

Transformadores de Estado Sólido (SST)

Innovación tecnológica en control de tensión

Tu Nombre

16 de febrero de 2026

ADCE



Contenido

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

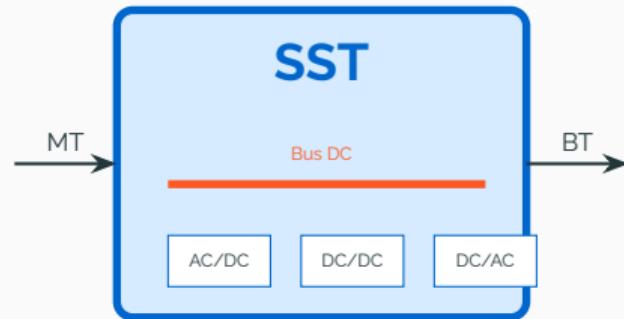
Introducción

¿Qué vamos a ver hoy?

- Una tendencia tecnológica **emergente** en el campo del control de tensión.

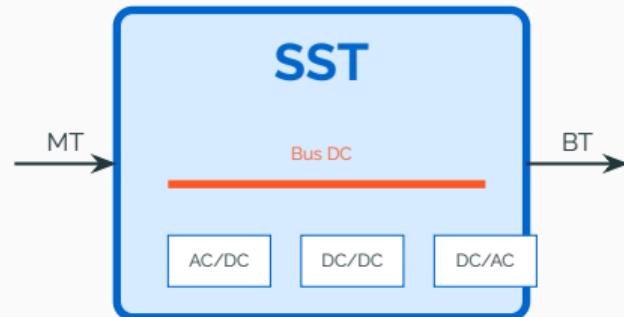
¿Qué vamos a ver hoy?

- Una tendencia tecnológica **emergente** en el campo del control de tensión.
- Los **Transformadores de Estado Sólido (SST)**.



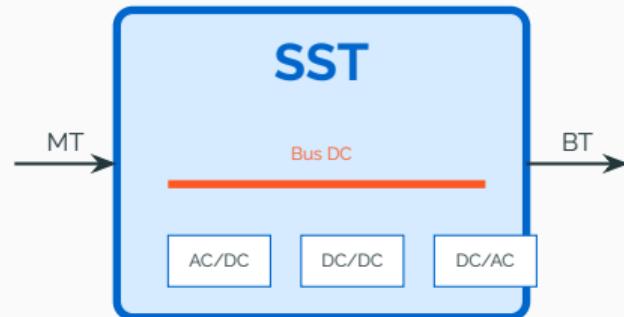
¿Qué vamos a ver hoy?

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



¿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

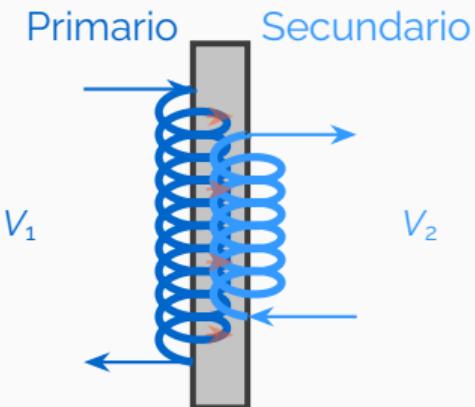
¿Qué hace?

- Transforma niveles de tensión en CA.

Recordatorio 1: Transformador Convencional

¿Qué hace?

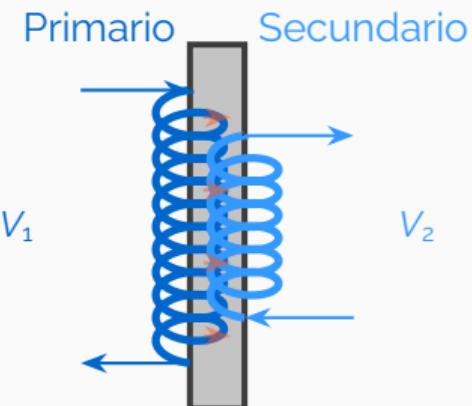
- Transforma niveles de tensión en CA.
- Utiliza campos electromagnéticos.



