



Asociación Latinoamericana de
Metros y Subterráneos

Subestaciones de rectificación para tracción eléctrica con tensión controlada y recuperación de la energía de frenado



Productos

Aplicaciones

Soluciones

Ventajas



Subestaciones de rectificación para tracción eléctrica con tensión controlada y recuperación de la energía de frenado

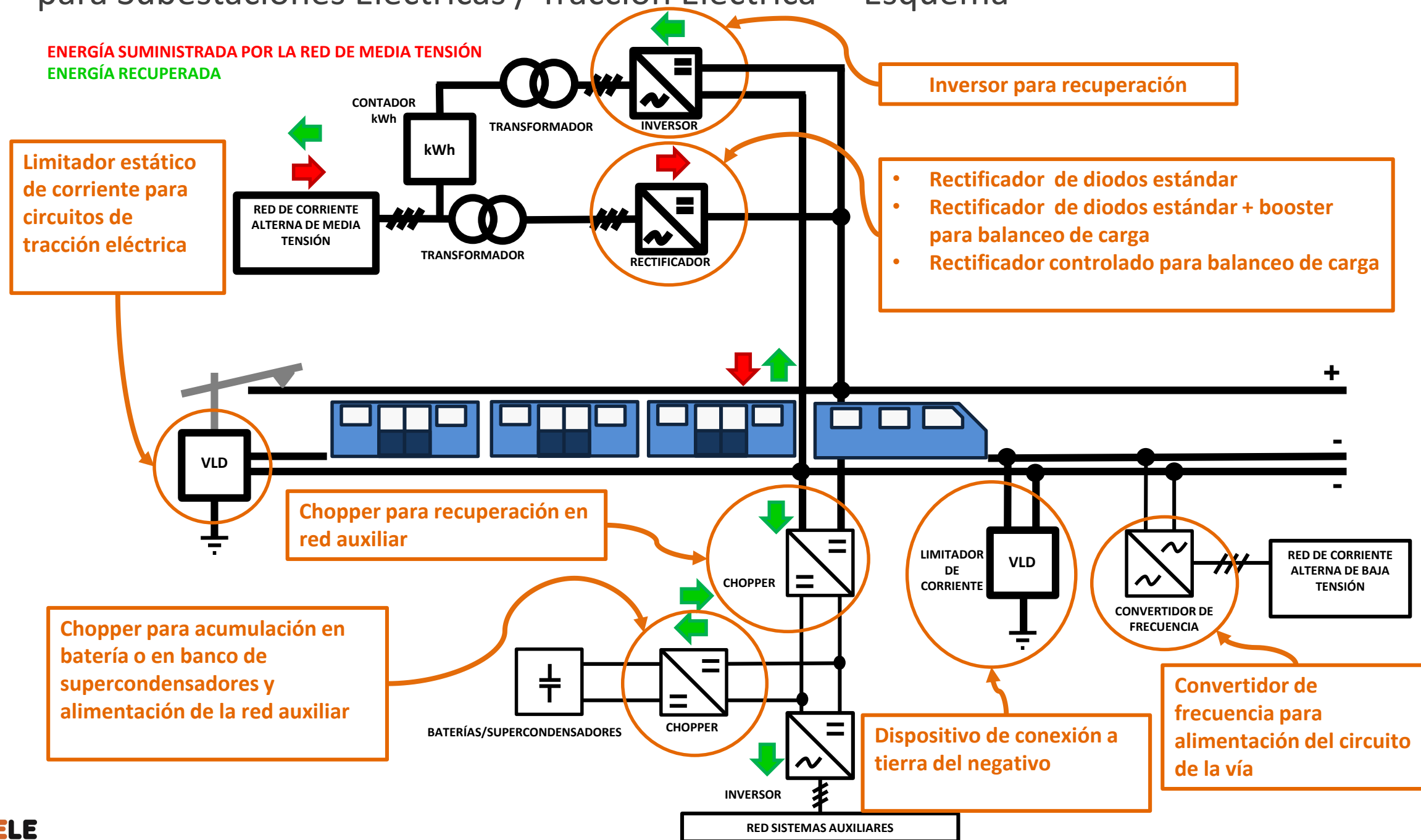
- 1.- División Conversión de Energía
 - 2.- Convertidores MONT-ELE para Subestaciones Eléctricas / Tracción Eléctrica
 - 3.- Ventajas del Uso del Booster y del Rectificador Controlado con respecto al Rectificador Estándar
 - 4.- Sistemas de Recuperación de Energía
 - 5.- Ventajas de los Sistemas de Recuperación de Energía
- Conclusiones

1.- Conversión de Energía

La División Conversión de Energía de MONT-ELE se ocupa del proyecto, construcción y comercialización de convertidores electrónicos de alta potencia (rectificadores, inversores, chopper, convertidores de frecuencia, etc.), para:

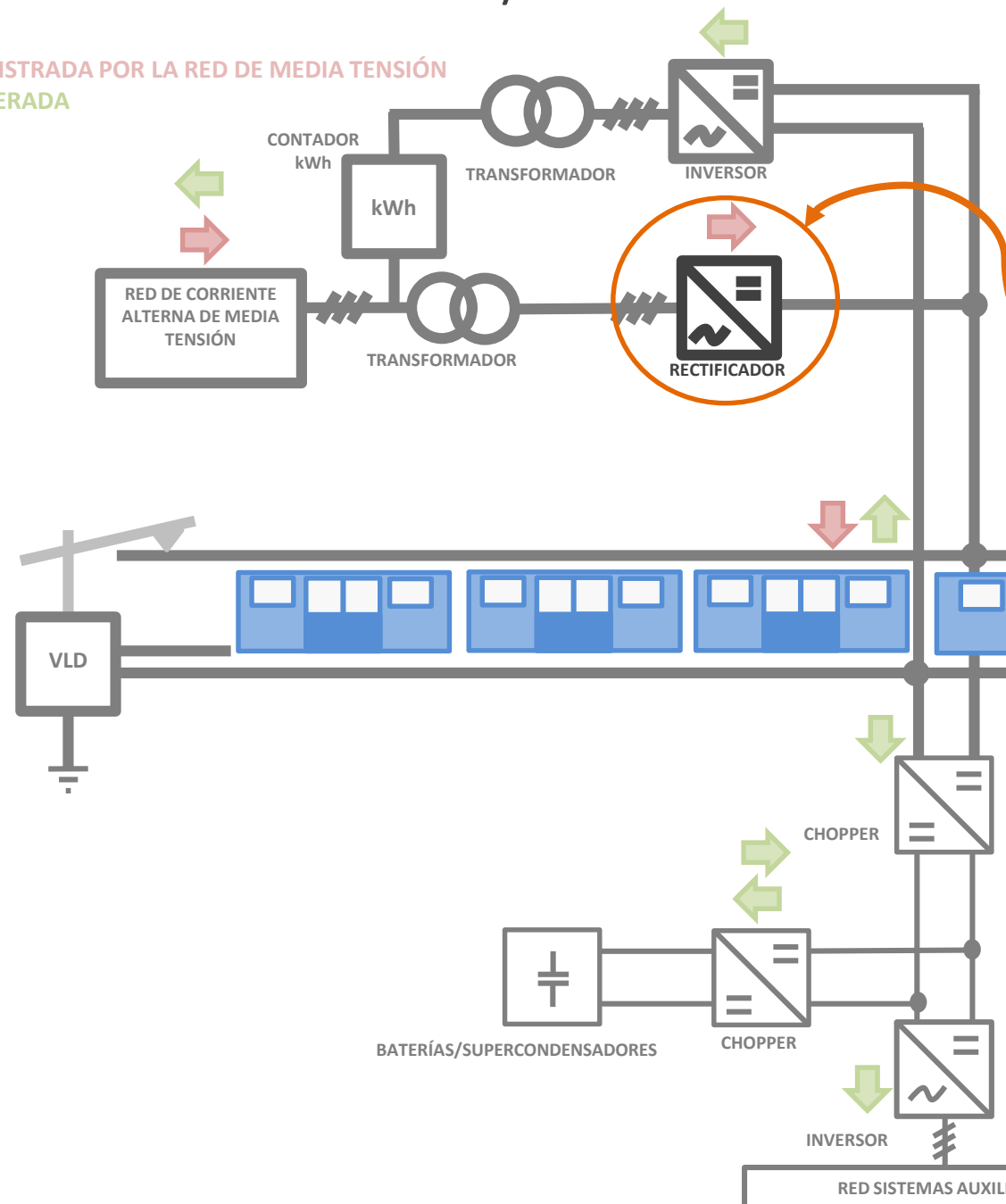
- **Subestaciones eléctricas** para la alimentación de líneas de ferrocarril, metro y tranvía sobre ruedas de goma o metálicas y con tracción de cable o de cremallera
- **Sistemas de recuperación** y acumulación de energía
- **Convertidores y alimentadores** especiales para proyectos de investigación (fusión nuclear, aceleradores de partículas)
- **Electrificación de los muelles portuarios** para la alimentación de los barcos en el puerto directamente desde la red eléctrica (*High Voltage Shore Connection System* (HVSC))
- **Energías renovables**

