

IV CONGRESO DE

REDES INTELIGENTES

I WEBINAR 26 DE FEBRERO 2026

9H – 10H

Congreso organizado por:



ITE
CENTRO TECNOLÓGICO



Patrocinado por:



Regulación de Transformadores de 3 Devanados con Fuentes de Generación Renovable

- Ponente / organización
 - César Redondo / ZIV Automation S.L.
- Autores / organizaciones
 - César Redondo / ZIV Automation S.L.
 - Fhilihpríncipe Herrera / ZIV - UPV/EHU



eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea



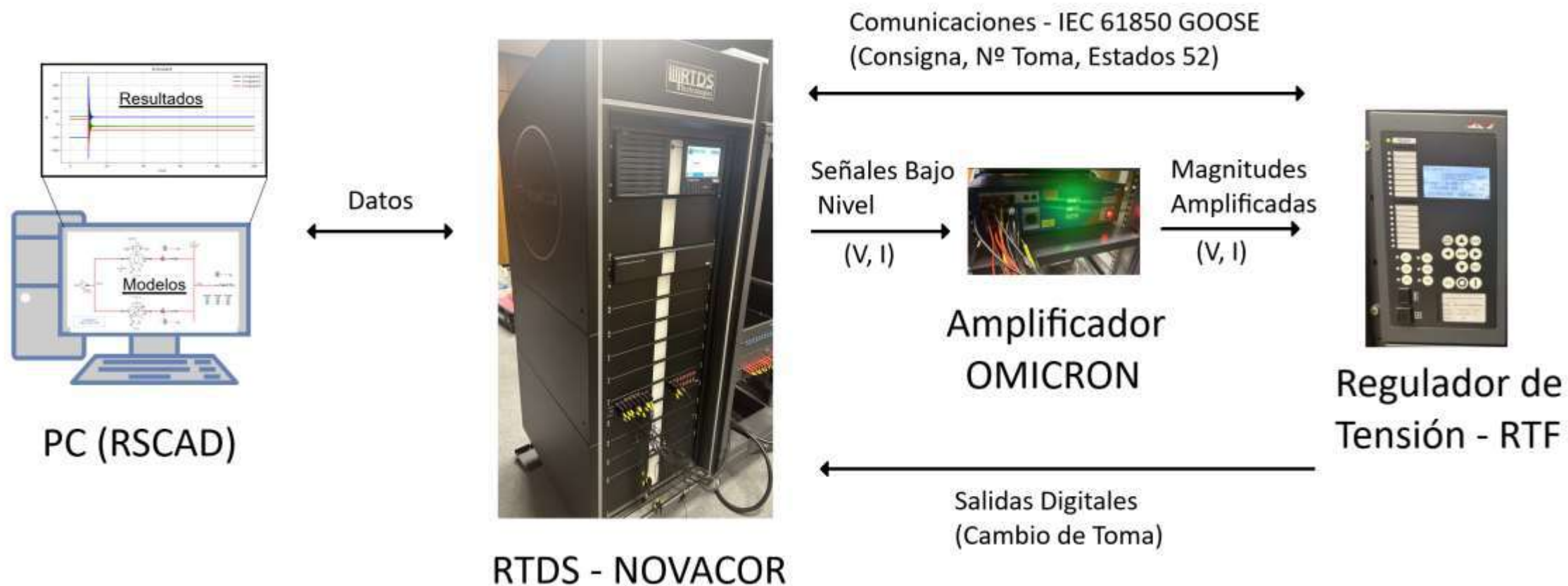


Fig. 1 – Conjunto de equipos de prueba

Fig.3 - Placa de características del transformador

Parámetro	Valor
$S_1/S_2/S_3$ (MVA) ONAN	83/48/48
$S_1/S_2/S_3$ (MVA) ONAF	118/68/68
$U_{1n}/U_{2n}/U_{3n}$ (kV)	110/13.8/13.8
$u_{z1}/u_{z2}/u_{z3}$ (%)	24/24/39
Número de tomas OLTC	10
$\Delta V/toma$ (%)	±1,25 %