Recordatorio 1: Transformador Convencional

¿Qué hace?

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



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

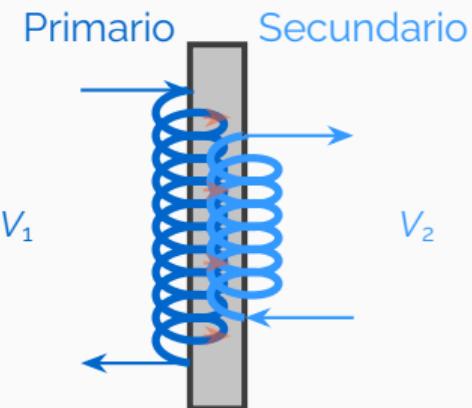
Recordatorio 1: Transformador Convencional

¿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.



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

Recordatorio 2: STATCOM

Función principal:

- Control de tensión en la red.

Red



Recordatorio 2: STATCOM

Función principal:

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

Red



Recordatorio 2: STATCOM

Función principal:

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

Red



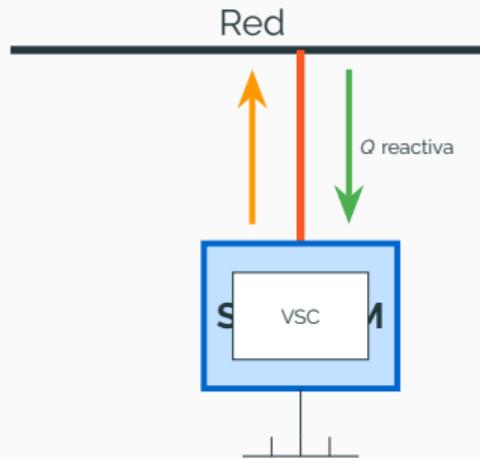
Recordatorio 2: STATCOM

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*).
- Consumo 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.



Red MT



Red BT

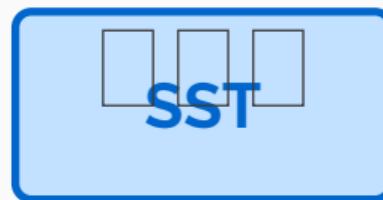
¿Qué son los SST?

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.



Red MT

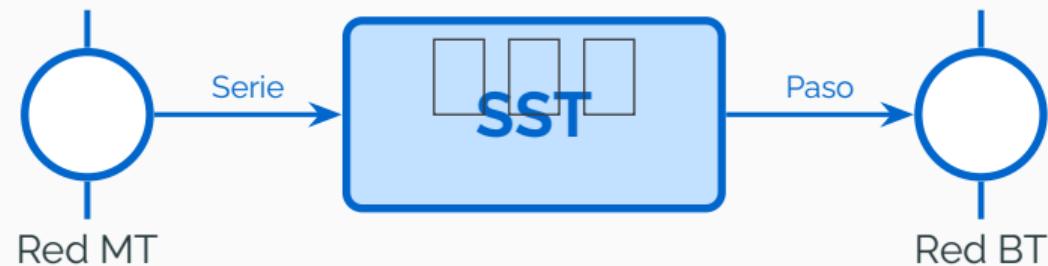


Red BT

¿Qué son los SST?