2.- Convertidores MONT-ELE para Subestaciones Eléctricas / Tracción Eléctrica – Esquema



2.- Convertidores MONT-ELE para Subestaciones Eléctricas / Tracción Eléctrica – Esquema

ENERGÍA SUMINISTRADA POR LA RED DE MEDIA TENSIÓN
ENERGÍA RECUPERADA



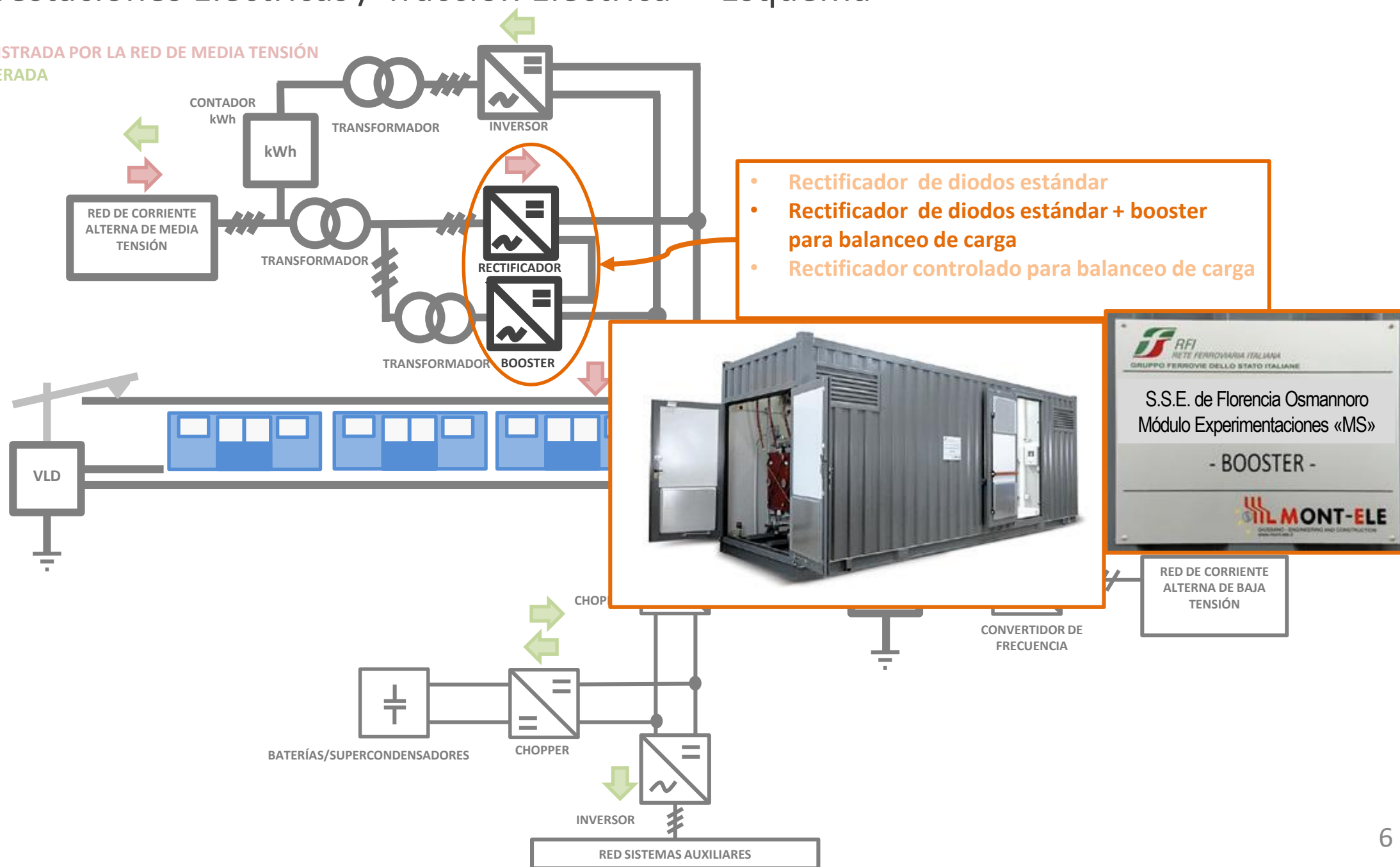
- Rectificador de diodos estándar
- Rectificador de diodos estándar + booster para balanceo de carga
- Rectificador controlado para balanceo de carga



METRO RIAD – LÍNEA UNIVERSIDAD DE LAS MUJERES

2.- Convertidores MONT-ELE para Subestaciones Eléctricas / Tracción Eléctrica – Esquema

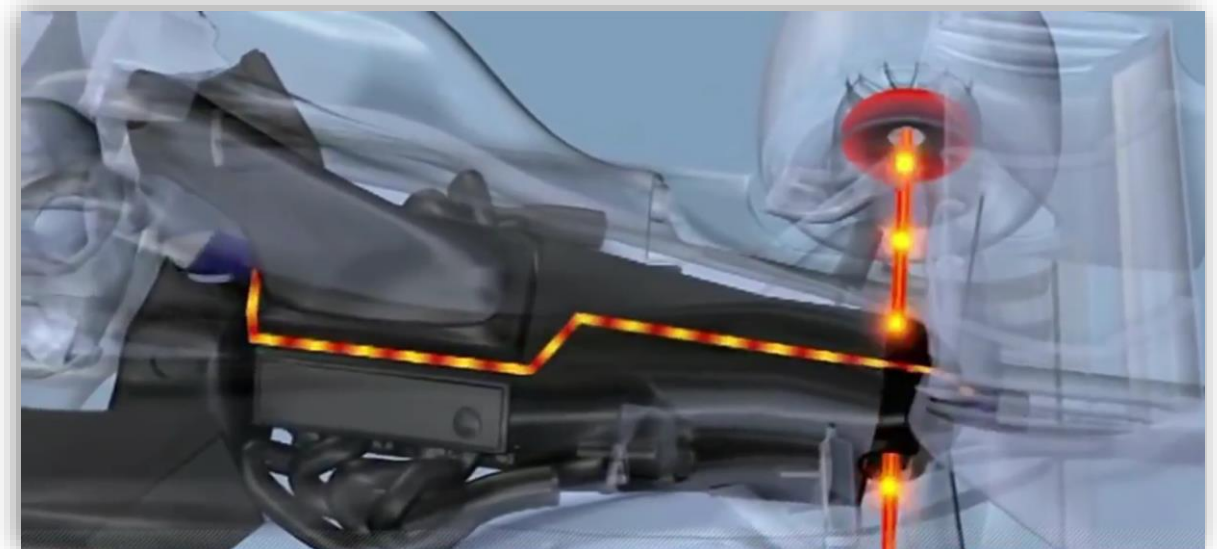
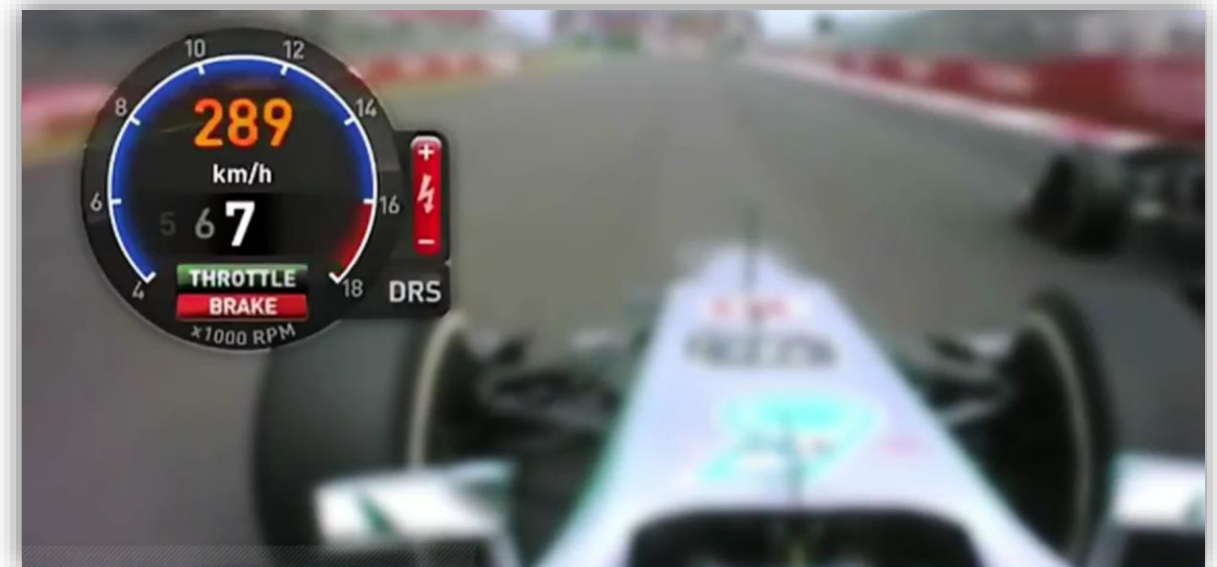
ENERGÍA SUMINISTRADA POR LA RED DE MEDIA TENSIÓN
ENERGÍA RECUPERADA