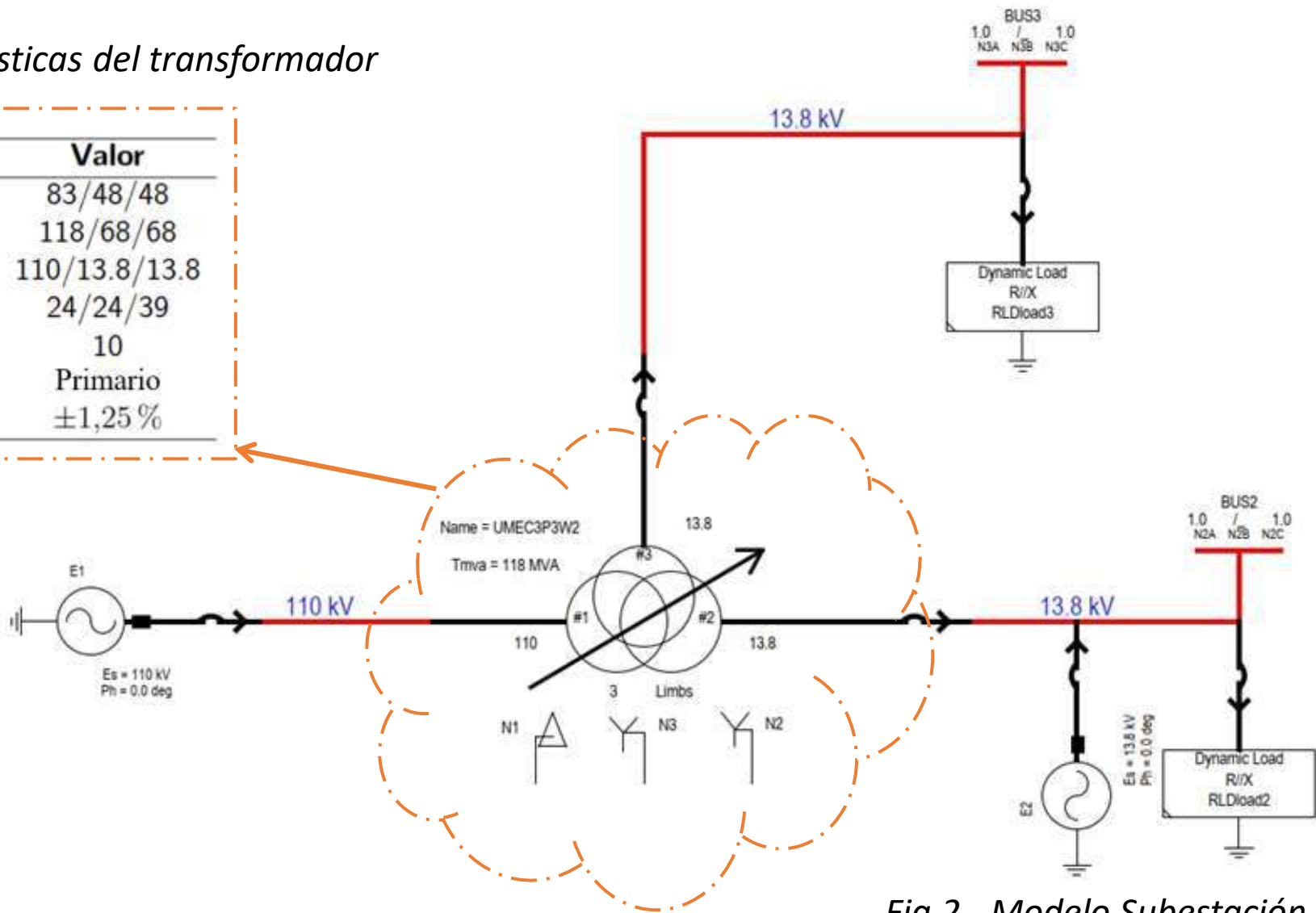


Fig.2 - Modelo Subestación (RSCAD)

Control para 3 Devanados

- El regulador de tensión (RTF) realiza la función de control del cambiador de tomas de un transformador.
 - Regula la tensión de los buses(VREG) conectados al transformador para mantenerla dentro de una banda muerta.
 - Consigna de tensión (VD): valor deseado en el bus.
 - Grado de insensibilidad (GI): error máximo permitido entre la consigna y el valor real.
 - Tiempo de maniobra (T): evita actuaciones ante desviaciones breves. Puede ser fijo (tiempo definido) o variable según la desviación (curva inversa).

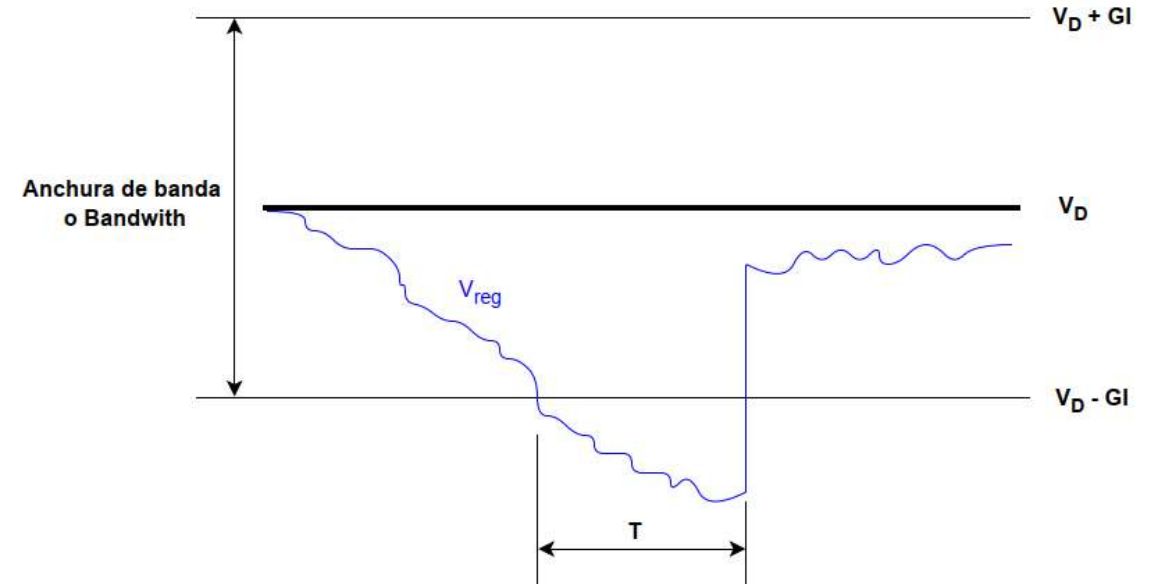


Fig. 4 – Banda de regulación de tensión

Parámetro	Valor
GI	2.5 %
Tipo de curva	Tiempo fijo
Tiempo definido 1	10 s
T2	5 s
Tensión de retroceso rápido	110 %
Compundajes	Desactivados

Fig 5 - Configuración del regulador de tensión

Control para 3 Devanados

Control de Tensión

- Medidas de tensión (V2, V3) y el estado de los interruptores (52-2, 52-3) de los dos devanados secundarios del transformador.
- Cálculo de la tensión con mayor desviación absoluta.
- Selección del devanado con mayor desvío de tensión.
- Operación del cambiador de tomas hasta posición de equilibrio.

