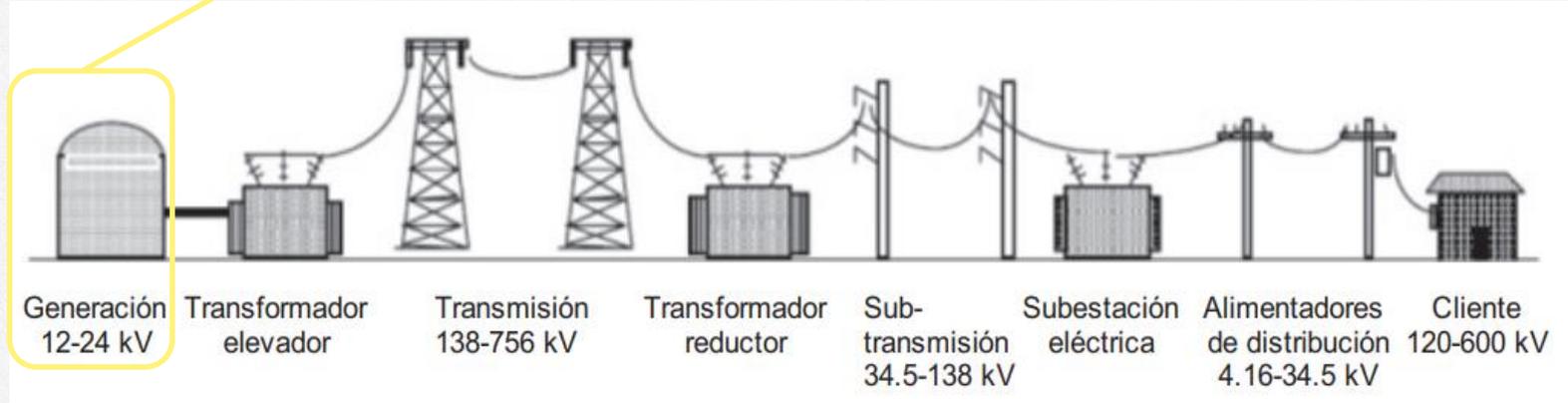


Soluciones

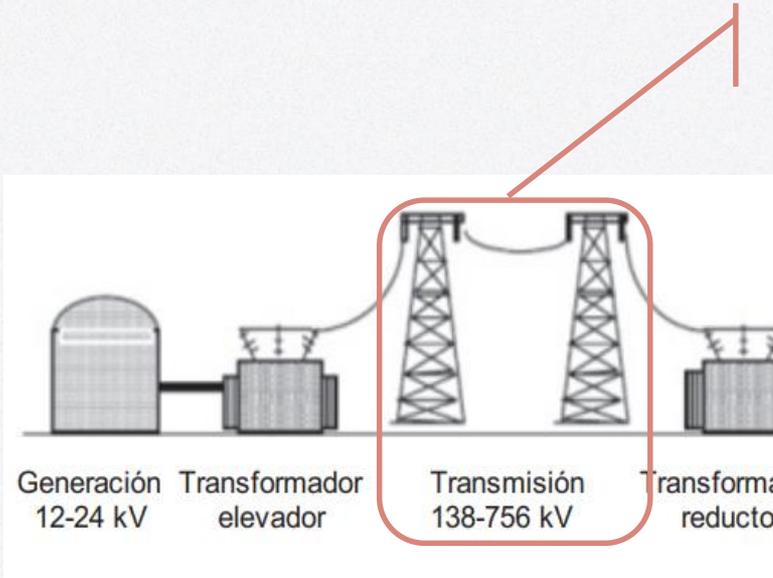
- Plan Maestro de Electricidad
- Redes inteligentes

Sector eléctrico nacional

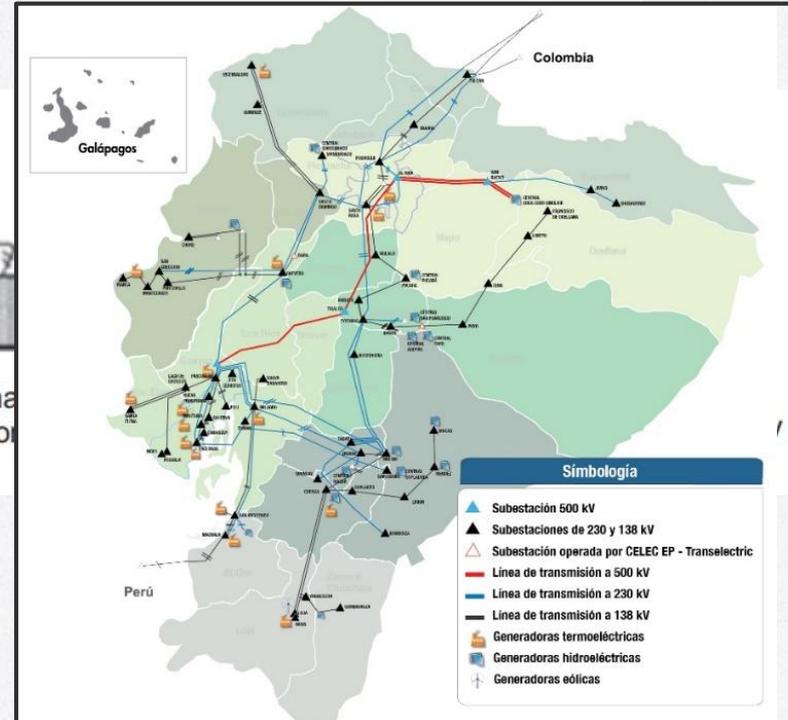
85 empresas y 140 centrales de generación