2.- Sistemas de recuperación de Energía – *Kinetic Energy Recovery System* (KERS)

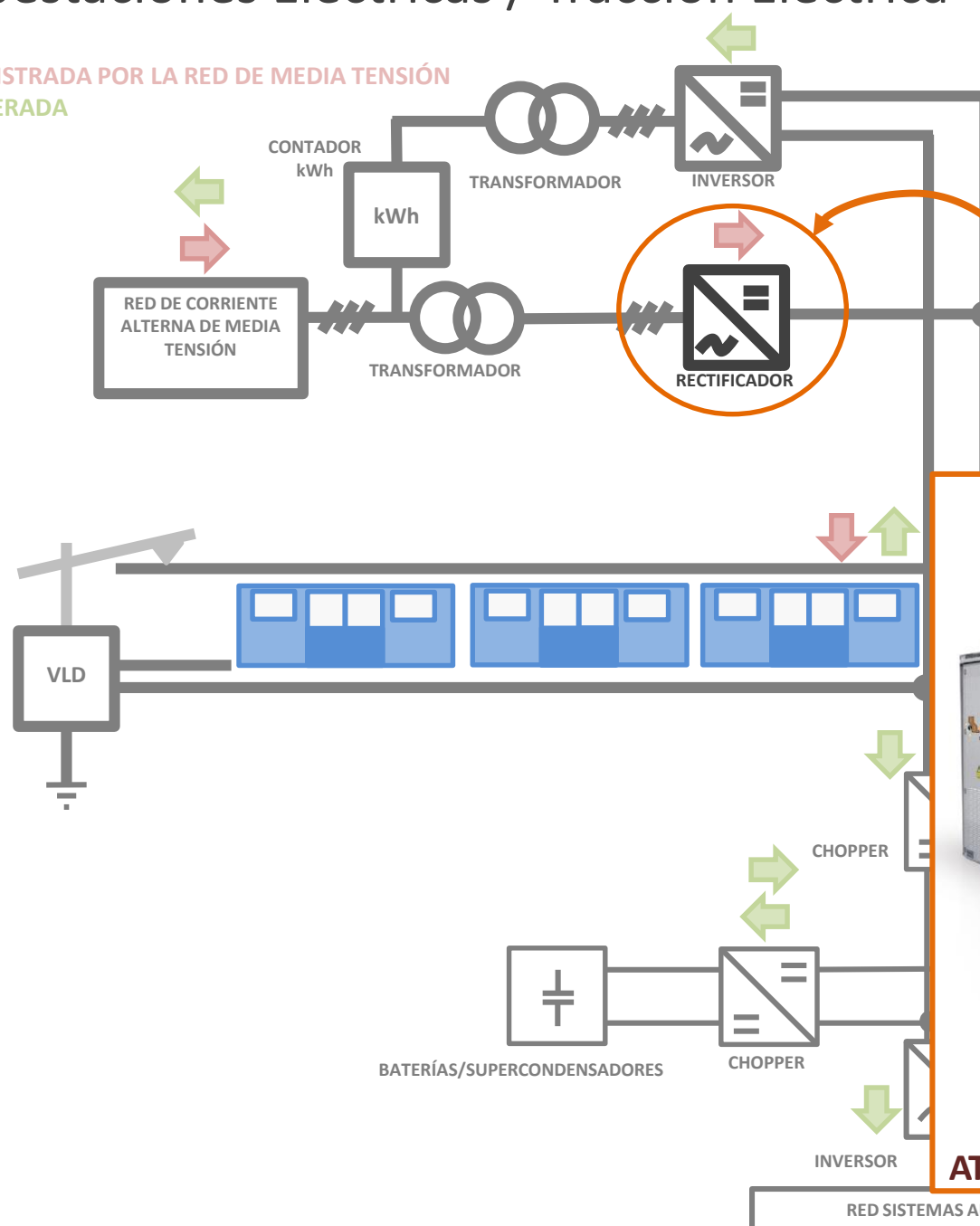
Recuperación de la energía producida al frenar:

- Este método se ha venido aplicando exitosamente desde hace tiempo en los vehículos híbridos y en los autos eléctricos, para permitir que las baterías se recarguen aprovechando la energía de frenado.
- Esta forma de ahorrar costos y tiempo de recarga eléctrica **es aplicable también en el ámbito de la tracción eléctrica.**



2.- Convertidores MONT-ELE para Subestaciones Eléctricas / Tracción Eléctrica – Esquema