Flujo de Potencia

- Medidas de tensión (V1), intensidad (I1) y el estado del interruptor (52-1) del devanado primario.
- Condición de Inversión de Potencia: Ángulo (φ) que forman la V1 e I1
 - Potencia Entrante: $85^\circ < \varphi < 275^\circ$
 - Potencia Saliente: $90^\circ < \varphi < 270^\circ$

Relación de Tomas

- Regulación en Primario (V1): Relación de Tomas Inversa
 - Subir toma → Baja la tensión del primario
- Regulación en Secundario (V2, V3): Relación de Tomas Directa
 - Subir toma → Sube la tensión del primario

Casos de Estudio

Caso de Estudio		Variable de Control	Relación de Tomas
Transformador conectado a red (A, B, C, D).		La variable de control es la tensión con mayor desvío (V2, V3).	Directa
	Sin inversión de potencia en BUS 1 (E, F).		
Transformador desconectado de red.	Con inversión de potencia en BUS 1 (G, H, I, J, K, L).	La variable de control es la tensión del Devanado 1 (V1).	Inversa

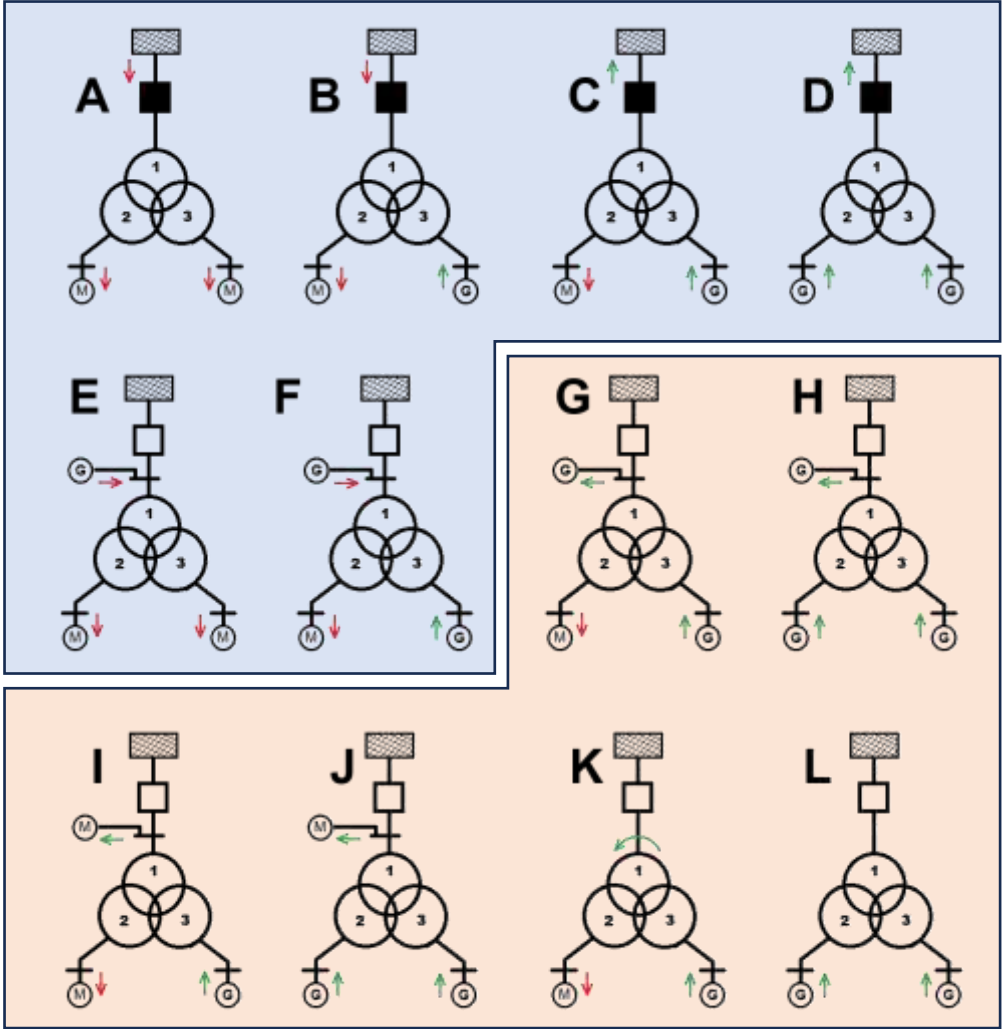
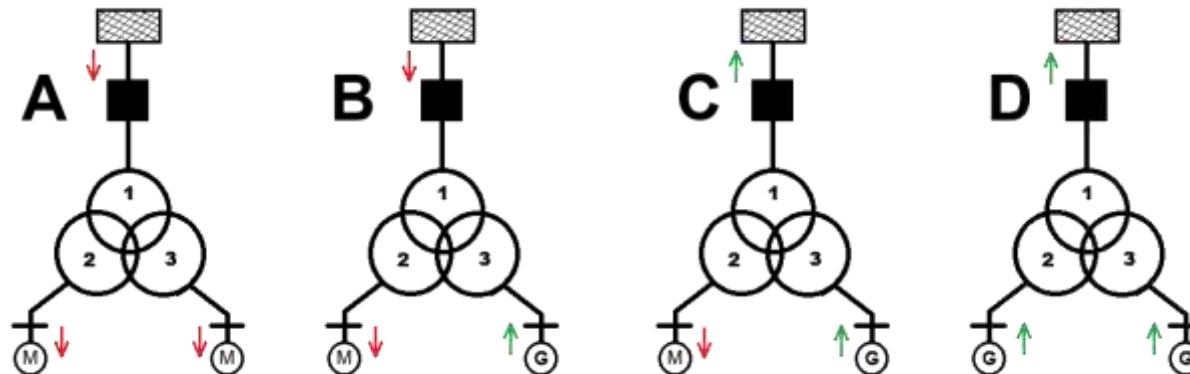