Sector eléctrico nacional

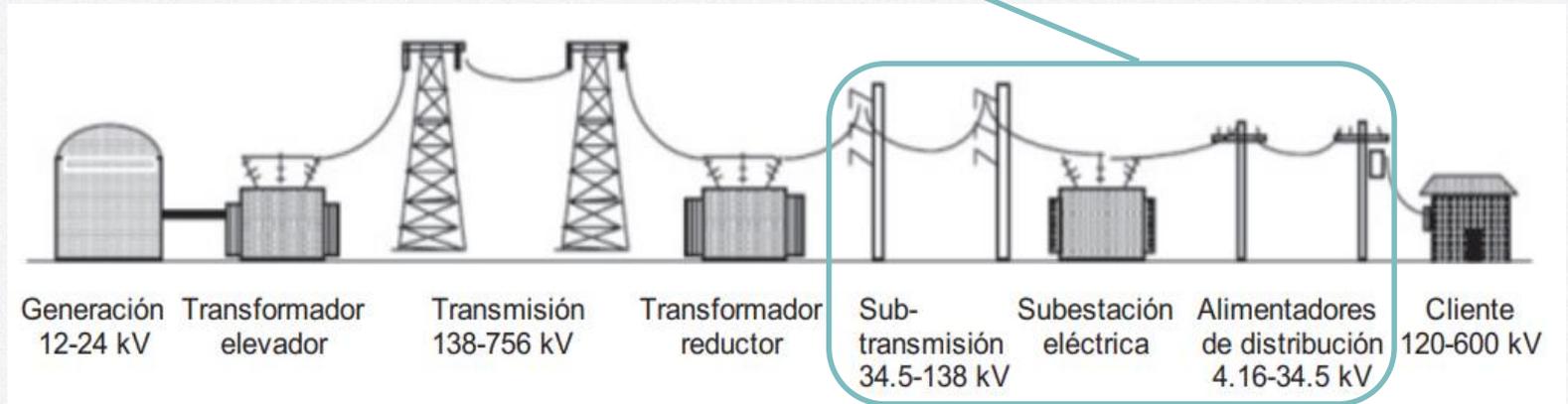


Líneas de 500 kV, 230 kV, 138 kV



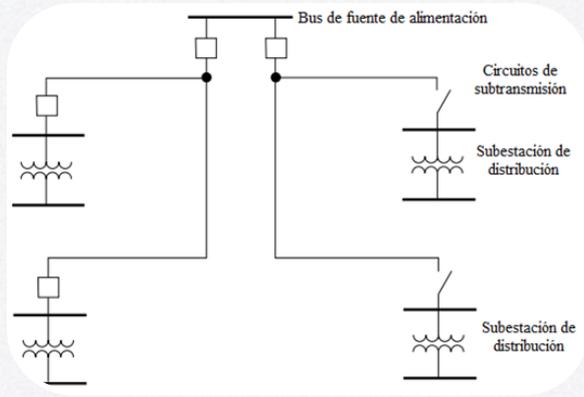
Sector eléctrico nacional

9 empresas y 20 áreas de consenso

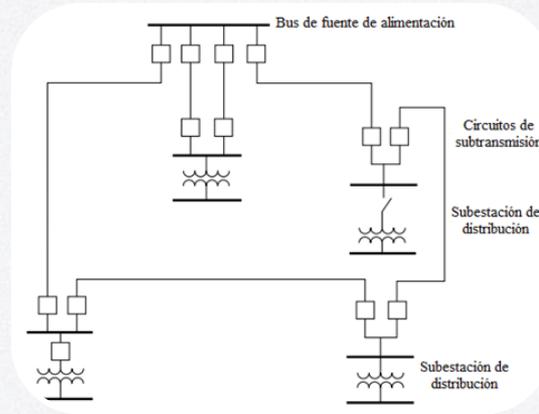


Sector eléctrico nacional

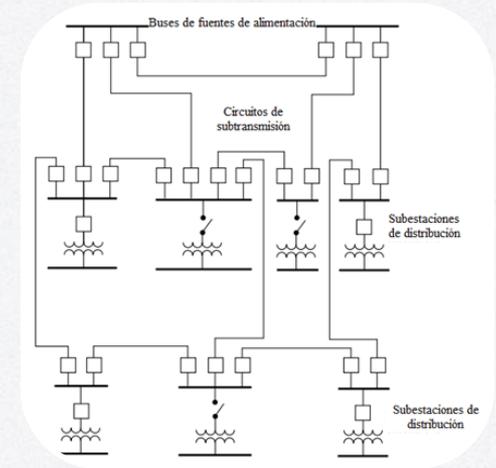
Subtransmisión eléctrica



Estrella

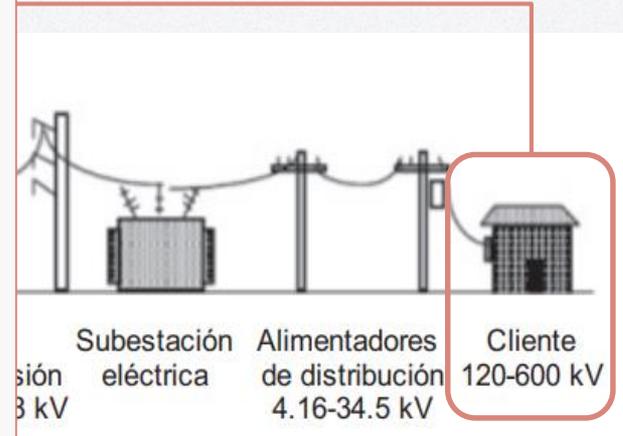
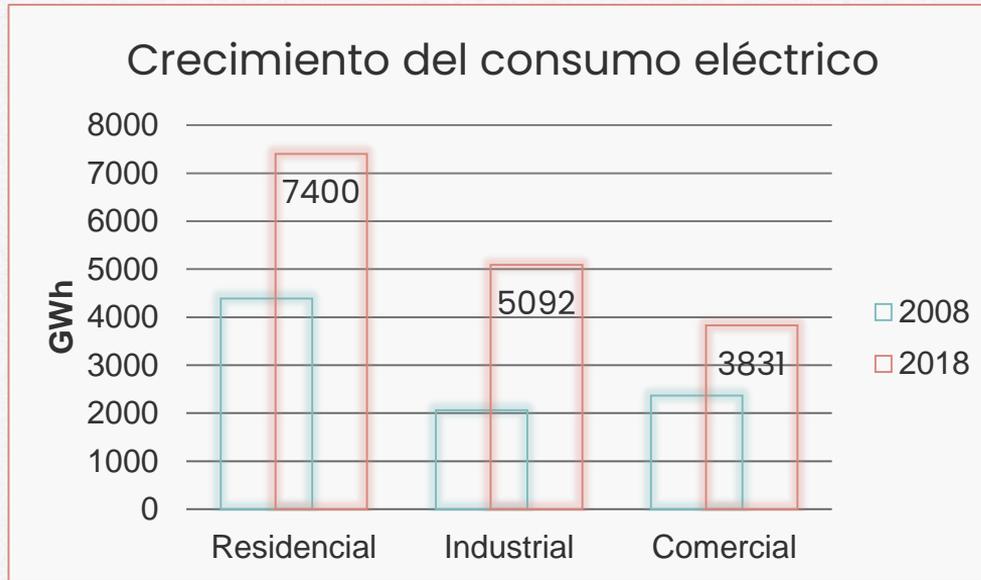


