

Transformadores de Estado Sólido (SST)

Regulación de tensión y resiliencia mediante desacoplo activo

Felipe Agustín Cruelles García

19 de febrero de 2026

Análisis Dinámico y Control de Sistemas Eléctricos de Potencia

1. Introducción
2. Conceptos Previos
3. Transformadores de Estado Sólido
4. Características Principales
5. Arquitectura del SST
6. Ventajas y Desafíos
7. Conclusiones

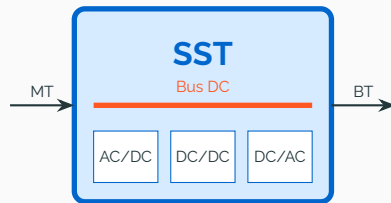
Introducción

¿Qué vamos a ver hoy?

- Una tendencia tecnológica **emergente** en el campo del control de tensión.
- Los **Transformadores de Estado Sólido (SST)**.
- Conocidos como *Solid State Transformers* en inglés.

Objetivo

Entender cómo esta tecnología revoluciona la distribución eléctrica.



Conceptos Previos

Recordatorio 1: Transformador Convencional

¿Qué hace?

- Transforma niveles de tensión en CA.
- Utiliza campos electromagnéticos.
- Dos devanados acoplados magnéticamente.

Importancia:

- Razón principal del uso de corriente alterna.
- Eficiencia energética en transmisión.



Insertar imagen de
transformador convencional

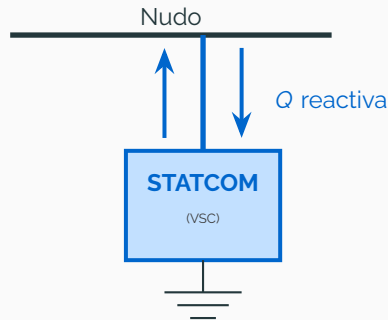
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Función principal:

- Control de tensión en la red.
- Mejora calidad del suministro.
- Intercambio de potencia reactiva.

Características:

- Conexión en **paralelo**.
- Basado en VSC (*Voltage Source Converters*).
- Consume solo potencia activa para pérdidas.



Clave

Conexión en **derivación**

Transformadores de Estado Sólido

¿Qué son los SST?

Definición

Los SST son equipos de paso que se conectan **en serie** al flujo de potencia, similar a los transformadores convencionales, pero usando electrónica de potencia.



STATCOM → Paralelo (Derivación) vs. SST → Serie (Paso)



Como Transformador

- ✓ Transforma tensión.
- ✓ Transfiere potencia activa.
- ✓ Aislamiento galvánico.

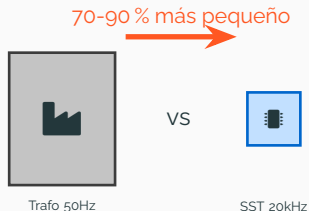
Como Compensador

- ✓ Control de factor de potencia.
- ✓ Regulación dinámica.
- ✓ Eliminación de armónicos.

Características Principales

Características Esenciales de los SST

1. **Transformación de tensión** con transmisión de potencia activa.
2. **Control de factor de potencia** activo.
3. **Regulación dinámica de tensión:**
 - Si entrada baja 10 % → salida mantiene 230V exactos.
 - Un trafo convencional no puede hacer esto sin configuración de cambio de tomas o de SVR (autotransformador regulador).
4. **Reducción drástica de peso y volumen:**
 - Opera entre 12 000 - 20 000 Hz (vs 50 Hz convencional).
 - Transformador físico mucho más pequeño.



5. Bus de corriente continua (DC):

- Conexión directa de paneles solares.
- Carga directa de VE sin rectificador externo.

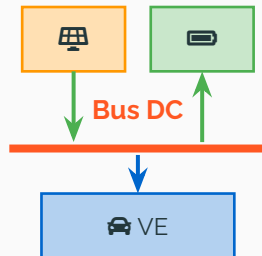
6. Eliminación de armónicos.

7. Clave para SmartGrids:

- Control total del flujo (bidireccional).