Fig. 6 - Casos de estudio

Casos de Estudio

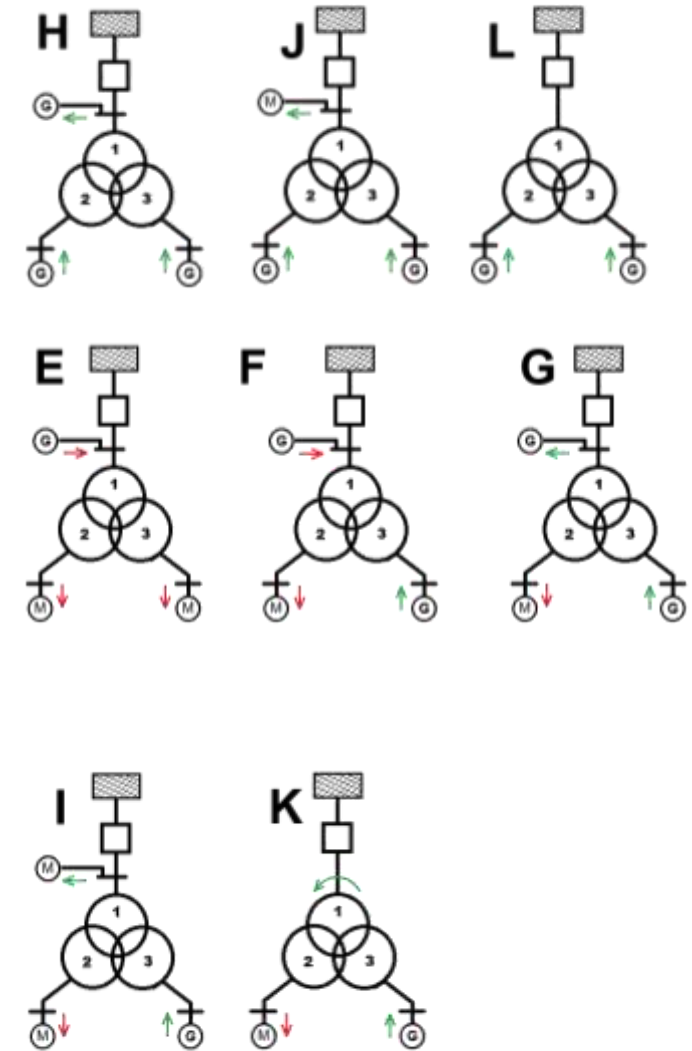
- Transformador conectado a la red (A, B, C, D)
 - La tensión de red impuesta.
 - El cambio de toma no afecta al nivel de Tensión del Primario.
 - Variable de control: Tensión más desfavorable de los secundarios (V2, V3)
→ Evitar sobretensiones que pudieran desconectar a los generadores.



