

# Transformadores de Estado Sólido (SST)

Innovación tecnológica en control de tensión

---

Tu Nombre

16 de febrero de 2026

ADCE



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

# Introducción

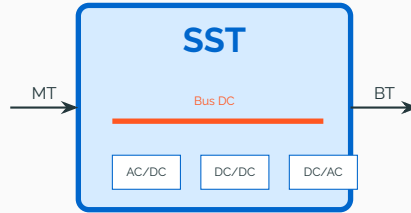
---

## ¿Qué vamos a ver hoy?

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

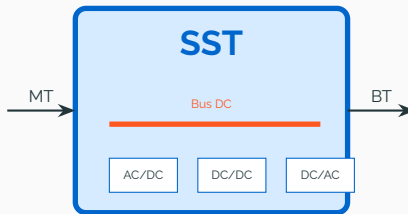
## ¿Qué vamos a ver hoy?

- 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.

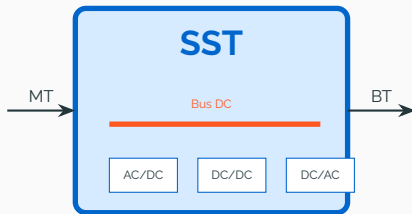


# ¿Qué vamos a ver hoy?

- 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

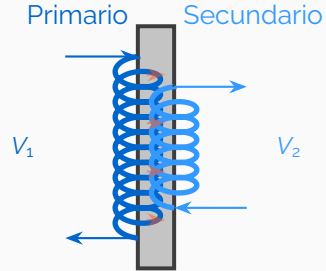
## ¿Qué hace?

- Transforma niveles de tensión en CA.

# Recordatorio 1: Transformador Convencional

## ¿Qué hace?

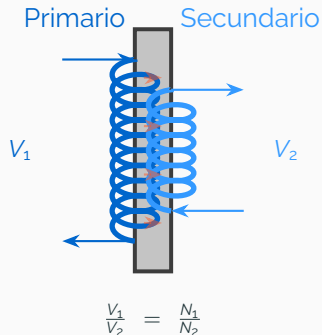
- Transforma niveles de tensión en CA.
- Utiliza campos electromagnéticos.



# Recordatorio 1: Transformador Convencional

## ¿Qué hace?

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



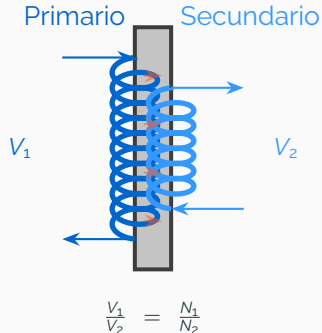
# Recordatorio 1: Transformador Convencional

## ¿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.



## Función principal:

- Control de tensión en la red.

Red



### Función principal:

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

Red



The diagram illustrates a STATCOM (Static Synchronous Compensator) connected to a power grid. A thick horizontal line represents the 'Red' (grid). Below this line, a vertical line represents the STATCOM device. At the base of the STATCOM, there are three small vertical lines extending downwards, representing its connection to the ground or a neutral point.

### Función principal:

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

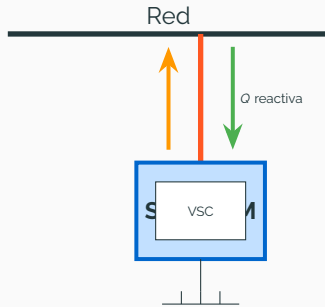


### Función principal:

- 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.



Red MT



Red BT

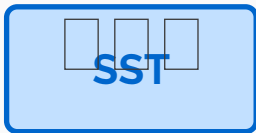
# ¿Qué son los SST?

## 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

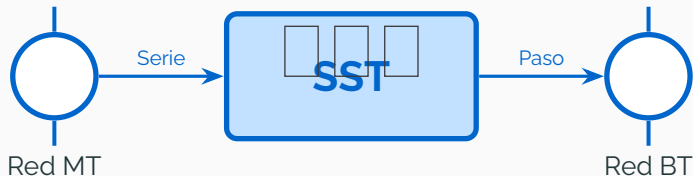


Red BT

# ¿Qué son los SST?

## Definición

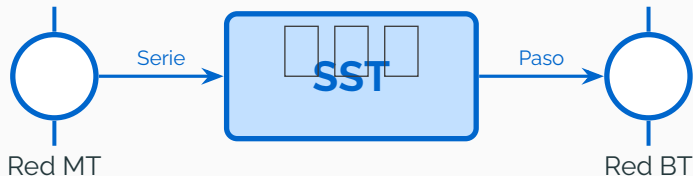
Los SST son equipos de paso que se conectan **en serie** al flujo de potencia, similar a los transformadores convencionales, pero usando electrónica de potencia.



# ¿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)

SST = +

$$\text{SST} = \text{Transformador} +$$

## Como Transformador

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



## 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

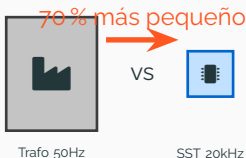
1. **Transformación de tensión** con transmisión de potencia activa.
2. **Control de factor de potencia** activo.