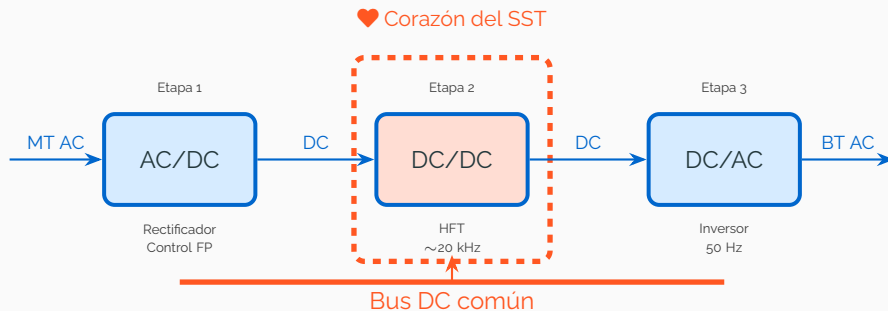
Aplicación

Principalmente en redes de **Media y Baja Tensión** (límites actuales de semiconductores).



Arquitectura del SST

Esquema Típico de un SST



Ventaja Clave

Las tres etapas conectadas en serie permiten **control total** y un **transformador físico miniaturizado**.

Etapa 2: El “Corazón” (DC/DC Alta Frecuencia)

Componentes

- Inversor DC/AC (alta frecuencia).
- **Transformador de Alta Frecuencia (HFT).**
- Rectificador AC/DC.

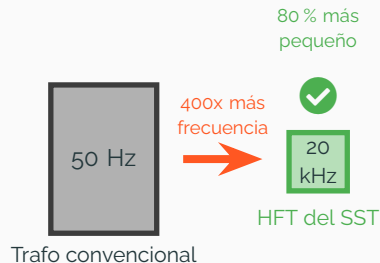
Ventaja del HFT: Al operar a ~ 20 kHz, el núcleo magnético es **minúsculo** vs. uno de 50 Hz, manteniendo aislamiento galvánico.

La Física detrás

Ecuación fundamental del transformador

$$B = \frac{V}{4,44 \cdot f \cdot N \cdot A}$$

Mayor $f \rightarrow$ menor área o menor N de espiras.



Proceso de Conversión Completo



La Clave

Pasar por **Alta Frecuencia** intermedia permite reducir el tamaño físico drásticamente manteniendo aislamiento galvánico.

Ventajas y Desafíos

Comparativa: Trafo Convencional vs SST

Parámetro	Trafo Convencional	SST	
Peso	100 %	5-30 %	Mejor
Volumen	100 %	10-30 %	Mejor
Regulación	Tap manual	Instantánea	Mejor
Tensión	AT, MT, BT	MT y BT	Algo peor
Eficiencia	99,5 %	>97 %	Algo peor
Coste	Bajo	Alto	Peor
Inercia	Alta	Nula	Peor

Conclusión Comparativa

El SST supera al transformador convencional en **compensación, control y funcionalidad**, pero requiere reducción de costes para despliegue masivo.

Conclusiones



Hoja de ruta:

- 🧪 Tecnología probada pero cara.
- 📊 Necesario reducir costes de semiconductores.
- 🏙️ Futuro estándar para las *Smart Cities*.
- 📈 Aplicaciones nicho: VE, renovables, microrredes.

Visión 2030–2040

Los SST serán el **estándar** en distribución urbana, integrando generación distribuida, almacenamiento y movilidad eléctrica.

Aplicaciones actuales:

- ⚡ Estaciones de carga ultrarrápida VE.
- 🏠 Microredes con renovables.
- 🏭 Industrias con calidad crítica.
- 🚂 Tracción naval/ferroviaria.

Futuro cercano:

- 🏙️ Distribución urbana inteligente.
- 🏢 Edificios con gestión energética.
- 📊 Centros de datos eficientes.
- ✈️ Aviación eléctrica (potencia).



¿Preguntas?

Felipe Agustín Cruelles García

Muchas gracias por vuestra atención