Casos de Estudio

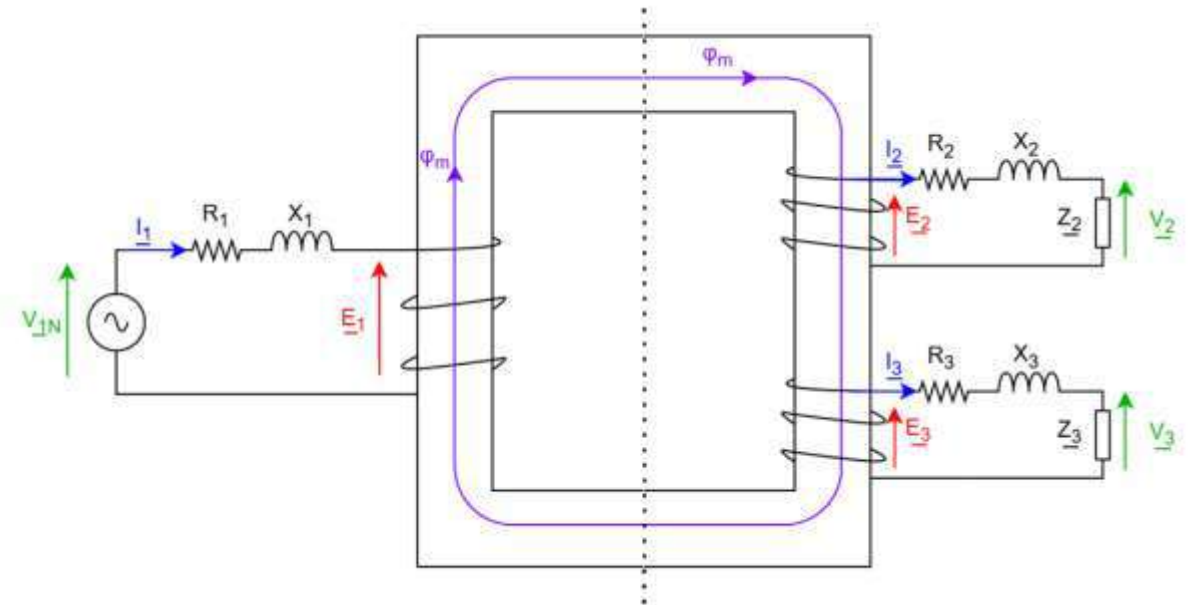
Transformador en modo isla

- Flujo de Potencia Saliente (H, J, L):
 - Variable de Control = V1; Relación de Tomas = Inversa
 - Si un secundario genera y el otro consume, se consideran dos situaciones:
- Con generación en el primario (E, F, G):
 - El primario recibe tensión del generador en isla, lo que permite regular la tensión del secundario consumidor.
 - Si los generadores del primario se desconectan, el caso equivale a I ó K.
 - Sin excedente (E, F):
 - Flujo de Potencia Entrante; Variable de Control = V2, V3; Relación de Tomas = Directa
 - Con excedente (G):
 - Flujo de Potencia Saliente; Variable de Control = V1; Relación de Tomas = Inversa
- Sin generación en el primario (I, K):
 - **No es posible regular la tensión del secundario consumidor**, ya que la relación entre secundarios es fija ($\approx 1:1$). La tensión en el consumidor (V2) será siempre menor que en el generador (V3), debido a la caída de tensión interna (Arnold [6], [7]).
 - Flujo de Potencia Saliente; Variable de Control = V1; Relación de Tomas = Inversa

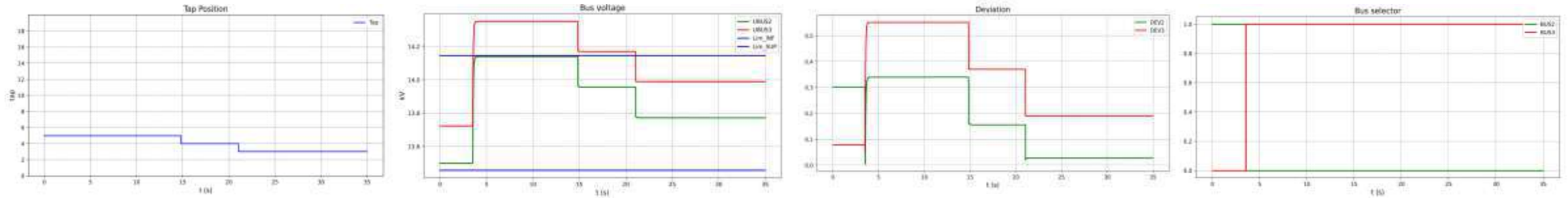


Ecuaciones de Arnold para Transformador de 3 Devanados

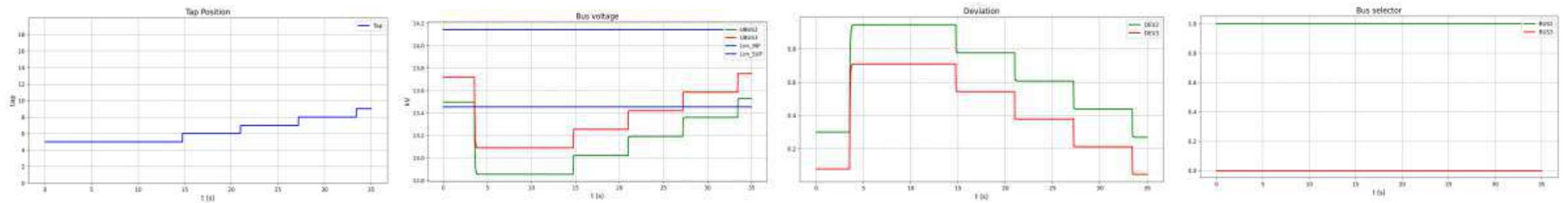
- $u_1 = u_{x1} \cdot \sin(\varphi_1) \cdot i_1 + \frac{i_1^2}{200} \cdot (u_{x1} \cdot \cos(\varphi_1))^2$ [3]
- $u'_2 = \frac{V_{2N} \cdot \left(1 - \frac{u_1}{100}\right) - V_2}{V_{2N}} \cdot 100 = u_{x2} \cdot \sin(\varphi_2) \cdot i_2 + \frac{i_2^2}{200 \cdot \left(1 - \frac{u_1}{100}\right)} \cdot (u_{x2} \cdot \cos(\varphi_2))^2$ [4]
- $u'_3 = \frac{V_{3N} \cdot \left(1 - \frac{u_1}{100}\right) - V_3}{V_{3N}} \cdot 100 = u_{x3} \cdot \sin(\varphi_3) \cdot i_3 + \frac{i_3^2}{200 \cdot \left(1 - \frac{u_1}{100}\right)} \cdot (u_{x3} \cdot \cos(\varphi_3))^2$ [5]
- $V_2 = V_{2N} \cdot \left(1 - \frac{u_1}{100} - \frac{u'_2}{100}\right)$ [6]
- $V_3 = V_{3N} \cdot \left(1 - \frac{u_1}{100} - \frac{u'_3}{100}\right)$ [7]