ENERGÍA SUMINISTRADA POR LA RED DE MEDIA TENSIÓN
ENERGÍA RECUPERADA



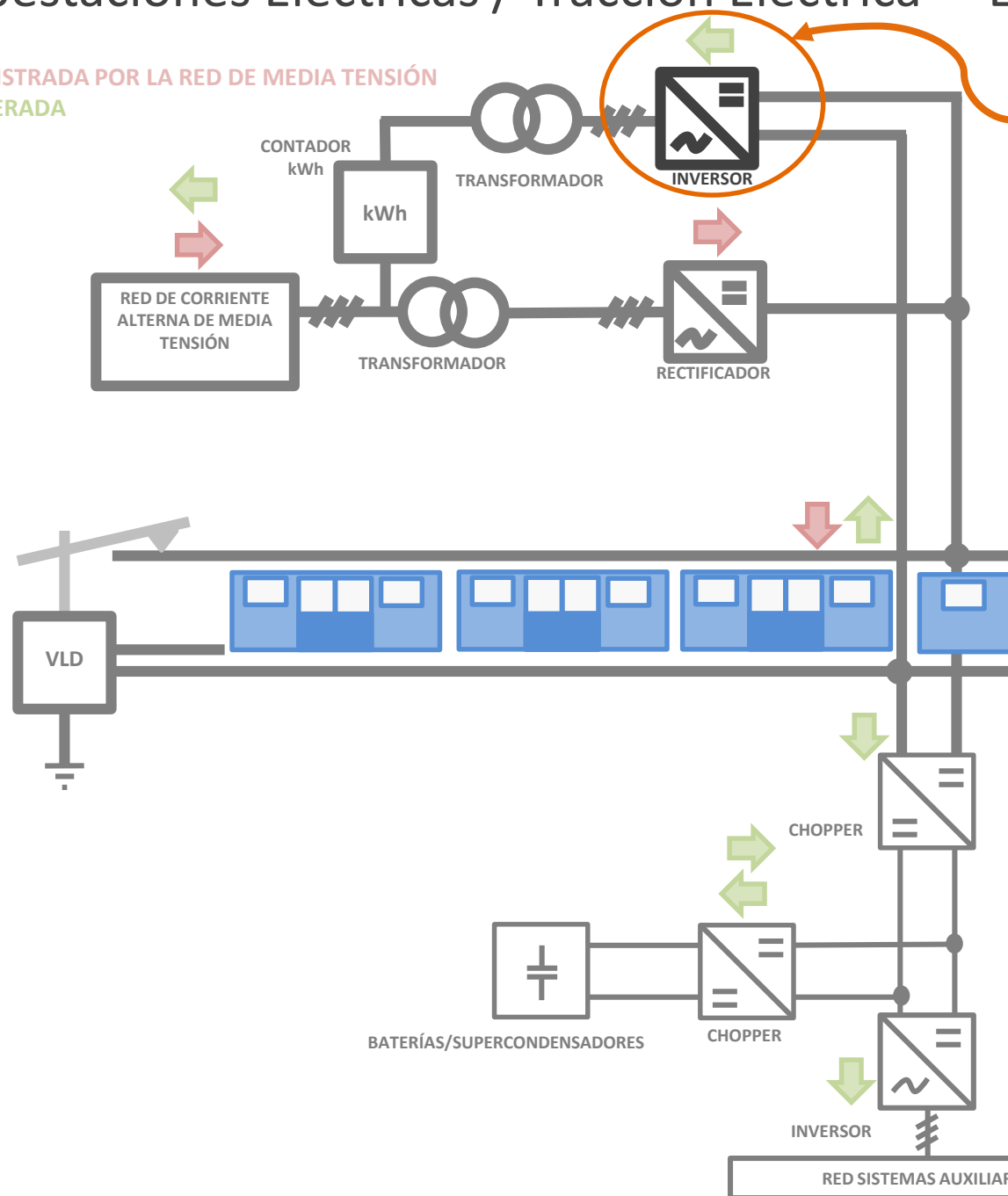
- Rectificador de diodos estándar
- Rectificador de diodos estándar + booster para balanceo de carga
- Rectificador controlado para balanceo de carga



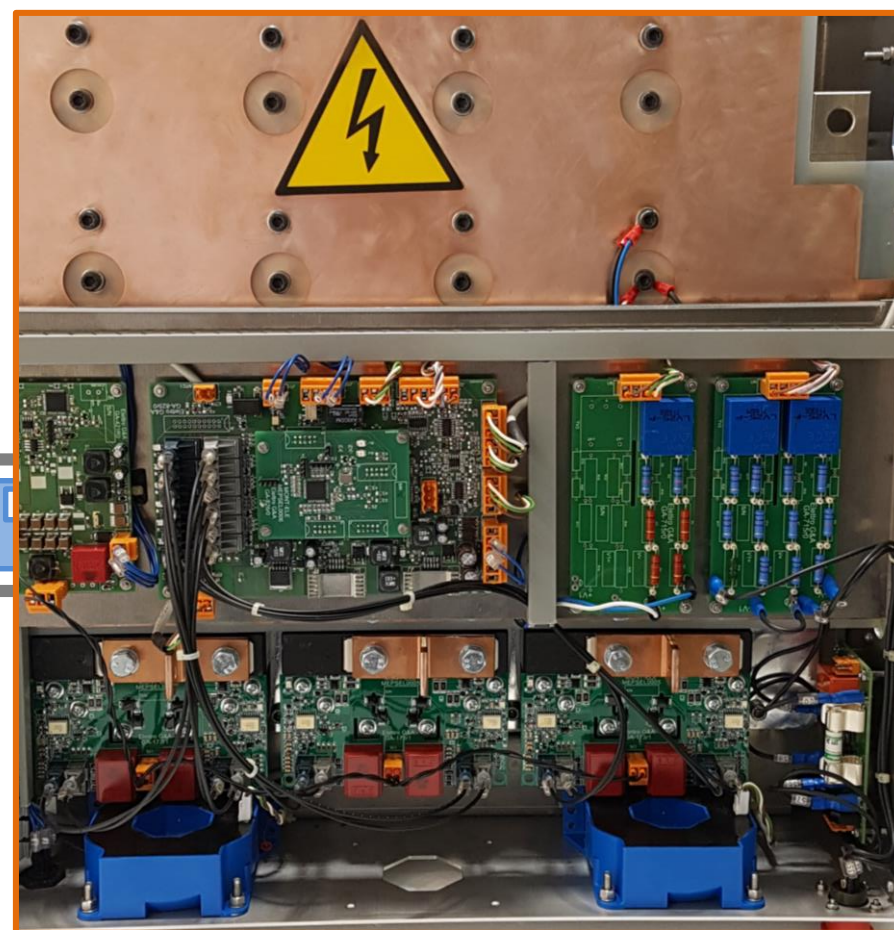
ATM – METRO MILÁN – LÍNEA 2 CASSINA DE' PECCHI

2.- Convertidores MONT-ELE para Subestaciones Eléctricas / Tracción Eléctrica – Esquema

ENERGÍA SUMINISTRADA POR LA RED DE MEDIA TENSIÓN
ENERGÍA RECUPERADA



Inversor para recuperación



ATM – METRO MILÁN– LÍNEA 1 GRAMSCI

2.- Convertidores MONT-ELE para Subestaciones Eléctricas / Tracción Eléctrica – Esquema

ENERGÍA SUMINISTRADA POR L
ENERGÍA RECUPERADA

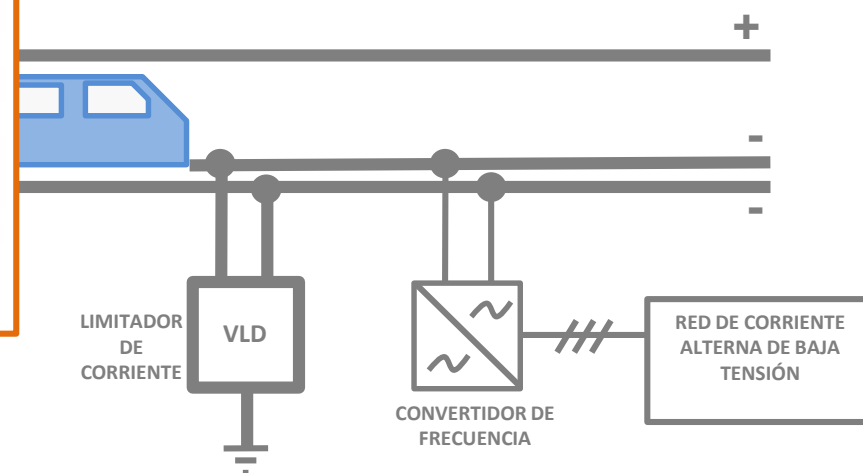
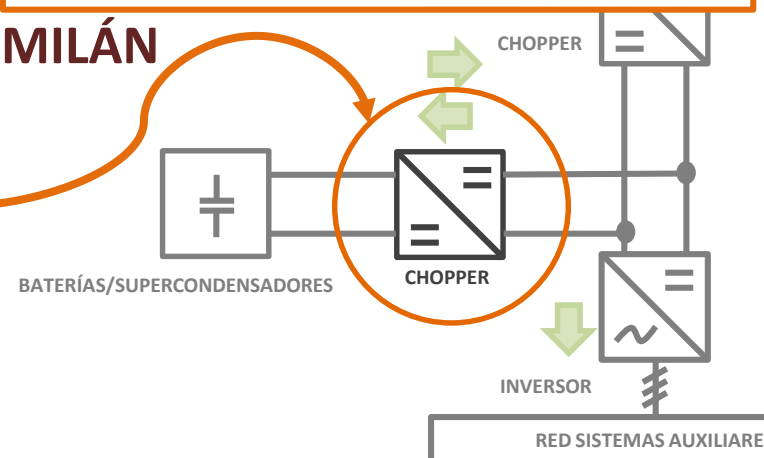


2.- Convertidores MONT-ELE para Subestaciones Eléctricas / Tracción Eléctrica – Esquema



TRENORD – FERROCARRILES DE MILÁN

Chopper para acumulación en
batería o en banco de
supercondensadores y
alimentación de la red auxiliar



2.- Convertidores MONT-ELE para Subestaciones Eléctricas / Tracción Eléctrica – Esquema