Anillo

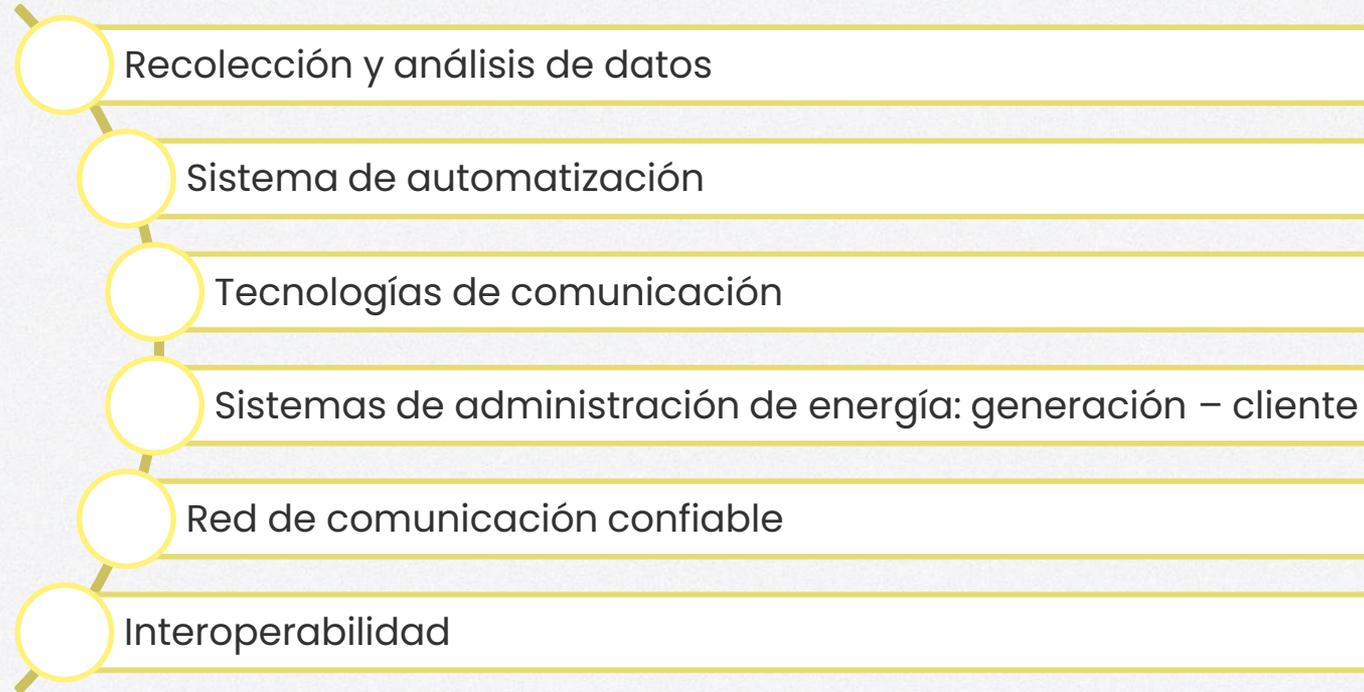


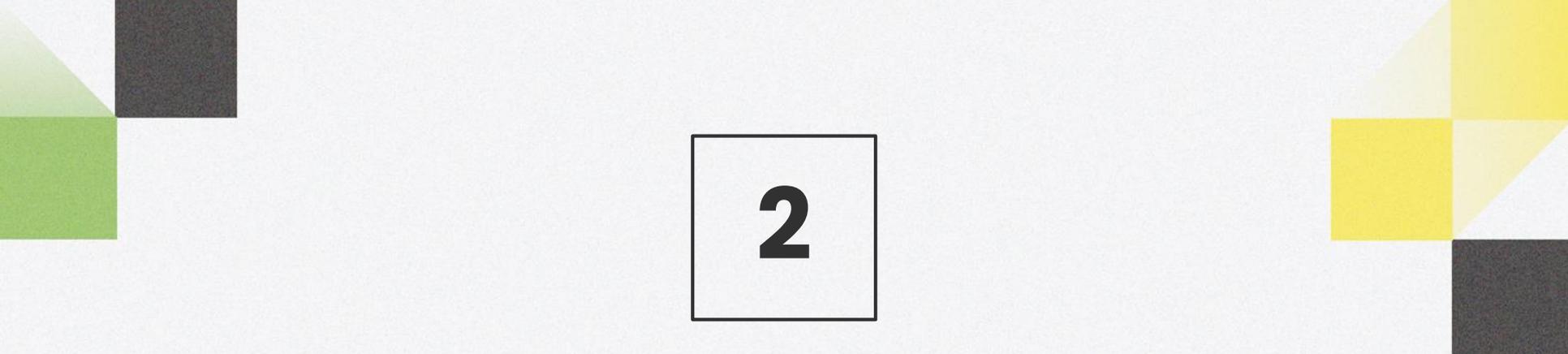
Mallada

Sector eléctrico nacional



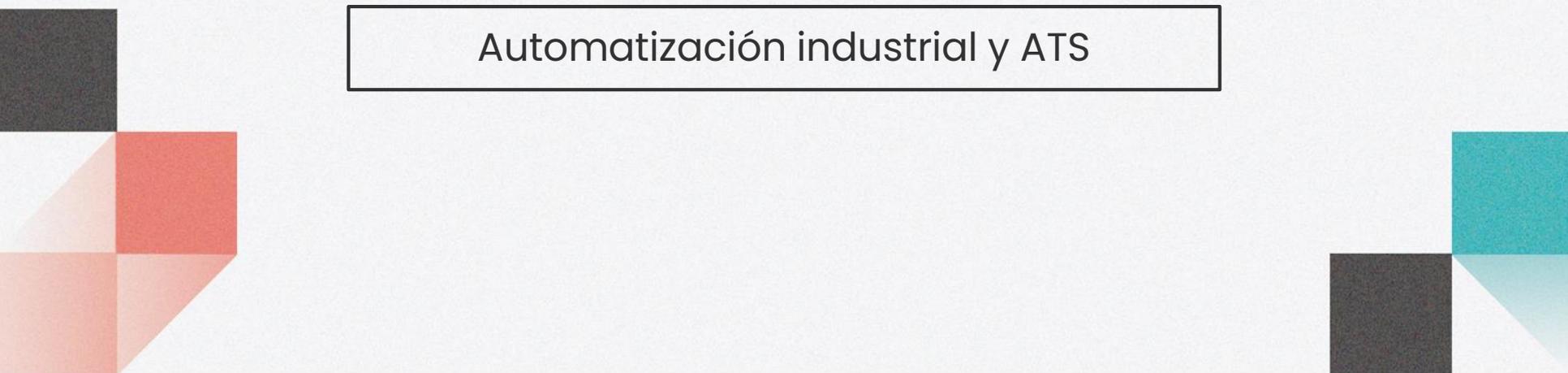
Smart grids





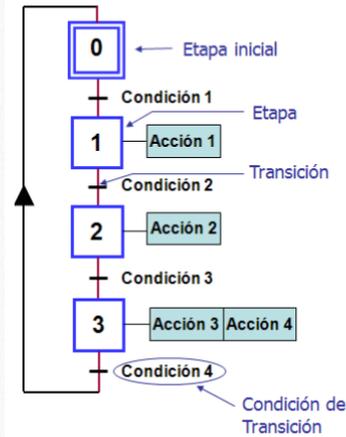
2

Desarrollo teórico

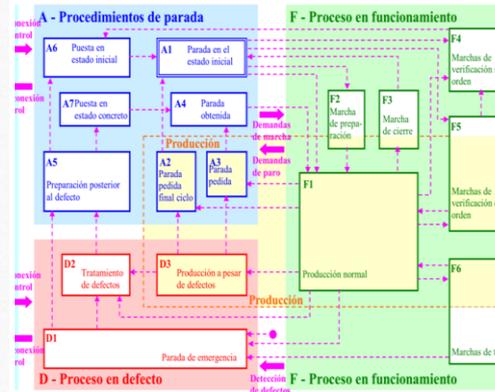


Automatización industrial y ATS

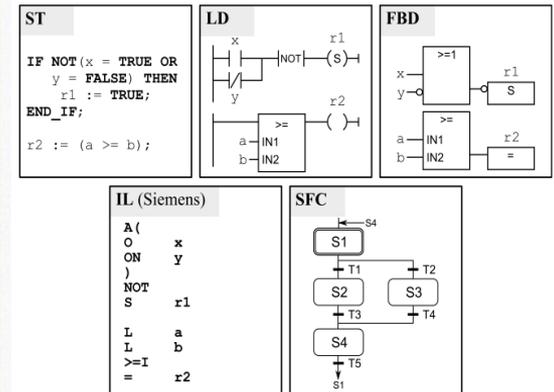
Automatización industrial



GRAFCET



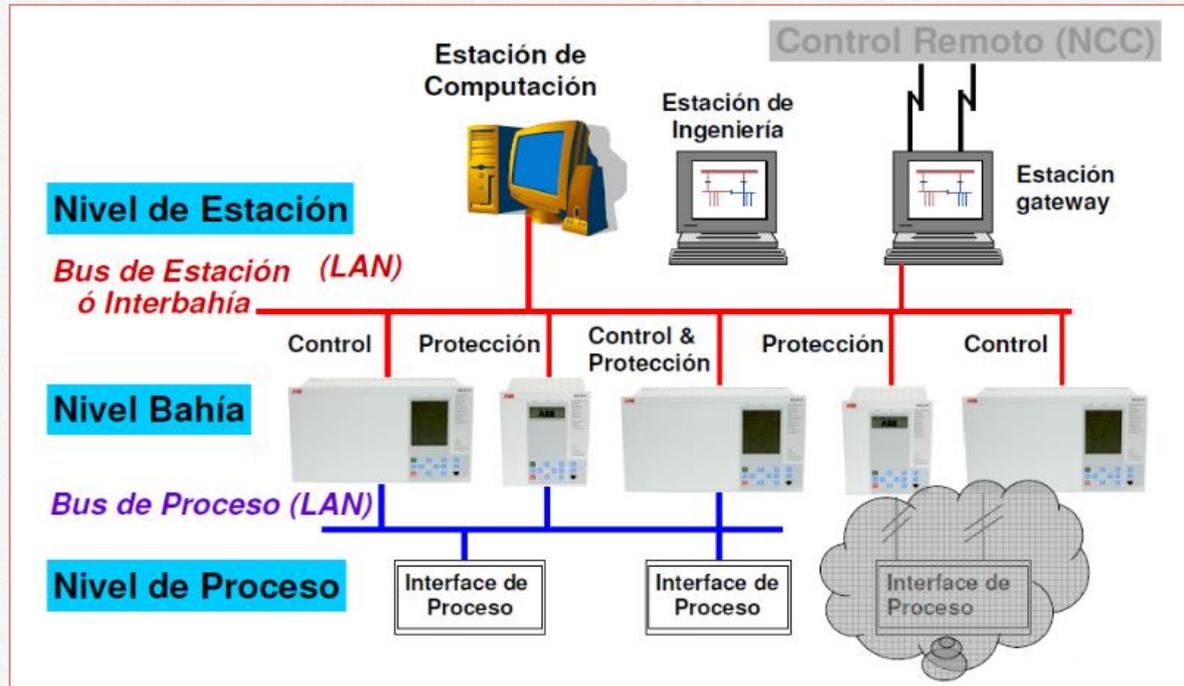
GEMMA



IEC 61131-3

Automatización industrial

Sistema de automatización de subestación (SAS)



IEC 61850

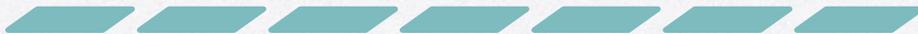
Integración de los niveles lógicos del SAS