# 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).

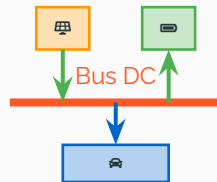
# Características Esenciales de los SST

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 ~20,000 Hz (vs 50 Hz convencional).
  - Transformador físico mucho más pequeño.



## 5. **Bus de corriente continua (DC):**

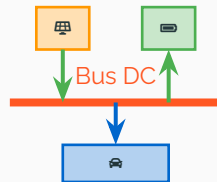
- Conexión directa de paneles solares.
- Carga directa de VE sin rectificador externo.



## 5. **Bus de corriente continua (DC):**

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

## 6. **Eliminación de armónicos.**



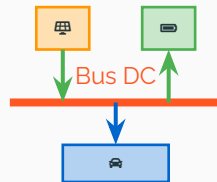
## 5. **Bus de corriente continua (DC):**

- 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**

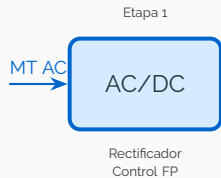
Principalmente en redes de **Media y Baja Tensión** (límites actuales de semiconductores).



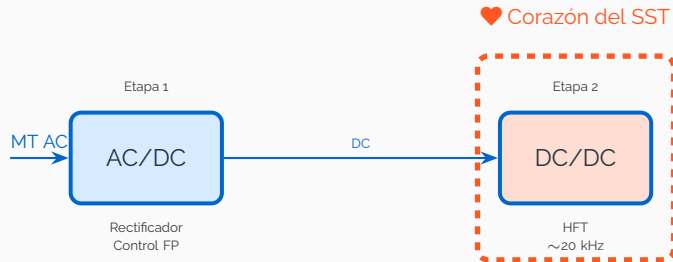
# Arquitectura del SST

---

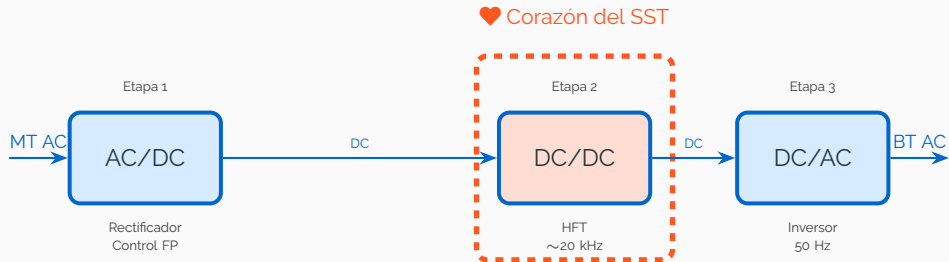
# Esquema Típico de un SST



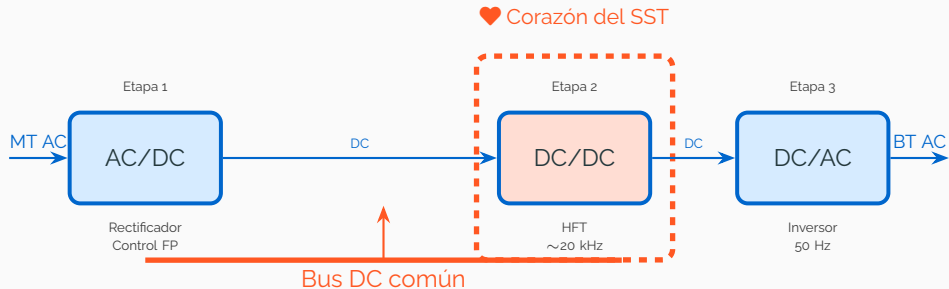
# Esquema Típico de un SST



# 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 Çorazón"(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  $\sim 20$  kHz, el núcleo magnético necesario es **minúsculo** comparado con uno de 50 Hz, manteniendo el aislamiento galvánico.



Trafo convencional

## Etapa 2: El Çorazón"(DC/DC Alta Frecuencia)

### Componentes

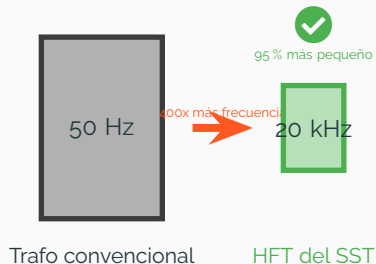
- Inversor DC/AC (alta frecuencia).
- **Transformador de Alta Frecuencia (HFT).**
- Rectificador AC/DC.

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

### La Física detrás

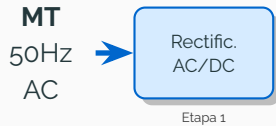
$$B = \frac{V}{4,44 \cdot f \cdot N \cdot A}$$

Mayor frecuencia  $\rightarrow$  menor área del núcleo.