ENERGÍA SUMINISTRADA POR LA RED
ENERGÍA RECUPERADA

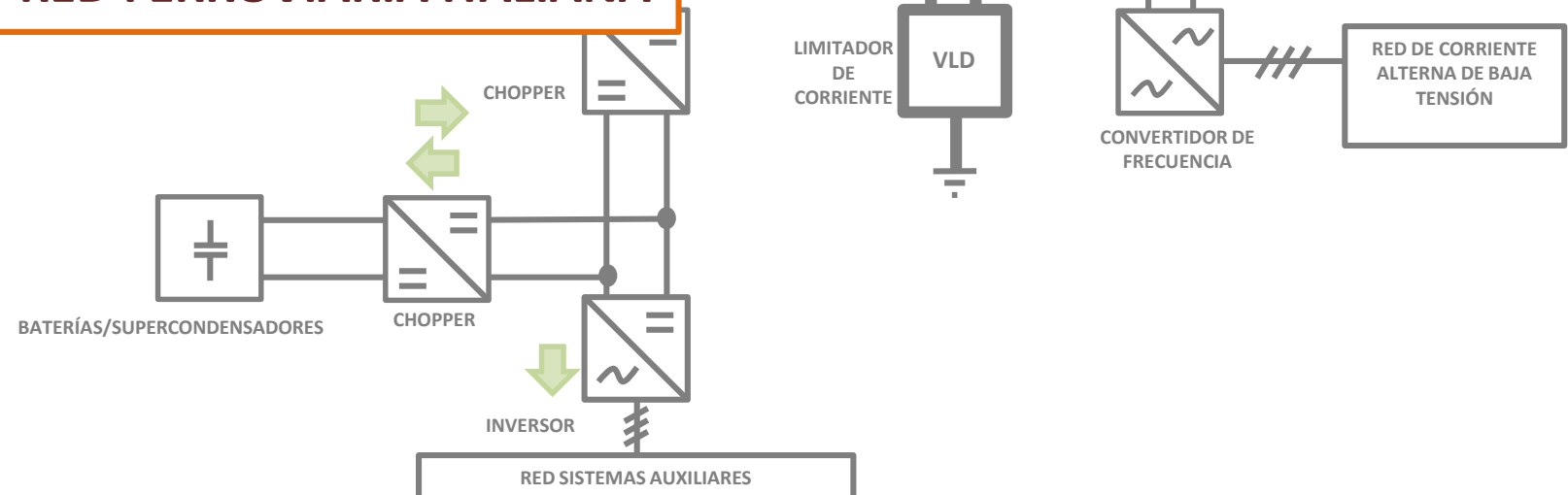
Limitador
estático de
corriente para
circuitos de
tracción
eléctrica

RED DE COR
ALTERNA DE
TENSIO



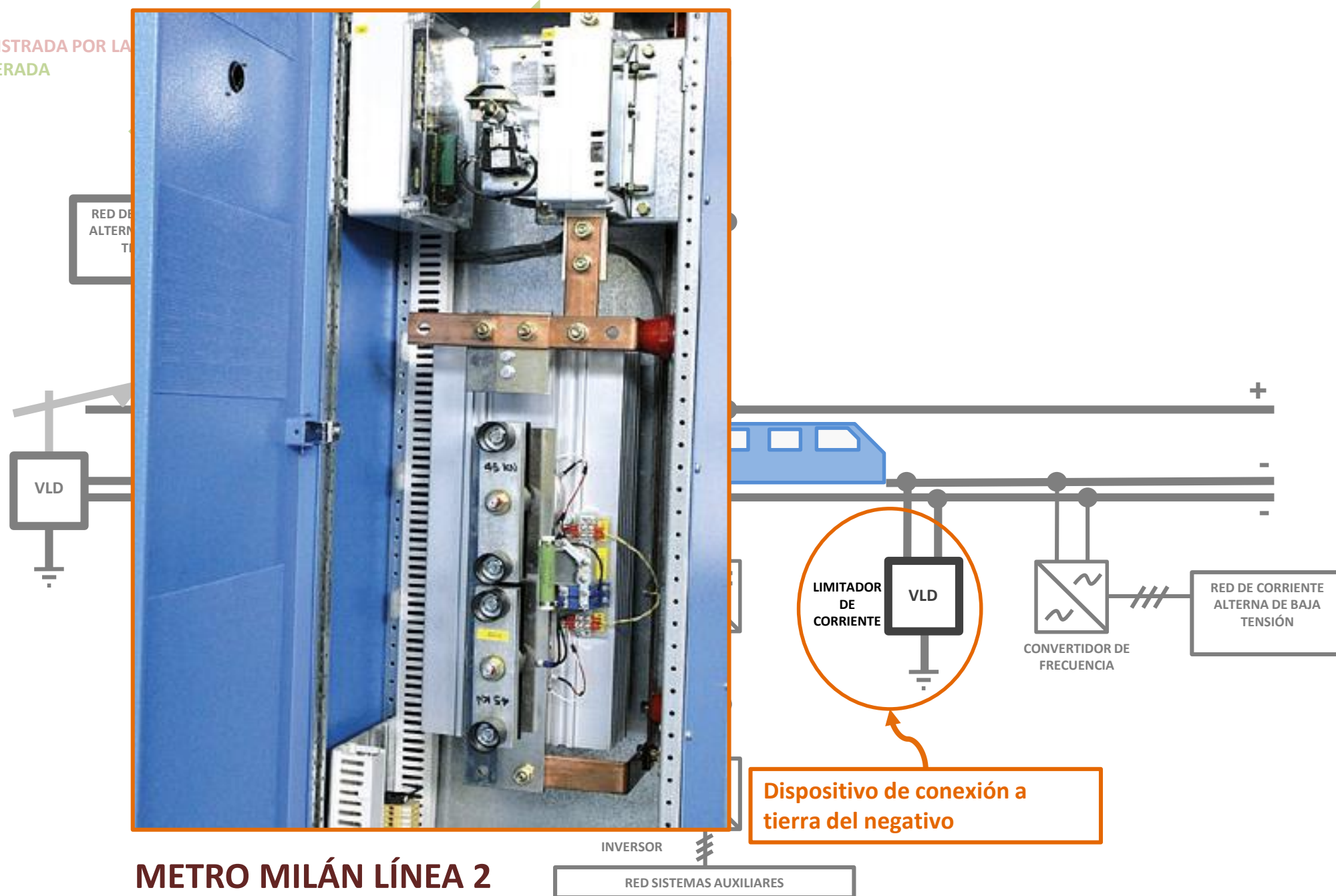
RFI - RED FERROVIARIA ITALIANA

VLD



2.- Convertidores MONT-ELE para Subestaciones Eléctricas / Tracción Eléctrica – Esquema

ENERGÍA SUMINISTRADA POR LA
ENERGÍA RECUPERADA



METRO MILÁN LÍNEA 2

INVERSOR

RED SISTEMAS AUXILIARES

2.- Convertidores MONT-ELE para Subestaciones Eléctricas / Tracción Eléctrica – Esquema