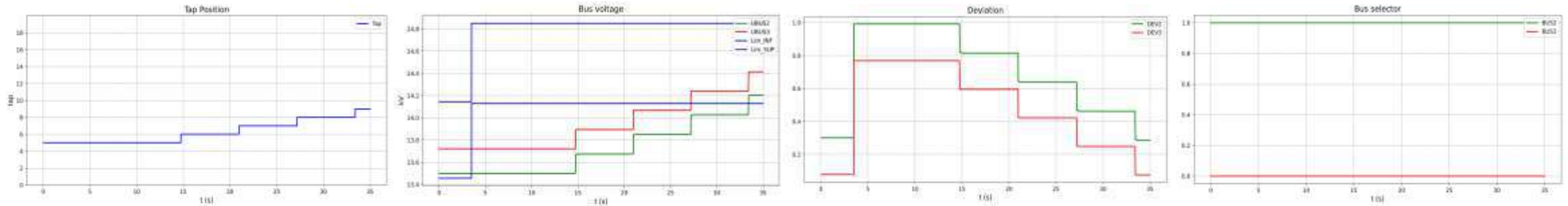
- Variaciones de tensión de +5kV



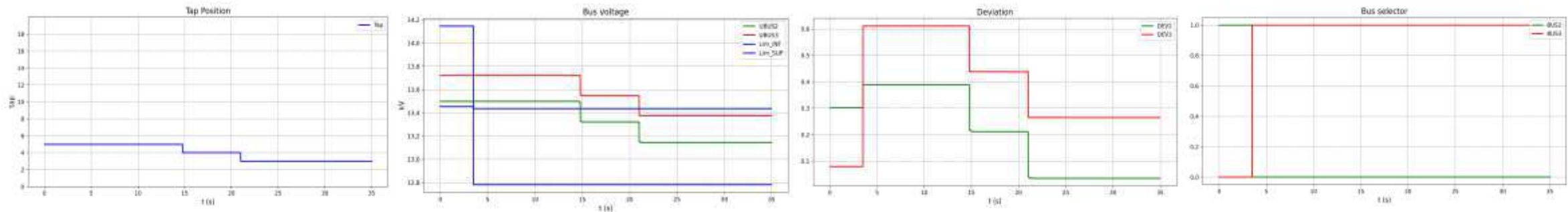
- Variaciones de tensión de -5kV



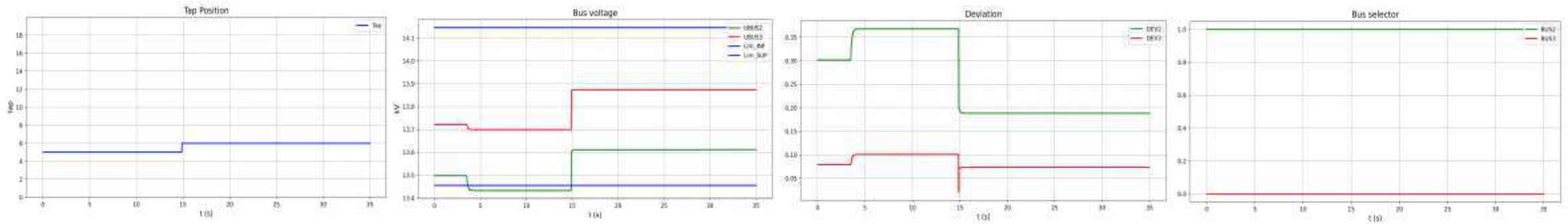
- Variaciones de consigna +5%



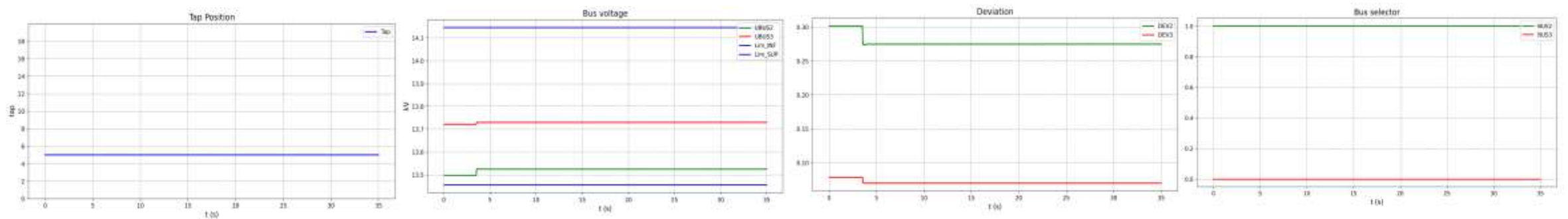
- Variaciones de consigna -5%



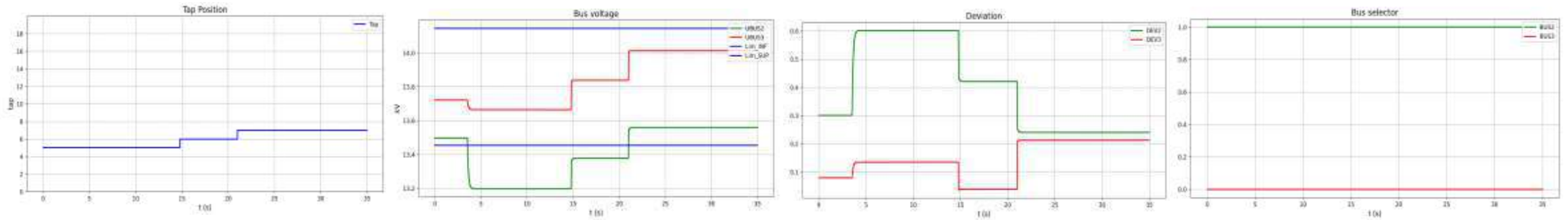
- Variaciones de carga P +25 MW (55 MW)