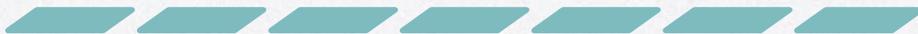
Interoperabilidad



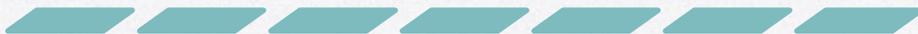
Consciencia de subestación completa



Reducir protocolos de comunicación



Funciones de datos automatizada

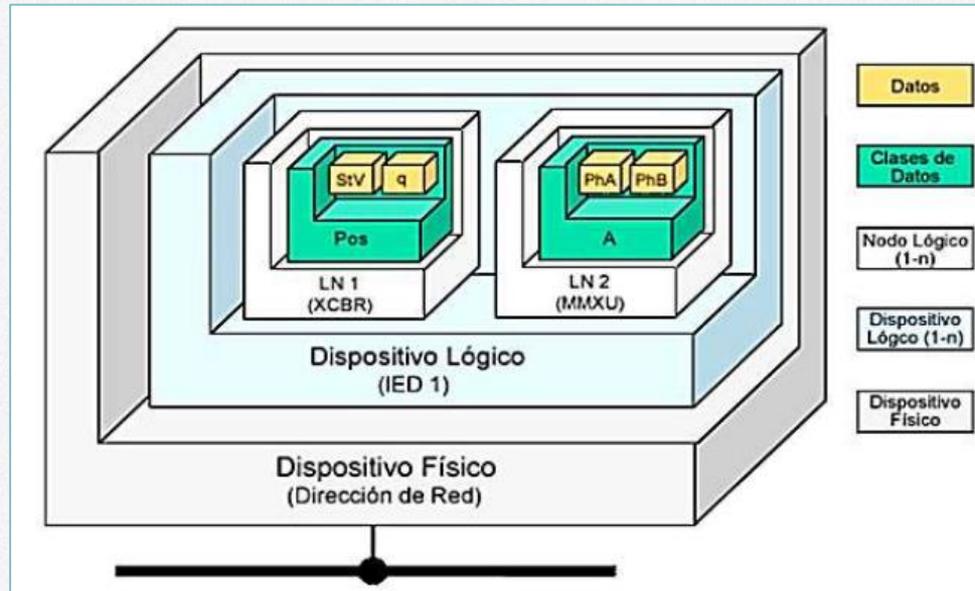


Red LAN Ethernet



IEC 61850

Modelo de datos



IEC 61850

Servicios de comunicación

Comunicación MMS

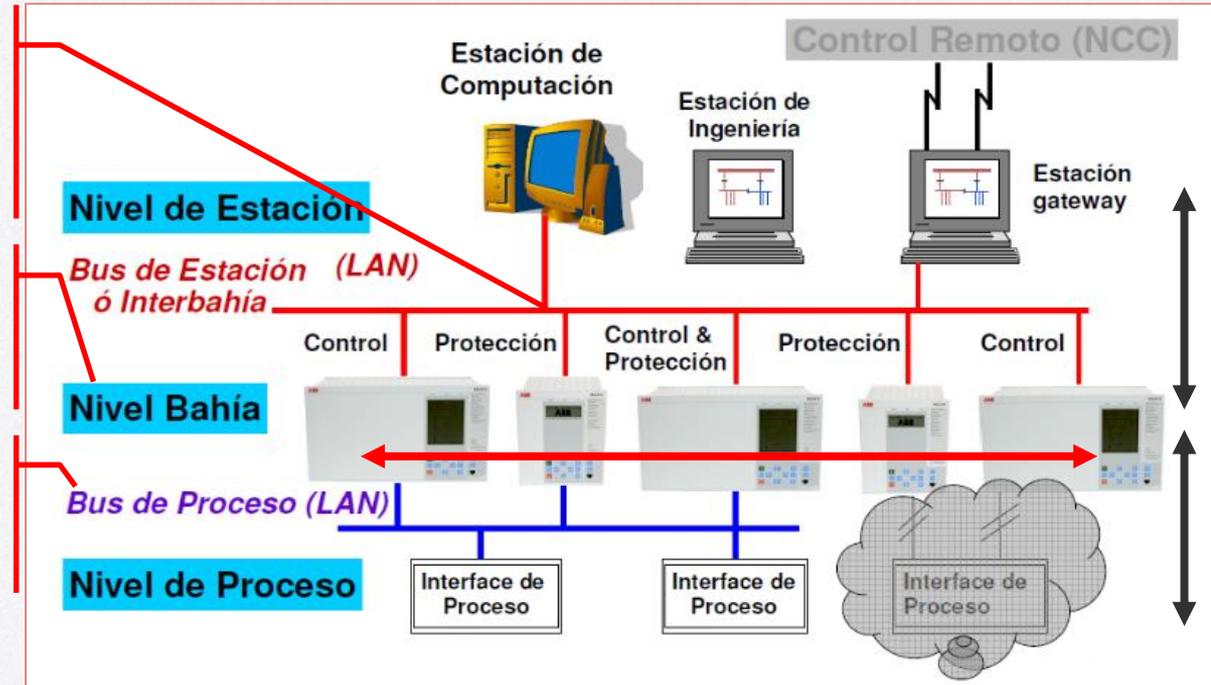
- Cliente – servidor
- Reporte de información dinámica

Mensajería GOOSE

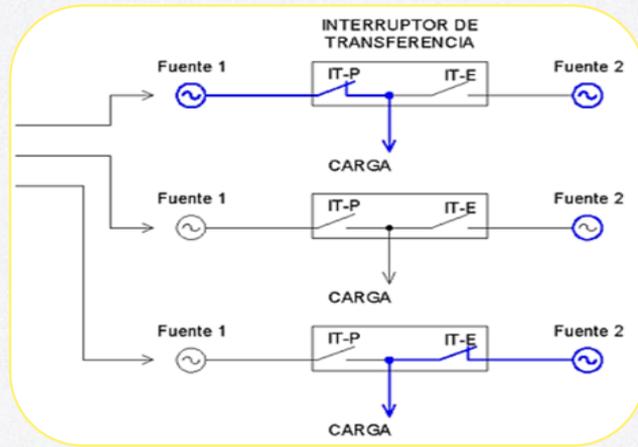
- Orientado al evento
- Información crítica

Valores muestreados

- Merging units
- Punto a punto

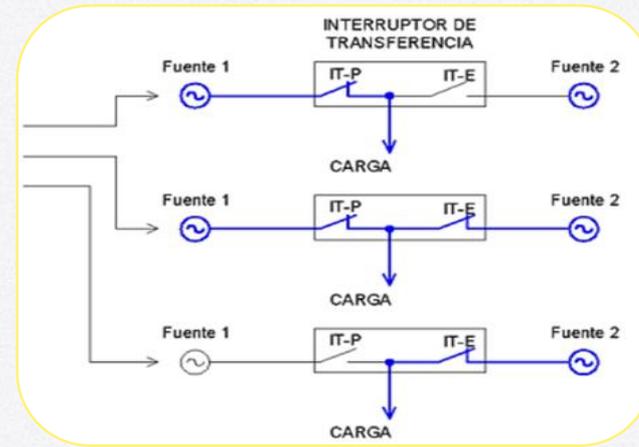


Transferencia de carga (ATS)



Transferencia abierta

- Break-then-make



Transferencia cerrada

- Make-then-break

3

Caso de aplicación

Empresa Eléctrica Regional Norte
EMELNORTE S.A.

 **EmelNorte**

EMELNORTE S.A.