ENERGÍA SUMINISTRADA POR LA RED DE MEDIA TENSIÓN
ENERGÍA RECUPERADA



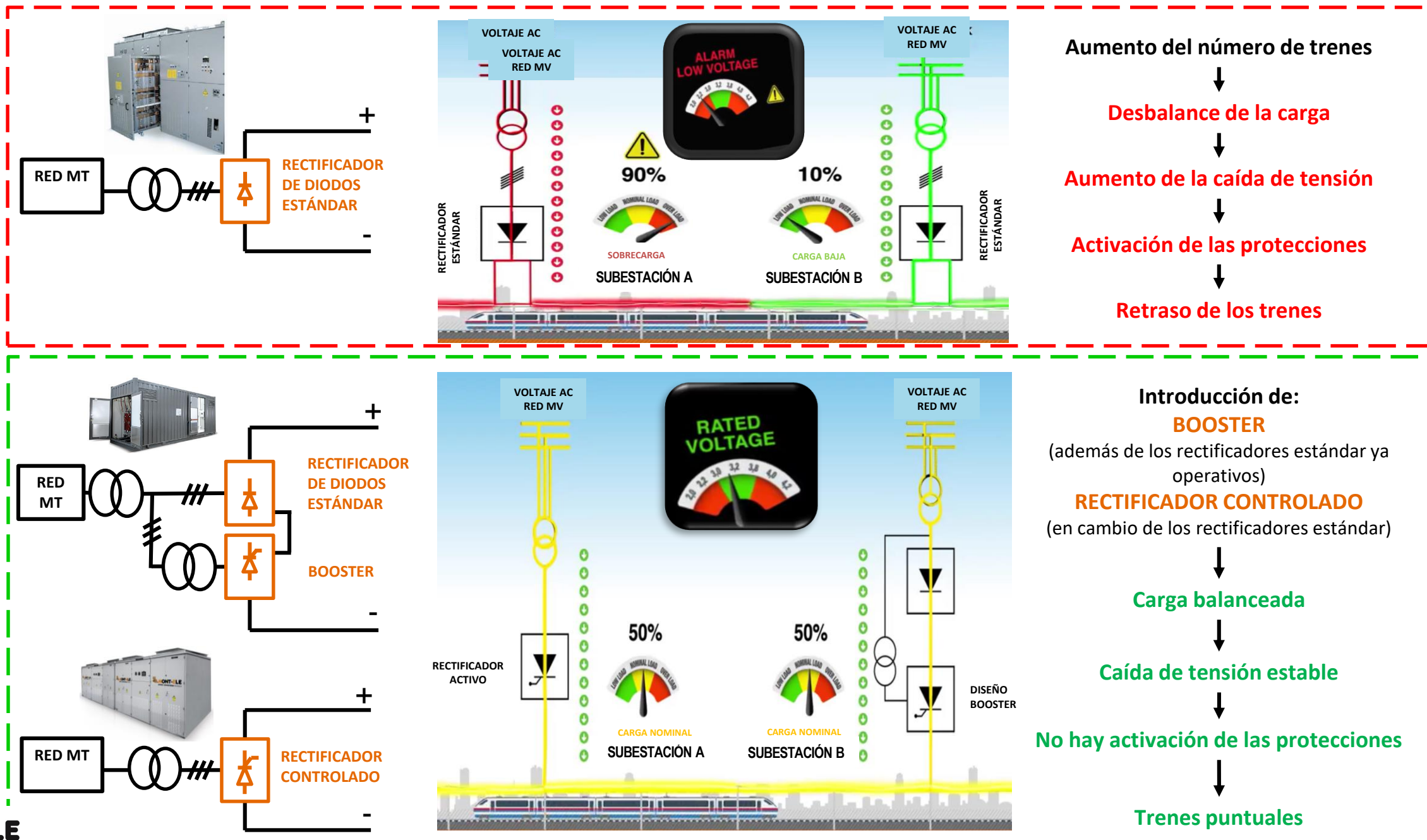
ATAC – METRO ROMA



INVERSOR

RED SISTEMAS AUXILIARES

3.- Ventajas del Booster y del Rectificador Controlado con respecto al Rectificador Estándar



4.- Sistemas de Recuperación de Energía – Energía Disipada al Frenar

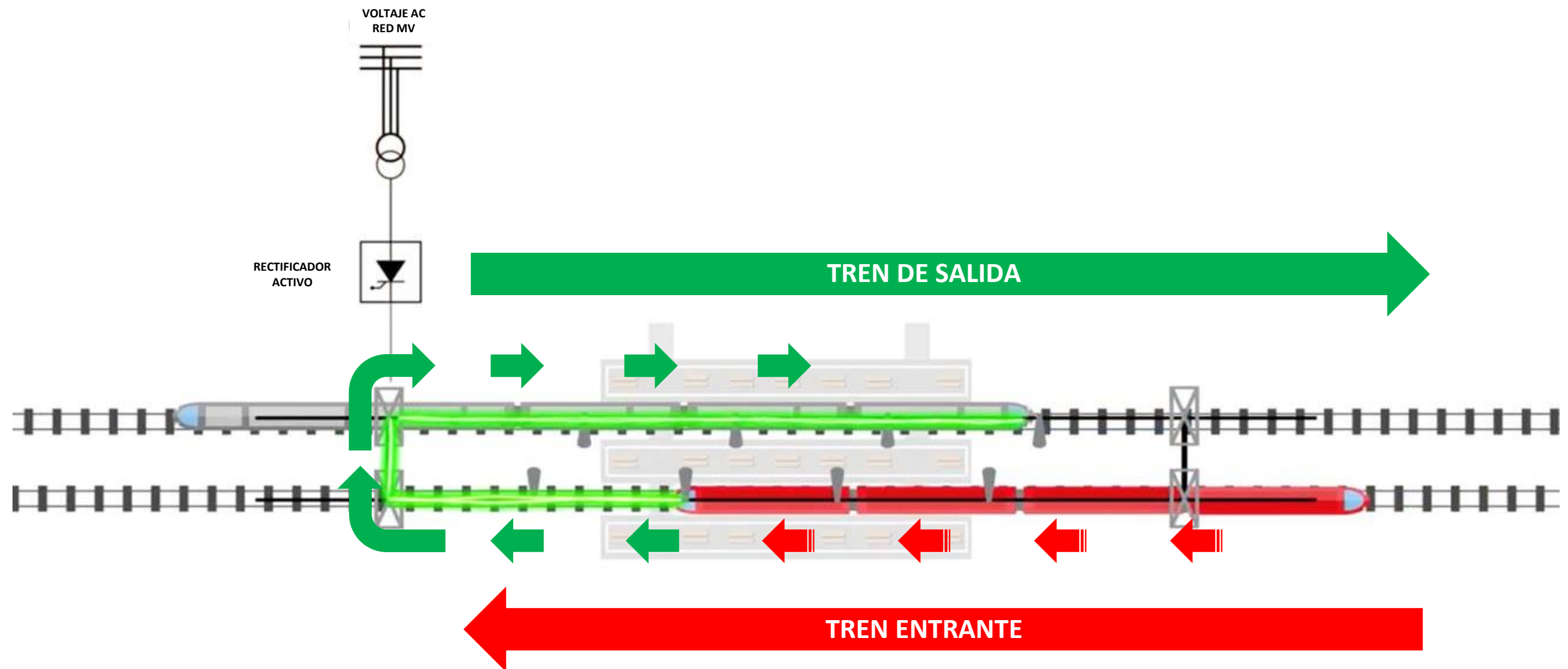
Todas las principales ciudades del mundo tienen una red de metro que se desarrolla bajo los pies de sus ciudadanos: este es uno de los medios de transporte más utilizados para ir al trabajo, puesto que comparado con el automóvil garantiza un alto nivel de fiabilidad (y con frecuencia de puntualidad).

Por lo tanto cada día centenares de trenes circulan por las vías, y cada vez que accionan los frenos para detenerse y dejar subir a los pasajeros disipan mucha energía en el reóstato de frenado, en forma de calor.