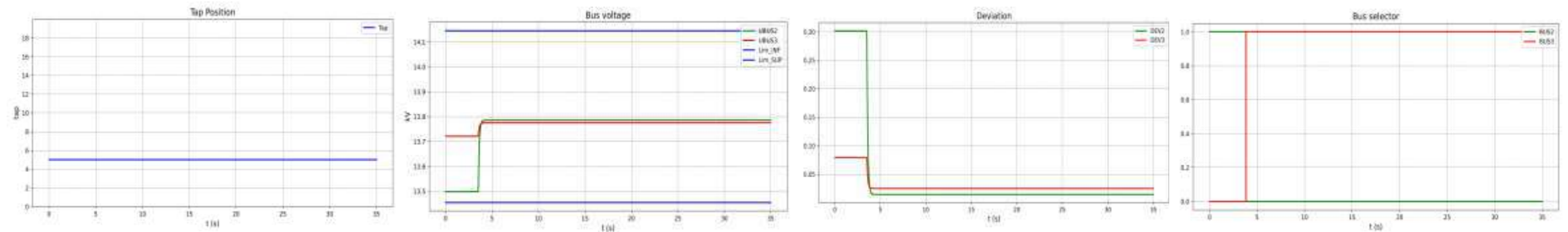
- Variaciones de carga P -25 MW (5 MW)



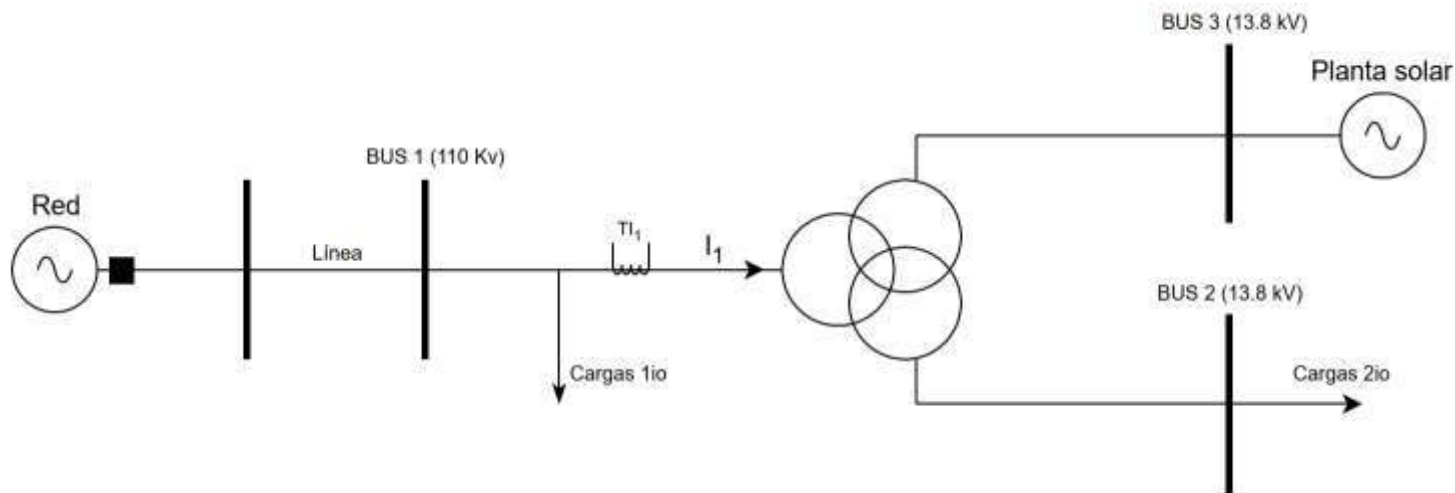
- Variaciones de carga Q +10 MVAR (19 MVAR)



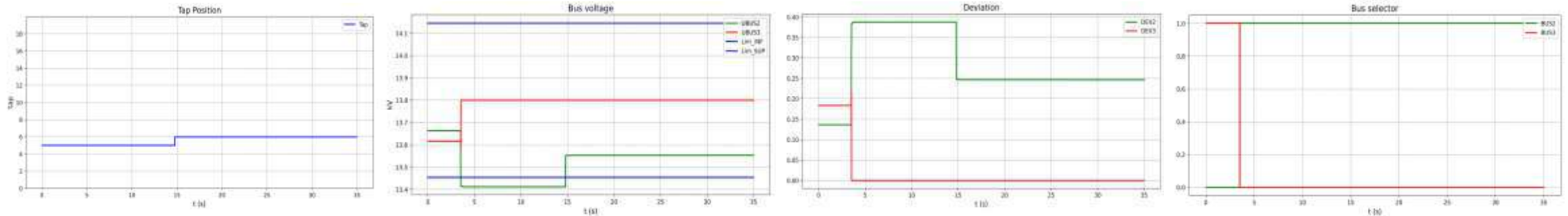
- Variaciones de carga Q -10 MVAR (-1 VAr)



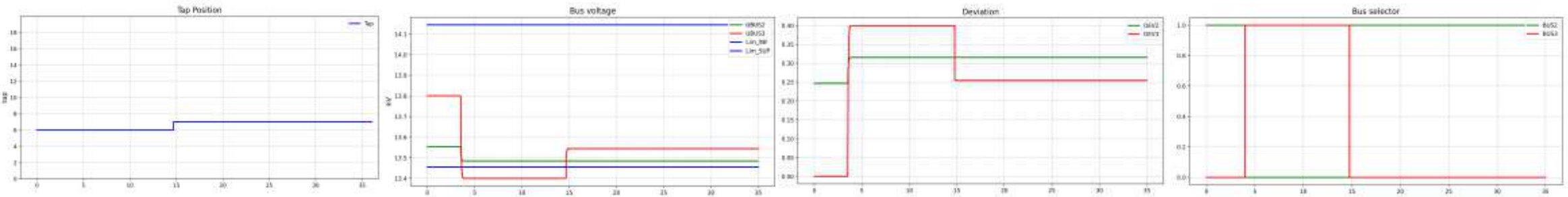
- **Inversiones de potencia debidas a la generación fotovoltaica.**
- Casos de estudio A y B: Algoritmo de control por tensión con mayor desvío (V2, V3). Cambio de Generación a Consumo.
- Casos de estudio F y G: Inversión de potencia en modo isla (V1) al pasar de generación sin excedente a generación con excedente de energía.