Consolidada el 25 de noviembre de 1975

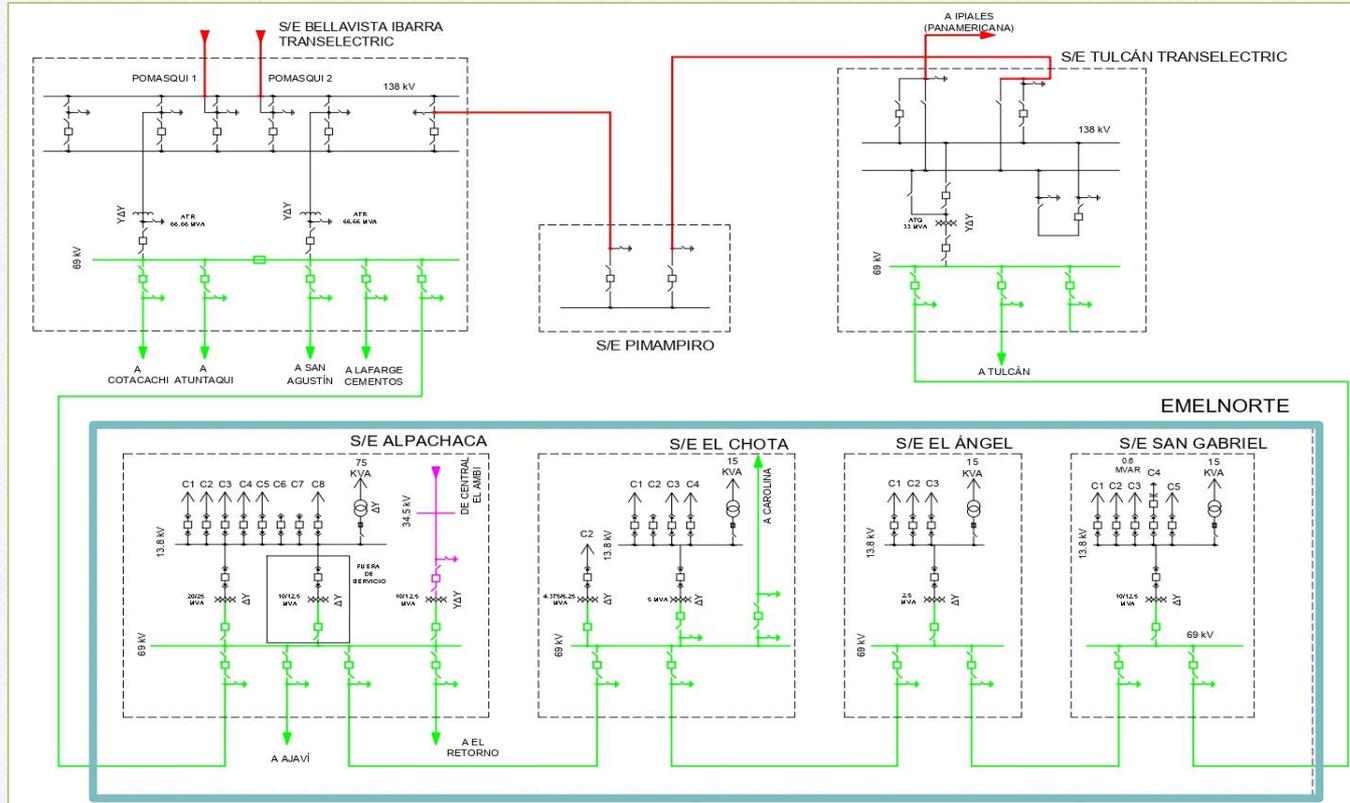
12000 km² en el norte del país

Imbabura, Carchi, Pichincha, Sucumbios, Esmeraldas

Generación, distribución y comercialización

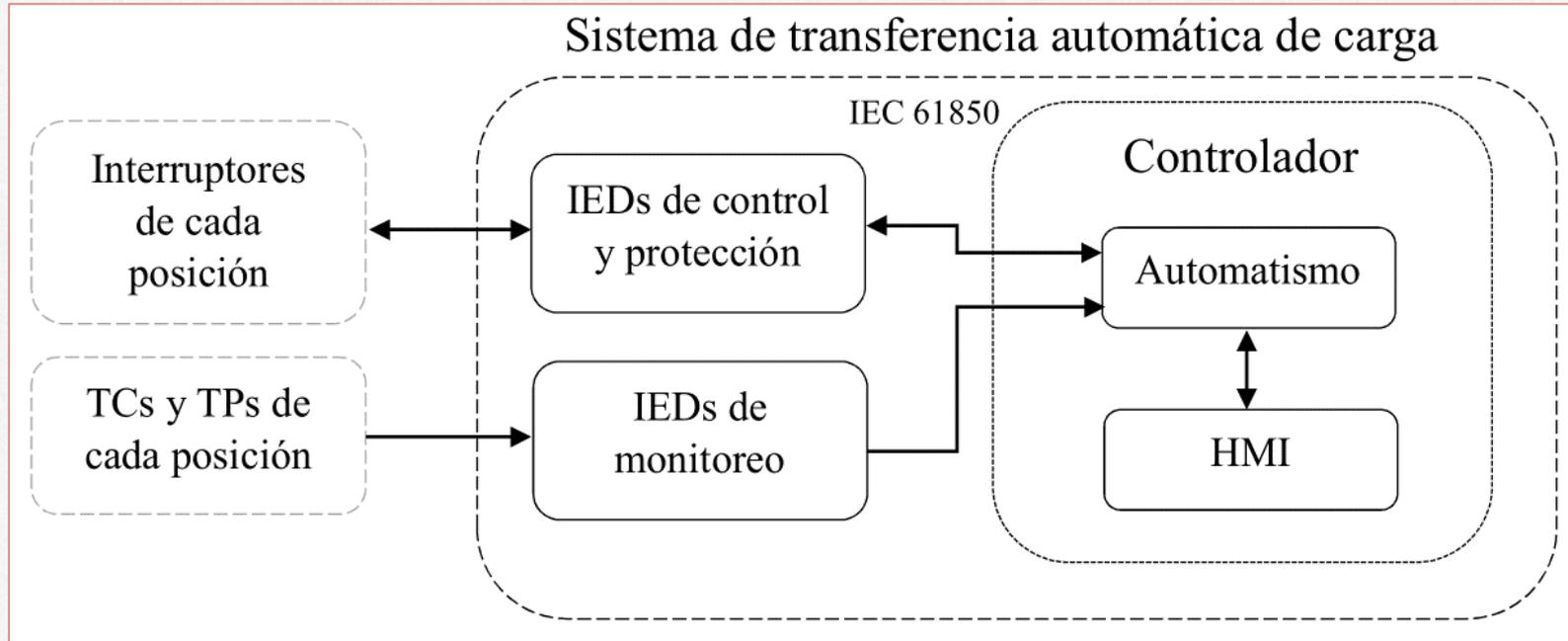
EMELNORTE S.A.

Anillo de subtransmisión eléctrica



EMELNORTE S.A.

Sistema de transferencia automática de carga





Diseñar y simular un sistema de transferencia automática de carga para el anillo de subtransmisión eléctrica de la Empresa Eléctrica Regional Norte, EMELNORTE, S.A

OBJETIVO GENERAL



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

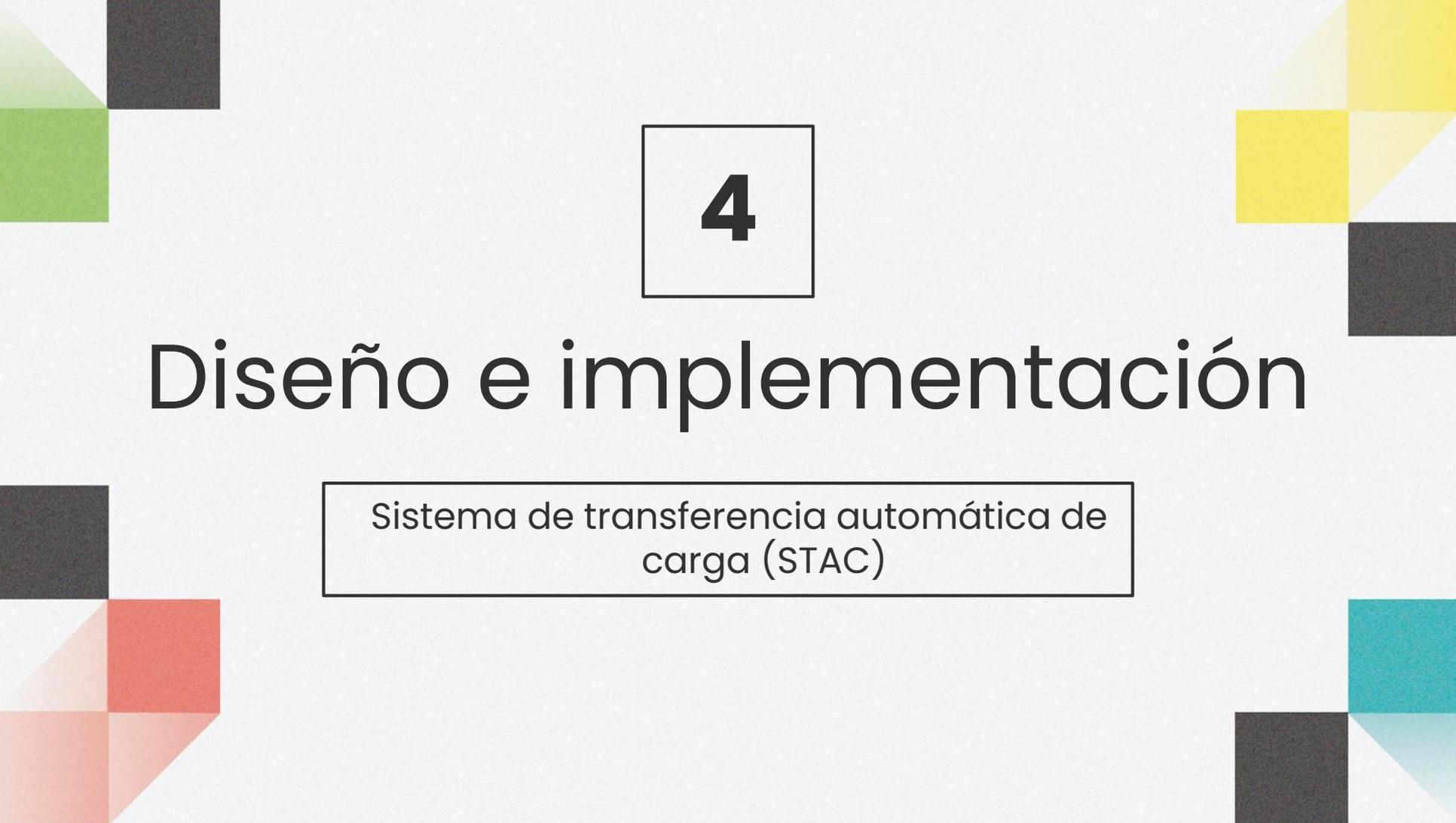
Implementar una red de comunicaciones con los equipos de medición, protección, control y supervisión relevantes en el sistema de transferencia automática de carga basado en el estándar IEC 61850.

Aplicar un algoritmo de selección de las rutas de alimentación eléctrica entre las subestaciones del anillo de subtransmisión de la empresa EMELNORTE basado en el plan de maniobras establecido.

Integrar una HMI para la supervisión del circuito de control del prototipo de transferencia automática de carga.

Simular el sistema de transferencia automática de carga en un entorno restringido con base a un protocolo de pruebas.

Evaluar el desempeño del sistema de transferencia automática de carga en relación a la operación manual con respecto a tiempo de respuesta y rentabilidad.