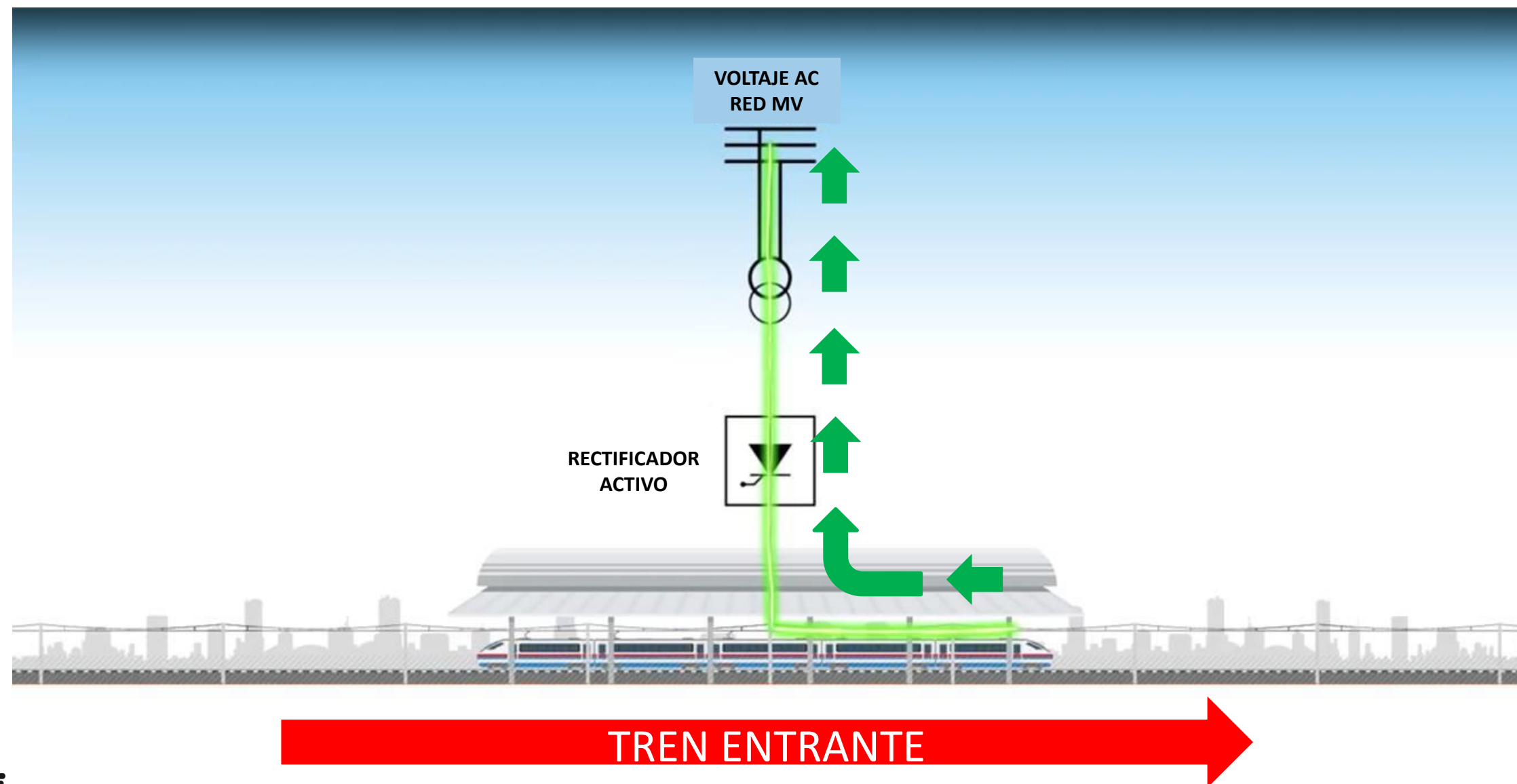
4.- Sistemas de recuperación de Energía – Posibles Usos de la Energía Recuperada [1/4]

La energía de frenado recuperada puede utilizarse para alimentar otros trenes:



4.- Sistemas de Recuperación de Energía – Posibles Usos de la Energía Recuperada [2/4]

La energía de frenado recuperada puede devolverse a la red de alimentación de MV.

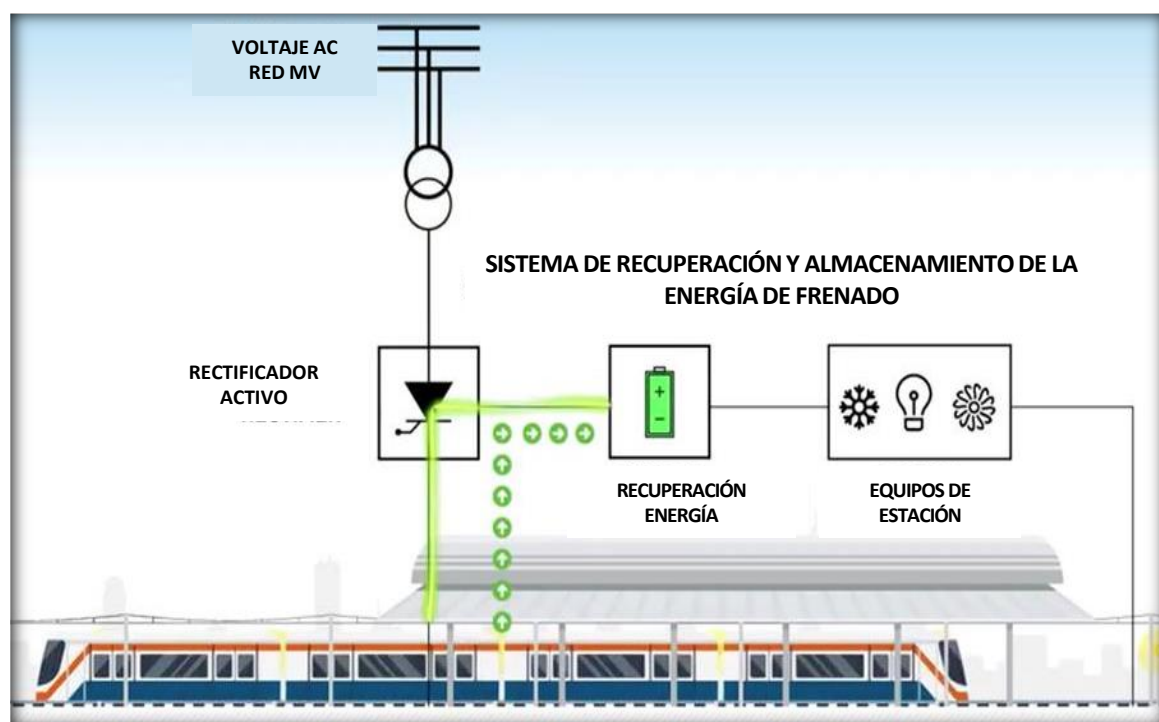


4.- Sistemas de Recuperación de Energía – Posibles Usos de la Energía Recuperada [3/4]

La energía de frenado recuperada puede almacenarse mediante supercondensadores y luego utilizarse para los servicios auxiliares de las estaciones (ascensores, escaleras mecánicas, iluminación, acondicionamiento, TVCC, seguridad).