Definición

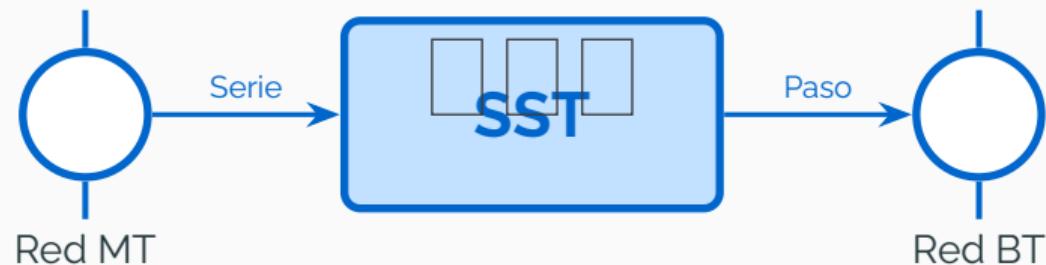
Los SST son equipos de paso que se conectan **en serie** al flujo de potencia, similar a los transformadores convencionales, pero usando electrónica de potencia.



¿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)

$$\text{SST} = +$$



Como Transformador

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

Funcionalidad Híbrida



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.

Características Esenciales de los SST

1. **Transformación de tensión** con transmisión de potencia activa.
2. **Control de factor de potencia** activo.

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 tap-changers lentos).

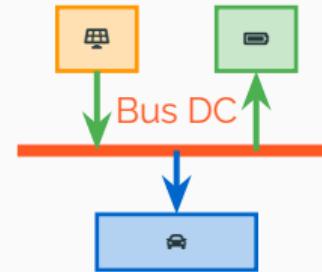
Características Esenciales de los SST

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 tap-changers lentos).
4. **Reducción drástica de peso y volumen:**
 - Opera a $\sim 20,000$ Hz (vs 50 Hz convencional).
 - Transformador físico mucho más pequeño.



5. Bus de corriente continua (DC):

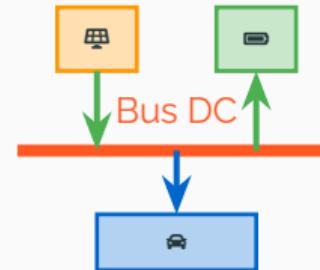
- Conexión directa de paneles solares.
- Carga directa de VE sin rectificador externo.



5. Bus de corriente continua (DC):

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

6. Eliminación de armónicos.



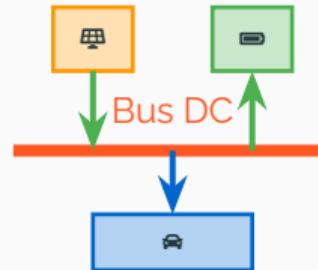
5. Bus de corriente continua (DC):

- 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).

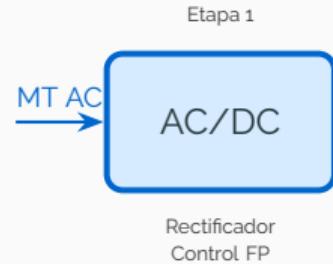


Aplicación

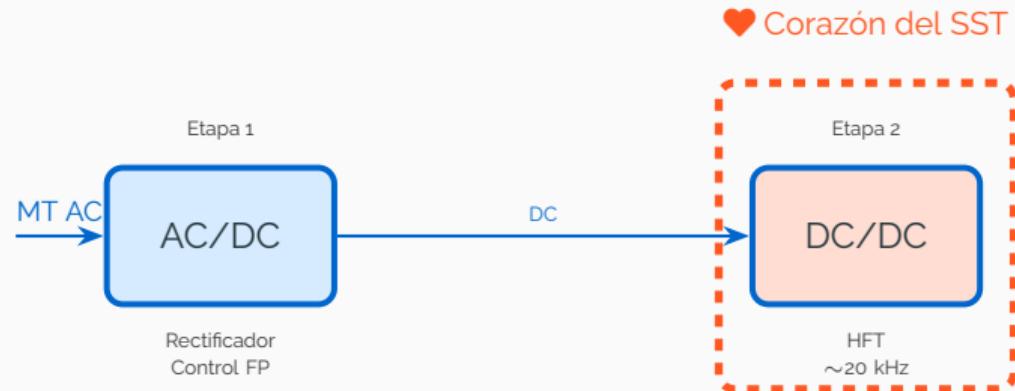
Principalmente en redes de **Media y Baja Tensión** (límites actuales de semiconductores).