4

Diseño e implementación

Sistema de transferencia automática de
carga (STAC)

Equipos actuales

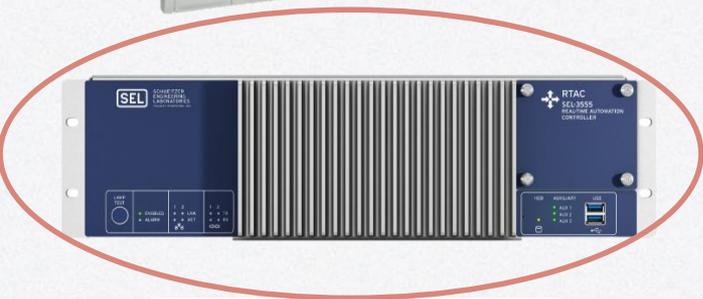
IED	Función	Ubicación
SE Sepam S80	Control y protecciones	SE Alpachaca
SEL 421	Control y protecciones	SE El Ángel
SEL 751	Control y protecciones	SE El Chota
ABB REF 615	Control y protecciones	SE San Gabriel
SEL 735	Medición y calidad de energía	SE El Ángel
ION 8650	Medición y calidad de energía	Resto del anillo

Selección del controlador



SEL 3555 RTAC

Características	Descripción / Valor
Fuente de alimentación	125 VDC / 126 VAC
Puertos de comunicación	2 puertos principales 10/100/1000 Base - T
IEC 61850	IEC 61850 MMS y GOOSE
Compatibilidad IEC 61850 ed. 1 y 2	Compatibilidad simultánea
Servidores y clientes	250 servidores y 10 clientes
Automatización	IEC 61131 - 3
HMI	Integrado en servidor web
Registro de eventos	SOE de 30000 eventos



Automatismo

Plan de maniobras

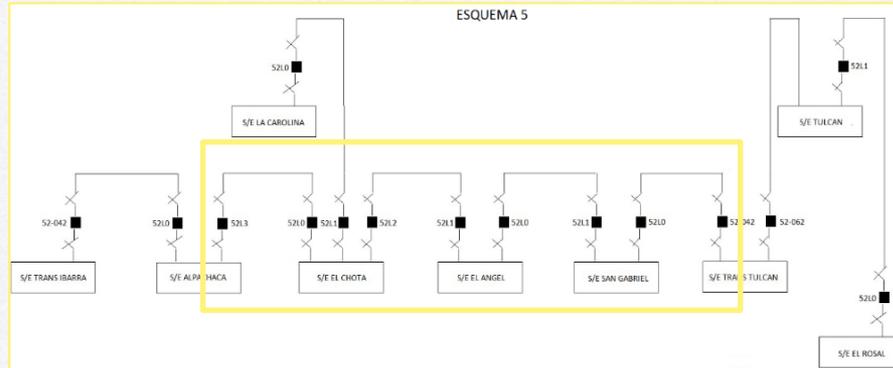
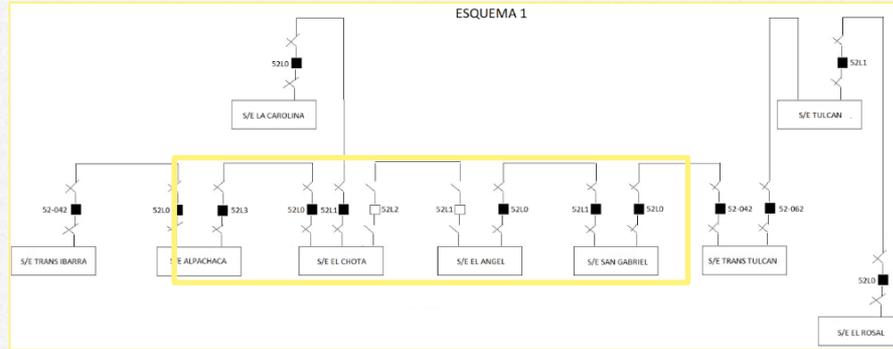
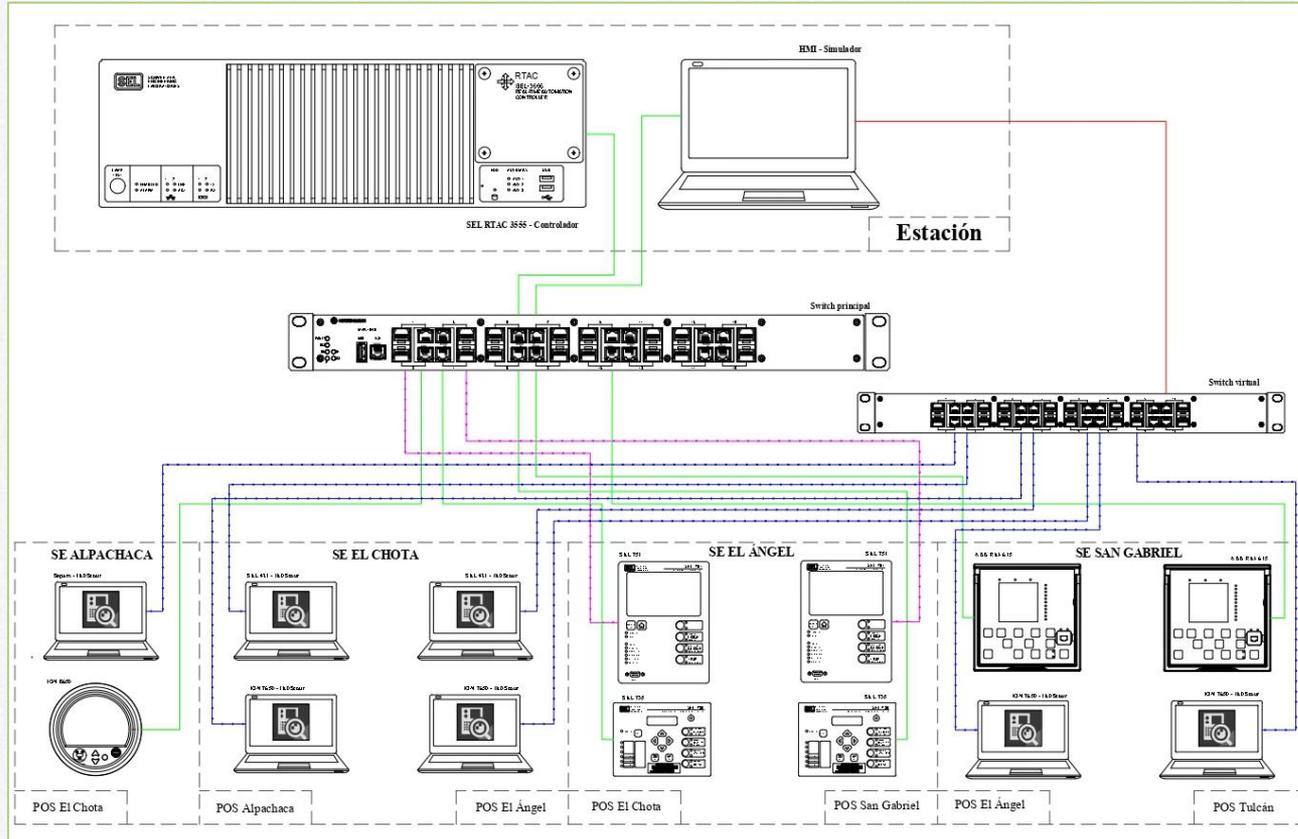