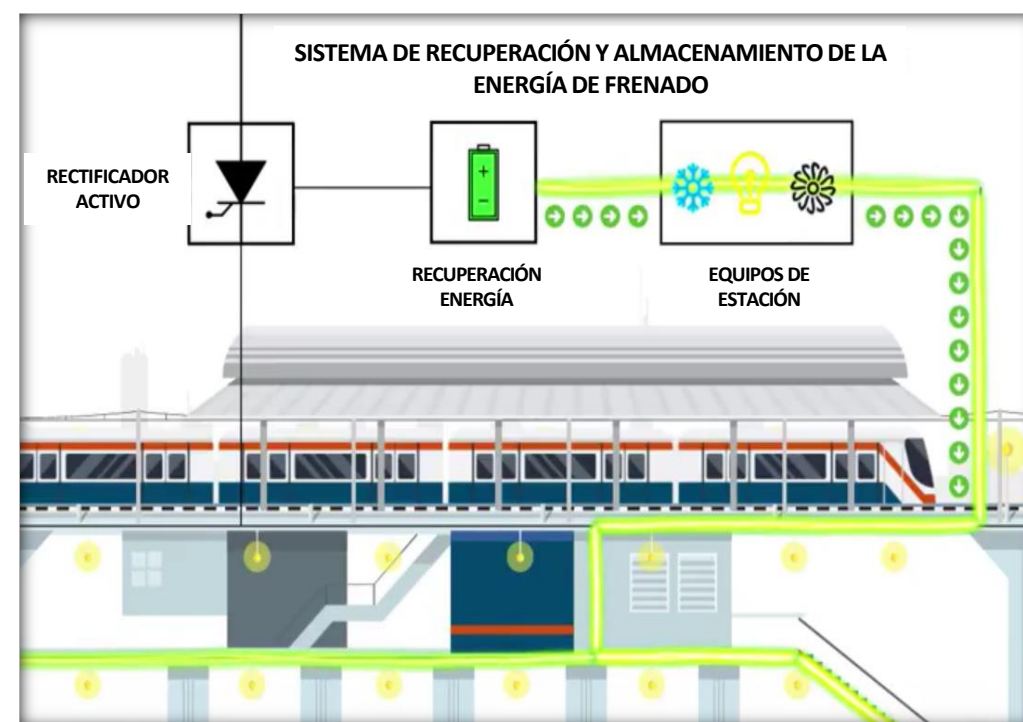
Fase 1

Recarga de los Supercondensadores

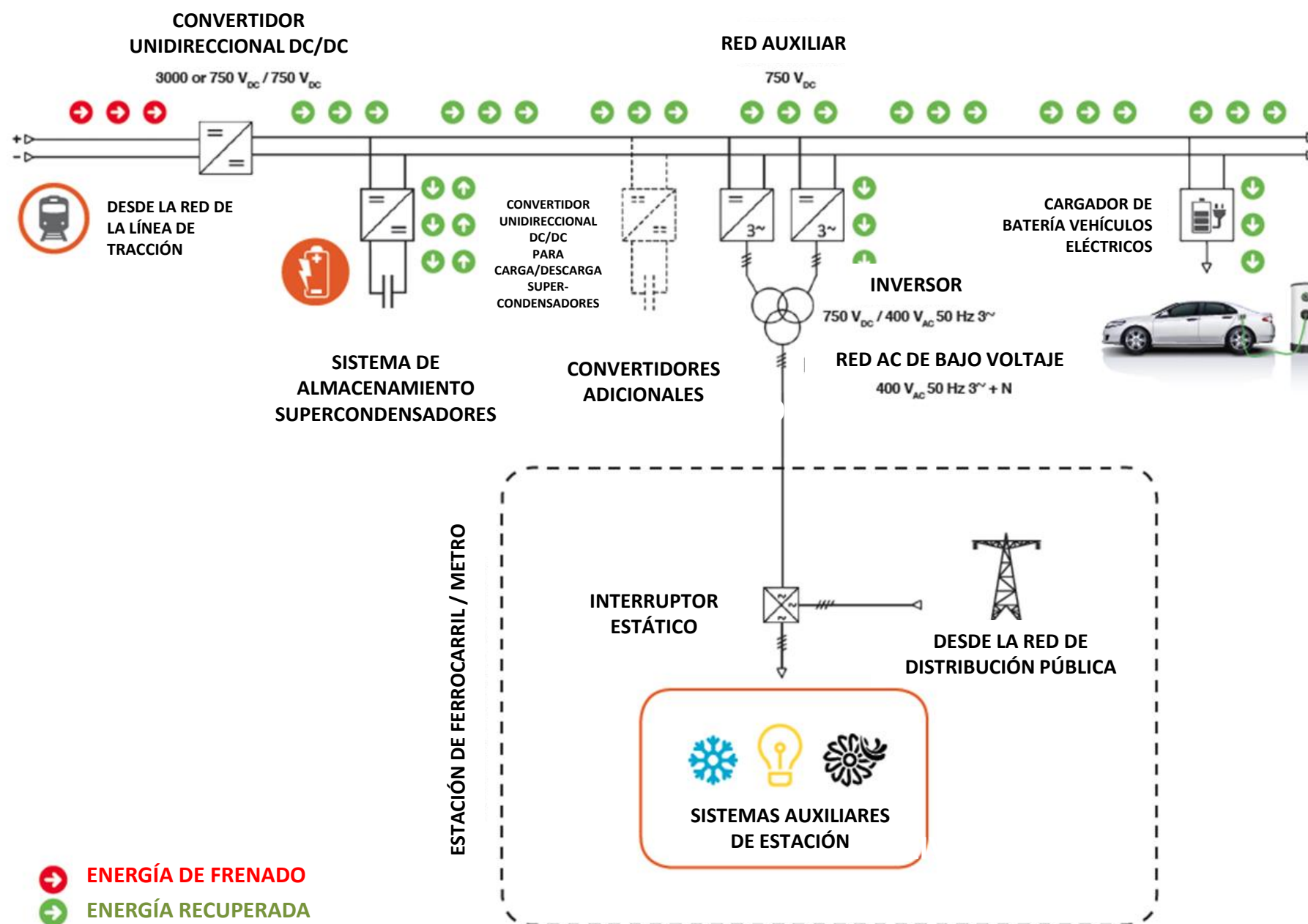


Fase 2

Alimentación Servicios Auxiliares



4.- Sistemas de Recuperación de Energía – Posibles Usos de la Energía Recuperada [4/4]



4.- Esfuerzo Internacional en pos de la Eficiencia Energética

Europa 2020

- reducción del **20%** de las **emisiones de gas de efecto invernadero** (con respecto a los niveles de 1990)
- satisfacción del **20%** de la demanda energética a través de **fuentes renovables**
- **mejoramiento del 20% de la eficiencia energética**



La **Norma 2012/27/UE** nació para garantizar el alcance de los objetivos de **eficiencia energética** y para sentar las bases de un ulterior mejoramiento futuro

Europa 2030

- reducción por lo menos del **40%** de las **emisiones de gas de efectos invernadero** (con respecto a los niveles de 1990)
- satisfacción del **27%** de la demanda energética a través de **fuentes renovables**
- **mejoramiento del 27% de la eficiencia energética**

5.- Ventajas de la Recuperación de la Energía de Frenado – Aplicaciones Metropolitanas (Datos Experimentales)

VENTAJAS DE LA RECUPERACIÓN DE LA ENERGÍA DE FRENADO EN APLICACIONES METROPOLITANAS

Características eléctricas de la red	
Lugar	Bruselas
Tipo	Metro
Red de Media Tensión	0,9 kV
Tensión Nominal	824 Vdc
Tensión en Circuito Abierto	880 Vdc
Distancia Promedio entre las Subestaciones	1,14 km
Sistema de Alimentación	Tercera Vía
Análisis de la Inversión	
Costo de la Inversión (€)	€1.800.000
Ahorro de Energía	9%
Ahorro Anual de Energía	3.400.000 kWh
Ahorro Anual de CO ₂	568 TCO ₂
Tiempo de Recuperación de la Inversión Sin Incentivos (Años)	5 años

5.- Ventajas de la Recuperación de la Energía de Frenado – Aplicaciones Metropolitanas (Datos Experimentales)

VENTAJAS DE LA RECUPERACIÓN DE LA ENERGÍA DE FRENADO EN APLICACIONES METROPOLITANAS

Características eléctricas de la red	
Lugar	Bielefeld
Tipo	Metro liviano
Red de Media Tensión	10 kV
Tensión Nominal	750 Vdc
Tensión en Circuito Abierto	825 Vdc
Distancia Promedio entre las Subestaciones	0,6km ÷ 1,2km
Sistema de Alimentación	Catenaria
Análisis de la Inversión	
Costo de la Inversión (€)	€1.100.000
Ahorro de Energía	7%
Ahorro Anual de Energía	1.100.000 kWh
Ahorro Anual de CO ₂	570 TCO ₂
Tiempo de Recuperación de la Inversión Sin Incentivos (Años)	10 años

5.- Ventajas de la Recuperación de la Energía de Frenado – Aplicaciones Ferroviarias (Simulación)

VENTAJAS DE LA RECUPERACIÓN DE LA ENERGÍA DE FRENADO EN APLICACIONES FERROVIARIAS		
Características eléctricas de la red	Línea	Alta Velocidad– Alta Capacidad (Florenia – Roma)
	Tensión Nominal	3 kVdc
	Número de Subestaciones	18
	Distancia Promedio entre las Subestaciones	15 km
	Sistema de Alimentación	Catenaria
Características del sistema de acumulación de energía	Tipo	Batería de litio
	Capacidad Nominal de la Celda	200 Ah
	Tensión Promedio de la Celda	3,75 V
	Número de Celdas	984
	Energía Batería (200Ah x 3,75V x 984)	738 kWh
	Duración	100.000 ciclos (10 años)
Análisis de la Inversión	Costo Batería por kWh	600 €/kWh
	Costo Total Batería (600€/kWh x 738kWh)	442.800€
	Energía Recuperada	400 MJ por ciclo
	Rendimiento de Carga /Descarga	90%
	Costo Energía	100 €/MWh
	Valor Energía Recuperada en 10 Años (400MJ/3600s x 0,9 x 100.000 x 100€/MWh)	1.000.000 €
	Margen de Ganancia de la Inversión a 10 Años	560.000 €

Los datos experimentales y los resultados de las simulaciones han evidenciado que el uso de rectificadores controlados para la estabilización de la caída de tensión y de tecnologías para la recuperación y el almacenamiento de la energía, constituyen una solución válida para mejorar la eficiencia, aumentar la seguridad operativa y reducir los costos de las líneas de ferrocarriles, metro y tranvía.

Gracias por su atención





Asociación Latinoamericana de
Metros y Subterráneos