Arquitectura del SST

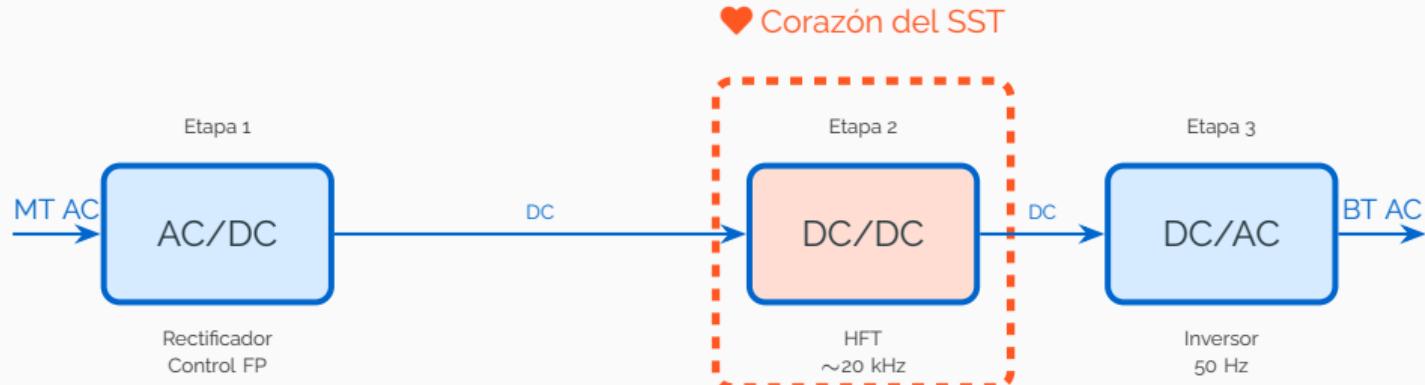
Esquema Típico de un SST



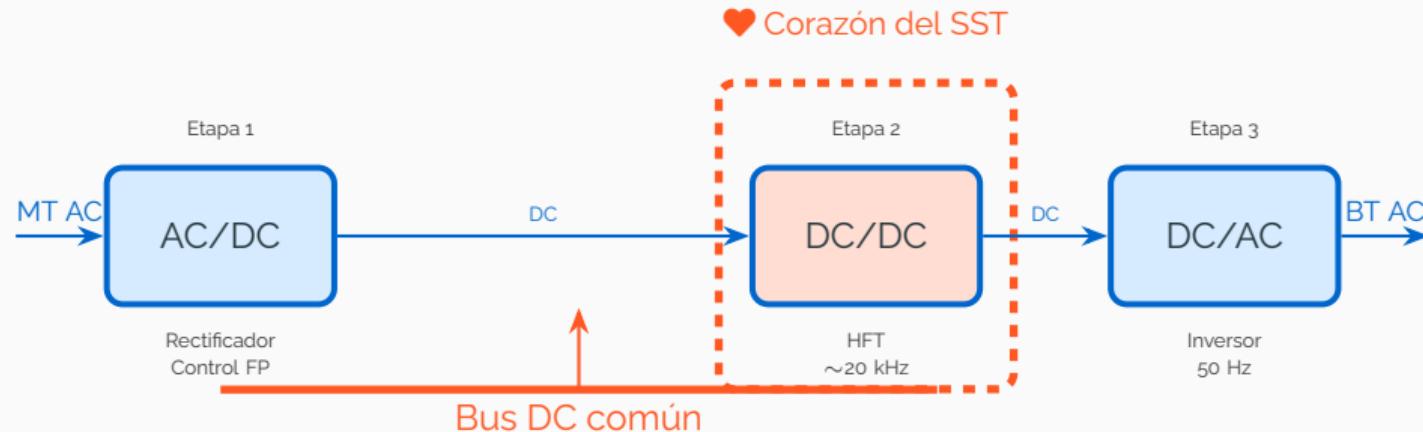
Esquema Típico de un SST



Esquema Típico de un 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

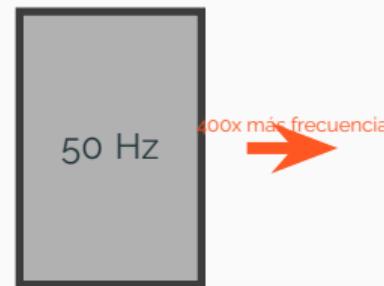
- Inversor DC/AC (alta frecuencia).
- **Transformador de Alta Frecuencia (HFT).**
- Rectificador AC/DC.

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 necesario es **minúsculo** comparado con uno de 50 Hz, manteniendo el aislamiento galvánico.



Trafo convencional

Etapa 2: El "Corazón"(DC/DC Alta Frecuencia)

Componentes

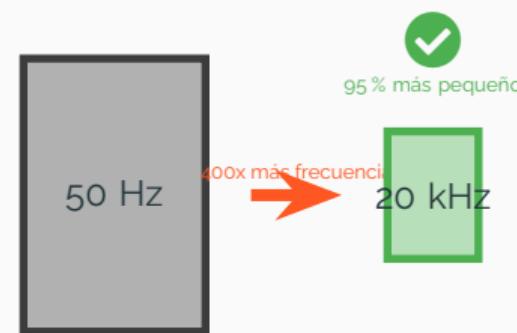
- Inversor DC/AC (alta frecuencia).
- **Transformador de Alta Frecuencia (HFT).**
- Rectificador AC/DC.

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

La Física detrás

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

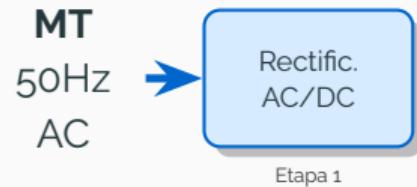
Mayor frecuencia \rightarrow menor área del núcleo.