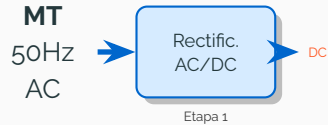




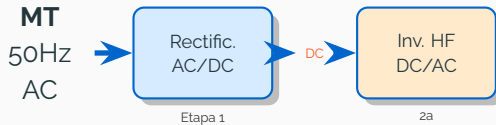
# Proceso de Conversión Completo



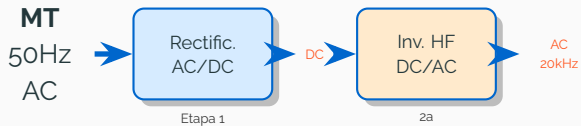
# Proceso de Conversión Completo



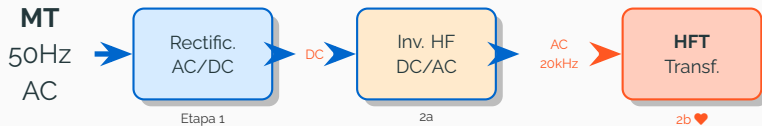
# Proceso de Conversión Completo



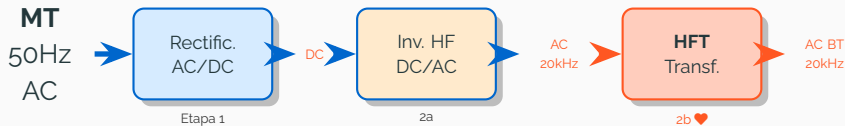
# Proceso de Conversión Completo



# Proceso de Conversión Completo



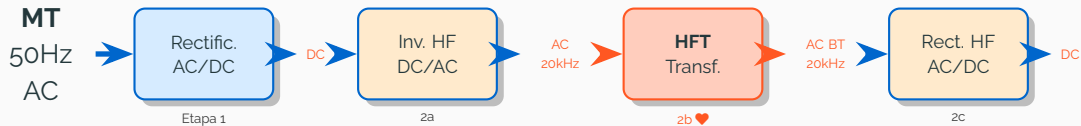
# Proceso de Conversión Completo



# 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

- ✓ Tamaño y peso reducidos (70-95 %).

## Desafíos

# Resumen: Pros y Contras

## Ventajas

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

## Desafíos

# Resumen: Pros y Contras

## Ventajas

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

## Desafíos

# Resumen: Pros y Contras

## Ventajas

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

## Desafíos



# 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.

## Desafíos

# 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

# 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

	<b>Transformador Convencional</b>	<b>SST</b>
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

---

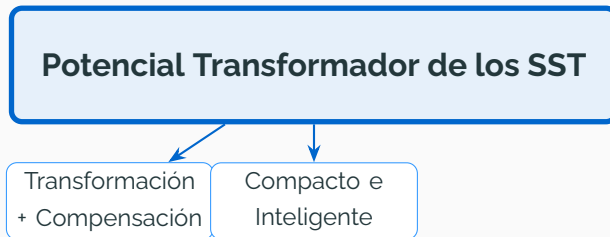
**Potencial Transformador de los SST**

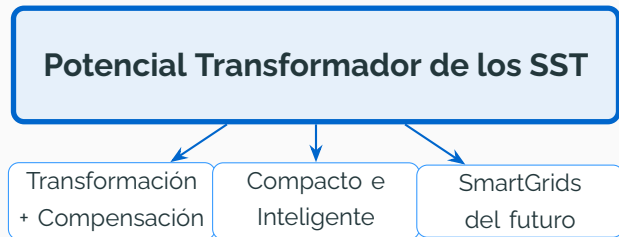
**Potencial Transformador de los SST**

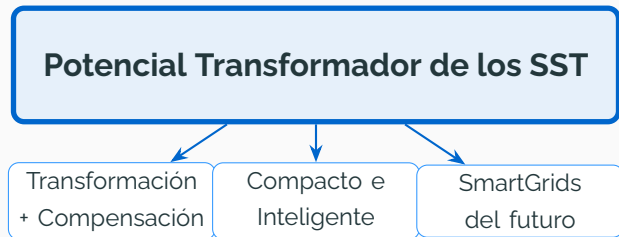
Transformación  
+ Compensación



```
graph TD; A[Potencial Transformador de los SST] --> B[Transformación + Compensación]
```



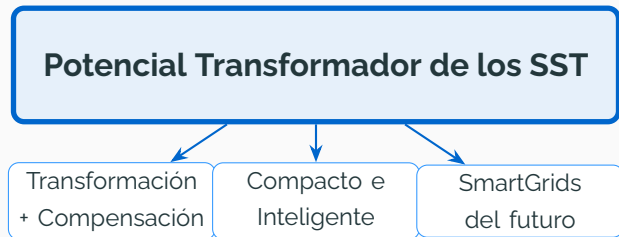




## Hoja de ruta:

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





## 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, microrredes.

## Visión 2030-2040



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

## Aplicaciones actuales:

- ⚡ Estaciones de carga ultrarrápida VE.




## Futuro cercano:

## Aplicaciones actuales:

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





## Futuro cercano:

## Aplicaciones actuales:

-  Estaciones de carga ultrarrápida VE.
-  Microredes con renovables.
-  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:

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



## Futuro cercano:

-  Distribución urbana inteligente.





## 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.

## 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:

-  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.
- 🏠 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](mailto:email@instituto.com)

**Gracias por vuestra atención**