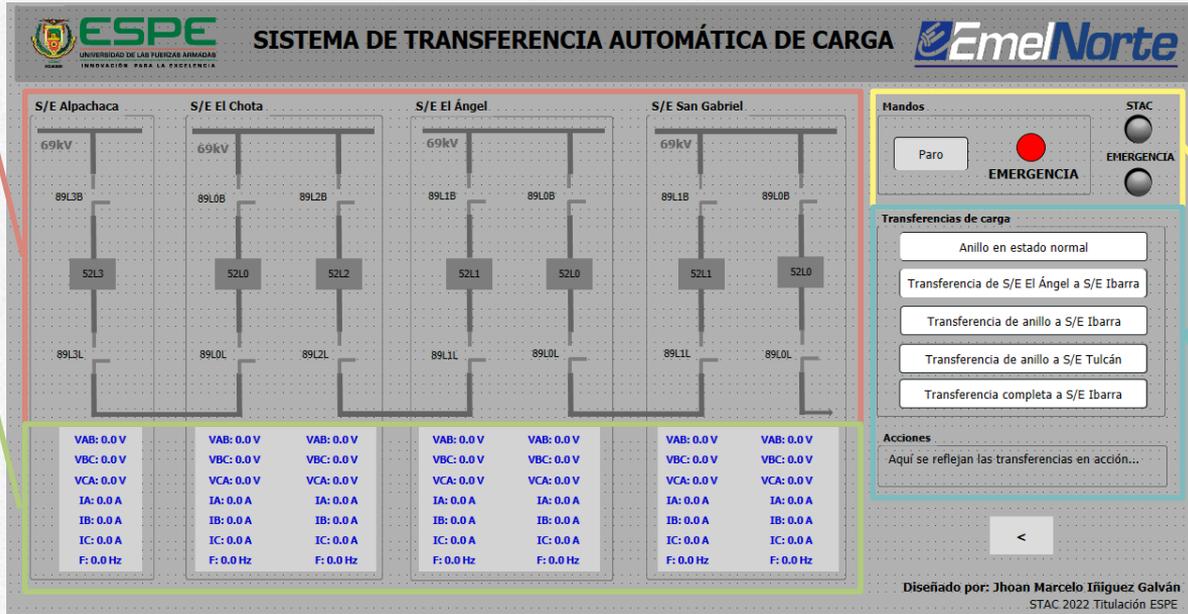
Diagrama de red



HMI de alto desempeño – ISA 101



Diagrama unifilar



Medidas fundamentales

Estados y mandos de sistema

Transferencias y sugerencias

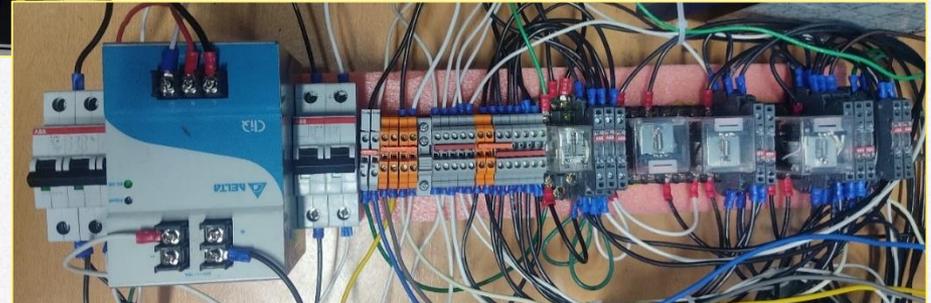
Implementación

Montaje físico



Implementación

Montaje físico



Implementación

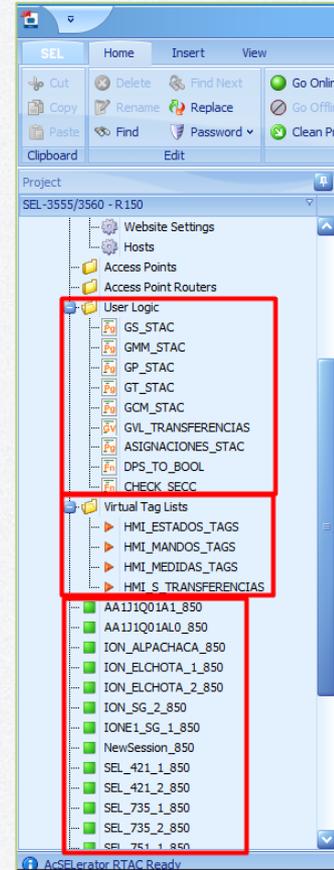
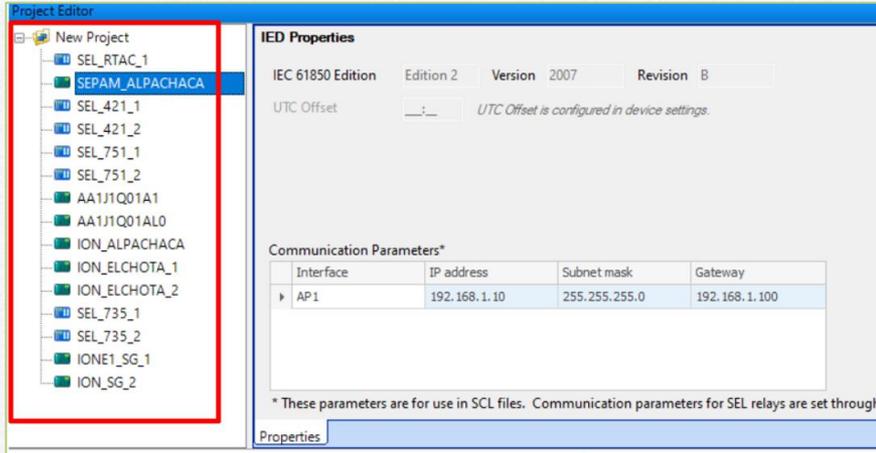
Configuración de los equipos

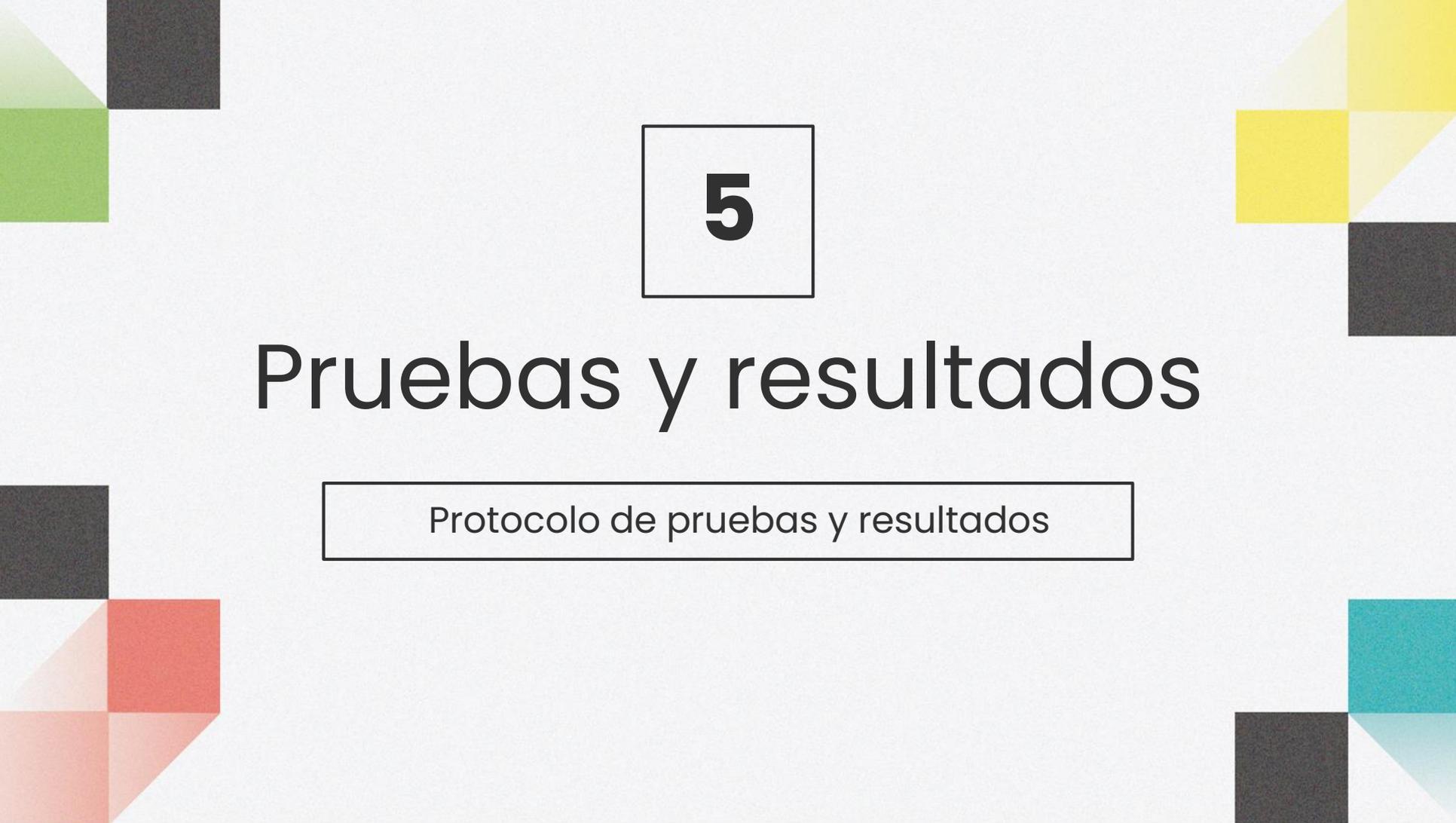


IED	Software de configuración	Software de comunicación
SE Sepam S80	SFT 284I	CET850
SEL 421	AcSElerator Quickset	AcSElerator Architect
SEL 751	AcSElerator Quickset	AcSElerator Architect
ABB REF 615	PCM600	PCM600
SEL 735	AcSElerator Quickset	AcSElerator Architect
ION 8650	ION Setup	CET850
SEL 3555 RTAC	AcSElerator RTAC	AcSElerator Architect
HMI	AcSElerator Diagram Builder	-
Equipos emulados	VMWare Workstation Pro	IEDScout

Implementación

Archivo SCD y RTAC





5

Pruebas y resultados

Protocolo de pruebas y resultados

Protocolo de pruebas

Transferencia	$\overline{(\Delta t)}$ (s)
Anillo en estado normal hacia transferencia de subestación el Ángel a subestación Ibarra	06.860
Transferencia de subestación El Ángel a subestación Ibarra hacia el anillo en estado normal	06.420
Anillo en estado normal hacia transferencia de anillo a subestación Ibarra	11.940
Transferencia de anillo a subestación Ibarra hacia anillo en estado normal	05.400
Anillo en estado normal hacia transferencia de anillo a subestación Tulcán	06.820
Transferencia de anillo a subestación Tulcán hacia anillo en estado normal	06.560
Anillo en estado normal hacia transferencia completa a subestación Ibarra	02.500
Transferencia completa a subestación Ibarra hacia anillo en estado normal	02.620