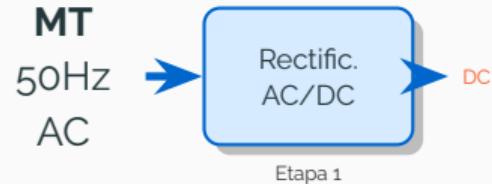
Trafo convencional

HFT del SST

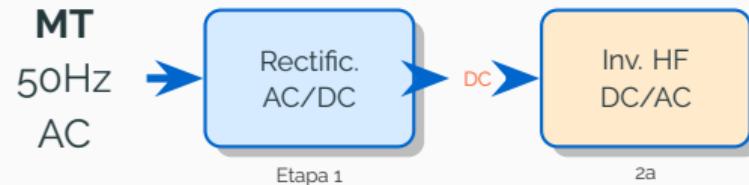
Proceso de Conversión Completo



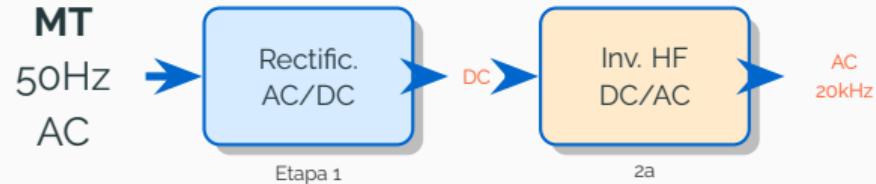
Proceso de Conversión Completo



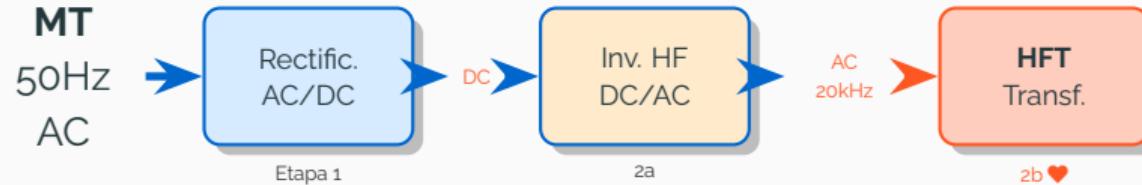
Proceso de Conversión Completo



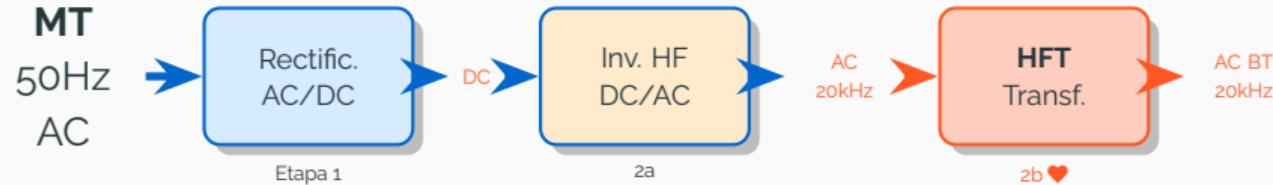
Proceso de Conversión Completo



Proceso de Conversión Completo



Proceso de Conversión Completo



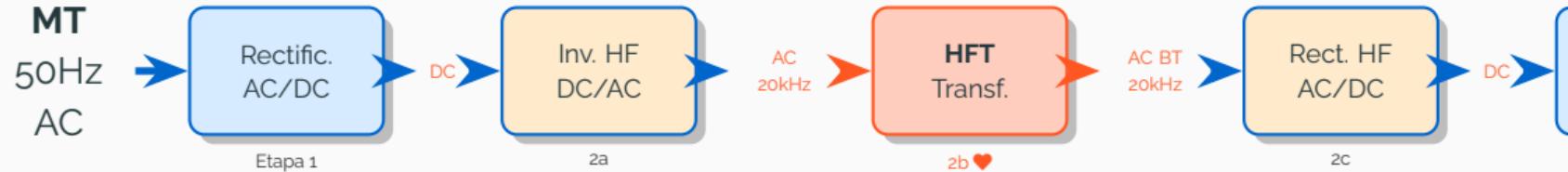
Proceso de Conversión Completo



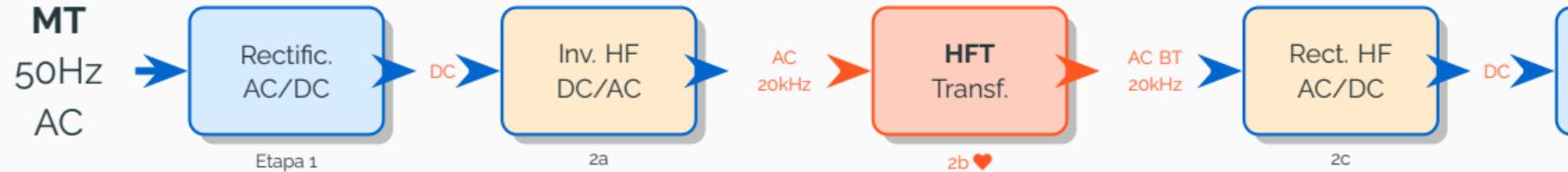
Proceso de Conversión Completo



Proceso de Conversión Completo



Proceso de Conversión Completo



Proceso de Conversión Completo



La Clave

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

Ventajas y Desafíos

Resumen: Pros y Contras

Ventajas

Desafíos

-  Tamaño y peso reducidos (70-95 %).

Resumen: Pros y Contras

Ventajas

- ✓ Tamaño y peso reducidos (70-95 %).
- ✓ Control instantáneo de voltaje.