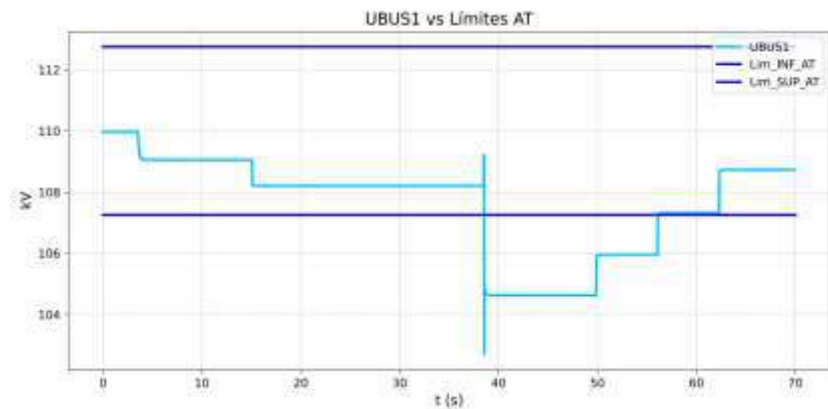
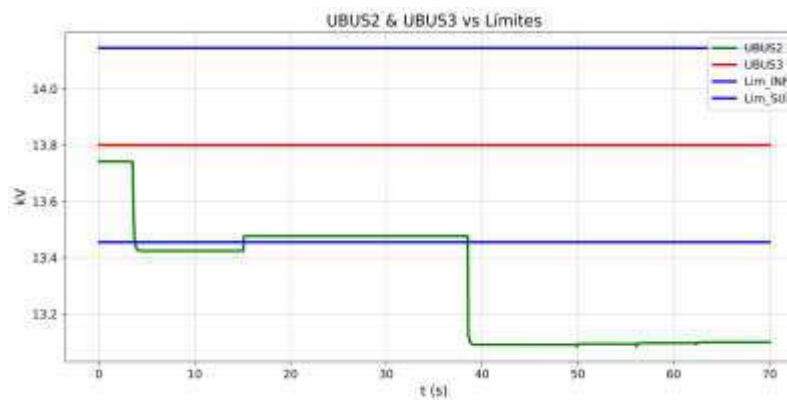
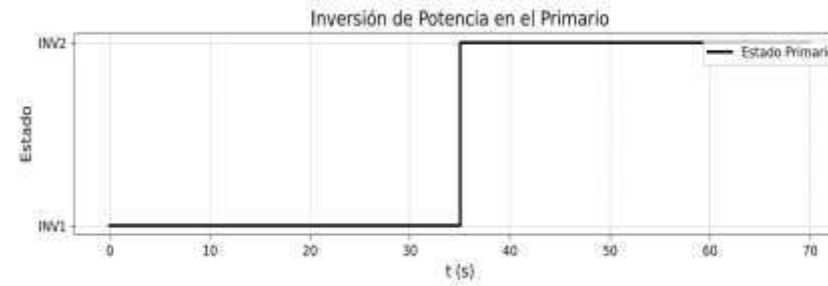
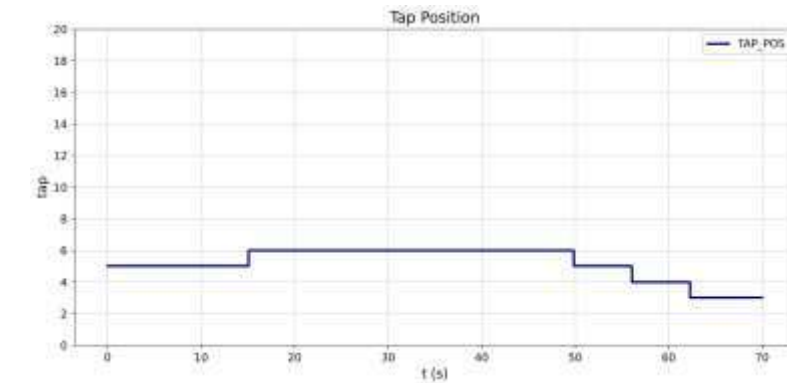
• Conectado a Red: Consumo (A) → Generación (B)



• Conectado a Red: Generación (B) → Consumo (A)



- Desconectado de Red: Generación sin excedentes (F) → Generación con excedentes (G)



Conclusiones

Los resultados obtenidos prueban la eficacia del nuevo algoritmo de control para adaptarse a distintas condiciones operativas.

En comparación con métodos tradicionales de regulación, el sistema propuesto mejora la estabilidad y permite una integración más eficiente de energías renovables en la red.

Los resultados demuestran que la estrategia propuesta asegura la estabilidad del sistema en escenarios de variaciones de tensión, cambios de potencia e inversiones de flujo.

A decorative graphic on the left side of the slide, featuring a teal-to-white gradient background with a faint, glowing circuit board pattern.

IV CONGRESO DE

REDES INTELIGENTES

I WEBINAR 26 DE FEBRERO 2026

A decorative graphic on the right side of the slide, featuring an orange-to-white gradient background with a faint, glowing circuit board pattern.

Gracias por su atención

A solid red horizontal bar at the bottom of the slide.