Eficiencia de la transferencia

Falla de alimentación	Fecha	t_{fail}	t_{OpMan}	t_{STAC}	%ET
SE Alpachaca	4/5/2018	00:24:00	00:21:00	00:00:06.820	99.46
SE Tulcán	23/10/2018	00:25:00	00:22:00	00:00:11.940	99.10
SE Tulcán	3/1/2020	00:17:00	00:14:00	00:00:11.940	98.58
SE Tulcán	3/1/2020	00:17:00	00:14:00	00:00:11.940	98.58
SE Tulcán	3/2/2020	00:15:00	00:11:00	00:00:11.940	98.34
SE Tulcán	3/2/2020	00:23:00	00:20:00	00:00:11.940	99.01
SE Tulcán	23/5/2020	00:16:00	00:13:00	00:00:11.940	98.47

$$t_{OpMan} = t_{fail} - 00:03:00$$

$$\%ET = \left(1 - \frac{t_{STAC}}{t_{OpMan}}\right) * 100$$

Costo de STAC

Costos directos e indirectos

Equipos y materiales	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
SEL 3555 RTAC	1	\$9850	\$9850
ION 8650	2	\$5371.66	\$16114.98
Disyuntor bifásico 4 A	2	\$8	\$16
Cable de red UTP CAT6 de 5m	1	\$10	\$10
Cable flexible THHN AWG 14	20 m	\$0.5	\$10
Material de instalación	-	\$20	\$20
TOTAL			\$ 26021

Tipo	Horas	CMO/h (\$)	Precio total (\$)
Diseño e ingeniería	600	\$8	\$4800
Instalación	150	\$4	\$600
Pruebas y puesta en marcha	150	\$4	\$600
TOTAL			\$ 6000

$$C_{STAC} = \$32021$$

Energía no suministrada (ENS)

Falla de alimentación	Fecha	Potencia (MW)	t_{OpMan}	%ET	ENS (MWh)	ENS STAC (kWh)
SE Alpachaca	4/5/2018	6.9	00:21:00	99.46	2.4150	13.0717
SE Tulcán	23/10/2018	5.5	00:22:00	99.10	2.0167	18.2417
SE Tulcán	3/1/2020	7.29	00:14:00	98.58	1.7010	24.1785
SE Tulcán	3/1/2020	8.86	00:14:00	99.58	2.0673	29.3857
SE Tulcán	3/2/2020	10.79	00:11:00	98.34	2.1580	35.7868
SE Tulcán	3/2/2020	9.12	00:20:00	99.01	3.0400	30.2480
SE Tulcán	23/5/2020	5.77	00:13:00	98.47	1.2502	19.1372
TOTAL ENS					14.6482	170.0495
TOTAL CENS					\$22455.64	\$260.69

$$CENS = 1533 \frac{\$}{MWh}$$

\$22194.95

Ahorro trimestral usando STAC

\$7398.32

Ahorro anual usando STAC



Rentabilidad

TIR y VAN

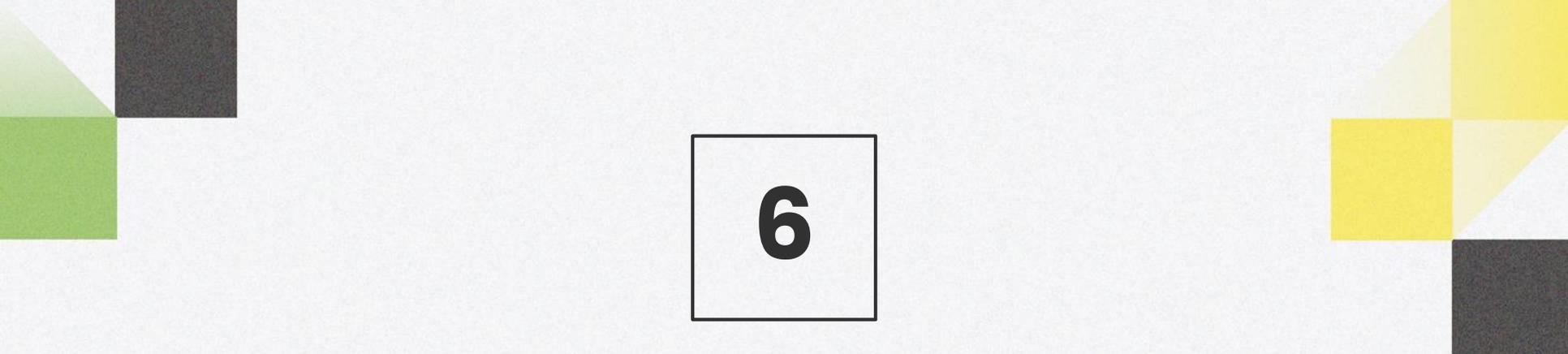
Año	0	1	2	3	4	5
Inversión	-\$32021	0	0	0	0	0
Ahorro STAC	0	\$7398.32	\$7398.32	\$7398.32	\$7398.32	\$7398.32

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^n \frac{FN_t}{(1+i)^n} \qquad 0 = -I_0 + \sum_{n=1}^n \frac{FN_t}{(1+TIR)^n}$$

$$i = 5\%$$

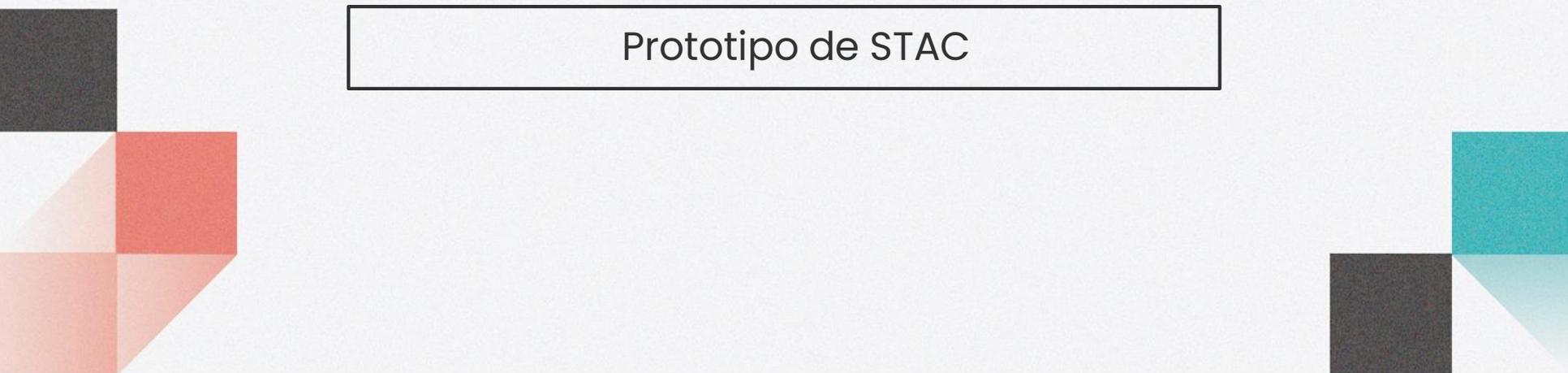
$$VAN = \$9.85$$

$$TIR = 5.01\%$$



6

Conclusiones y recomendaciones



Prototipo de STAC

Conclusiones

Confiabilidad	<ul style="list-style-type: none">•98% - 99% de velocidad sobre operación manual• -7 mil \$/anuales en ENS
Algoritmo	<ul style="list-style-type: none">•IEC 61131 – 3 permite cumplir con plan de maniobras
IEC 61850	<ul style="list-style-type: none">•Alcanzar la interoperabilidad con multi marca•Funciones automatizadas para cada IED
Circuito de simulación	<ul style="list-style-type: none">•Primera caracterización del STAC
HMI	<ul style="list-style-type: none">•Administración energética eficiente•Implementar sistema de sugerencias

Recomendaciones

Plan de maniobras

- Automatismo estricto en cada paso

Automatización

- Uso de herramientas para mantener una estructura.
- Fácil mejorar y optimizar con el tiempo

IEC 61850

- Conocer funciones de cada IED
- Uso pragmático del modelo de datos de cada equipo

Funcionalidad

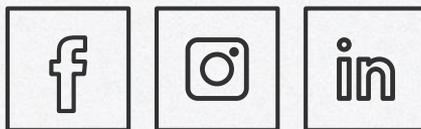
- Modelo matemático preventivo y predictivo de carga
- Auto conciencia



¡Gracias!

¿Alguna pregunta?

jminiguez@miespe.edu.ec
+593 979097028



CREDITS: This presentation template was created by [Slidesgo](#), including icons by [Flaticon](#), and infographics & images by [Freepik](#)