Desafíos

Resumen: Pros y Contras

Ventajas

Desafíos

- ✓ Tamaño y peso reducidos (70-95 %).
- ✓ Control instantáneo de voltaje.
- ✓ Bus DC integrado (Renovables/VE).

Resumen: Pros y Contras

Ventajas

Desafíos

- ✓ Tamaño y peso reducidos (70-95 %).
- ✓ Control instantáneo de voltaje.
- ✓ Bus DC integrado (Renovables/VE).
- ✓ Bidireccionalidad total.

Resumen: Pros y Contras

Ventajas

Desafíos

- ✓ Tamaño y peso reducidos (70-95 %).
- ✓ Control instantáneo de voltaje.
- ✓ Bus DC integrado (Renovables/VE).
- ✓ Bidireccionalidad total.
- ✓ Eliminación de armónicos.

Resumen: Pros y Contras

Ventajas

Desafíos

- ✓ Tamaño y peso reducidos (70-95 %).
- ✓ Control instantáneo de voltaje.
- ✓ Bus DC integrado (Renovables/VE).
- ✓ Bidireccionalidad total.
- ✓ Eliminación de armónicos.
- ✓ Ideal para SmartGrids.

Resumen: Pros y Contras

Ventajas

- ✓ Tamaño y peso reducidos (70-95 %).
- ✓ Control instantáneo de voltaje.
- ✓ Bus DC integrado (Renovables/VE).
- ✓ Bidireccionalidad total.
- ✓ Eliminación de armónicos.
- ✓ Ideal para SmartGrids.

Desafíos

- ✗ **Coste elevado:** Semiconductores (SiC, GaN).

Resumen: Pros y Contras

Ventajas

- ✓ Tamaño y peso reducidos (70-95 %).
- ✓ Control instantáneo de voltaje.
- ✓ Bus DC integrado (Renovables/VE).
- ✓ Bidireccionalidad total.
- ✓ Eliminación de armónicos.
- ✓ Ideal para SmartGrids.

Desafíos

- ✗ **Coste elevado:** Semiconductores (SiC, GaN).
- ✗ **Pérdidas:** Ligeramente mayores (etapas múltiples).

Resumen: Pros y Contras

Ventajas

- ✓ Tamaño y peso reducidos (70-95 %).
- ✓ Control instantáneo de voltaje.
- ✓ Bus DC integrado (Renovables/VE).
- ✓ Bidireccionalidad total.
- ✓ Eliminación de armónicos.
- ✓ Ideal para SmartGrids.

Desafíos

- ✗ **Coste elevado:** Semiconductores (SiC, GaN).
- ✗ **Pérdidas:** Ligeramente mayores (etapas múltiples).
- ✗ **Limitación de tensión:** Solo MT/BT actualmente.

Resumen: Pros y Contras

Ventajas

- ✓ Tamaño y peso reducidos (70-95 %).
- ✓ Control instantáneo de voltaje.
- ✓ Bus DC integrado (Renovables/VE).
- ✓ Bidireccionalidad total.
- ✓ Eliminación de armónicos.
- ✓ Ideal para SmartGrids.

Desafíos

- ✗ **Coste elevado:** Semiconductores (SiC, GaN).
- ✗ **Pérdidas:** Ligeramente mayores (etapas múltiples).
- ✗ **Limitación de tensión:** Solo MT/BT actualmente.
- ✗ **Pérdida de inercia:** Sin masa rotatoria, menor estabilidad ante perturbaciones.

Resumen: Pros y Contras

Ventajas

- ✓ Tamaño y peso reducidos (70-95 %).
- ✓ Control instantáneo de voltaje.
- ✓ Bus DC integrado (Renovables/VE).
- ✓ Bidireccionalidad total.
- ✓ Eliminación de armónicos.
- ✓ Ideal para SmartGrids.

Desafíos

- ✗ **Coste elevado:** Semiconductores (SiC, GaN).
- ✗ **Pérdidas:** Ligeramente mayores (etapas múltiples).
- ✗ **Limitación de tensión:** Solo MT/BT actualmente.
- ✗ **Pérdida de inercia:** Sin masa rotatoria, menor estabilidad ante perturbaciones.



Comparativa Visual: Trafo vs SST

	Transformador Convencional	SST
Peso:	100 %	5-30 %
Volumen:	100 %	10-30 %
Regulación:	Tap manual	Instantánea
Eficiencia:	99.5 %	>97 %
Coste:	Bajo	Alto

Comparativa Visual: Trafo vs SST

	Transformador Convencional	SST	
Peso:	100 %	5-30 %	↑
Volumen:	100 %	10-30 %	↑
Regulación:	Tap manual	Instantánea	↑
Eficiencia:	99.5 %	>97 %	↓
Coste:	Bajo	Alto	↓

Comparativa Visual: Trafo vs SST

	Transformador Convencional	SST	
Peso:	100 %	5-30 %	↑
Volumen:	100 %	10-30 %	↑
Regulación:	Tap manual	Instantánea	↑
Eficiencia:	99.5 %	>97 %	↓
Coste:	Bajo	Alto	↓

Conclusión Comparativa

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

Conclusiones

Potencial Transformador de los SST

Potencial Transformador de los SST

Transformación
+ Compensación



Potencial Transformador de los SST

Transformación
+ Compensación

Compacto e
Inteligente

Potencial Transformador de los SST

Transformación
+ Compensación

Compacto e
Inteligente

SmartGrids
del futuro

Potencial Transformador de los SST

Transformación
+ Compensación

Compacto e
Inteligente

SmartGrids
del futuro

Hoja de ruta:

- 🧪 Tecnología probada pero cara.
- ⌚ Necesario reducir costes de carburo de silicio (SiC) y GaN.
- 🏢 Futuro estándar para las *Smart Cities*.
- 📈 Aplicaciones nicho: VE, renovables, microredes.

Potencial Transformador de los SST

Transformación + Compensación Compacto e Inteligente SmartGrids del futuro

Hoja de ruta:

- 🧪 Tecnología probada pero cara.
- ⌚ Necesario reducir costes de carburo de silicio (SiC) y GaN.
- 🏢 Futuro estándar para las *Smart Cities*.
- 📈 Aplicaciones nicho: VE, renovables, microredes.

Visión 2030-2040

Los SST serán el **estándar** en distribución urbana, integrando generación distribuida,

Aplicaciones Actuales y Futuras

Aplicaciones actuales:

- ⚡ Estaciones de carga ultrarrápida VE.

Futuro cercano:

Aplicaciones Actuales y Futuras

Aplicaciones actuales:

- ⚡ Estaciones de carga ultrarrápida VE.
- ernetes Microredes con renovables.

Futuro cercano:

Aplicaciones Actuales y Futuras

Aplicaciones actuales:

- ⚡ Estaciones de carga ultrarrápida VE.
- 再生能源 Microredes con renovables.
- Factories Industrias con calidad crítica.

Futuro cercano:

Aplicaciones actuales:

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

Futuro cercano:

Aplicaciones Actuales y Futuras

Aplicaciones actuales:

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

Futuro cercano:

-  Distribución urbana inteligente.

Aplicaciones Actuales y Futuras

Aplicaciones actuales:

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

Futuro cercano:

- 🏢 Distribución urbana inteligente.
- 🏢 Edificios con gestión energética.

Aplicaciones Actuales y Futuras

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.

Aplicaciones Actuales y Futuras

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).

Aplicaciones Actuales y Futuras

Aplicaciones actuales:

- ⚡ Estaciones de carga ultrarrápida VE.
- 再生能源 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?

email@instituto.com

Gracias por vuestra atención