

# Propuesta de Aplicación de una Red Eléctrica Inteligente “Smart-Grid” a la Red Eléctrica Ferroviaria Española

## *Application of a Smart Grid to the Spanish Electrical Railway*

---

Israel Herrero Sánchez\*

---

### RESUMEN

El proyecto Smart-Grid, surge con el objetivo de mejorar la eficiencia y la fiabilidad de la red eléctrica, adaptándola a las necesidades de la era digital. Las tecnologías denominadas Smart Grid disminuirán las emisiones de carbono mediante la gestión de la demanda de energía eléctrica. Además del beneficio medioambiental, su implementación mejorará la eficiencia de las redes de transporte y distribución permitiendo la integración de fuentes de energía renovable.

El sector ferroviario es un consumidor importante del sistema eléctrico de un país por lo que su aplicación al mismo, redundará en una mejora global de todo el sistema eléctrico ferroviario. En este estudio, se propone una aplicación de un sistema Smart Grid a la red eléctrica ferroviaria española con sus particularidades, adaptada a las instalaciones actuales y a cómo sería su aplicación. También se refleja la implantación de nuevos nodos en la red, como la incorporación del vehículo eléctrico a usar en las plataformas de mantenimiento de la infraestructura.

### PALABRAS CLAVE

Eléctrico de Potencia (SEP), Smart Grid, Red Eléctrica Ferroviaria Inteligente (REFI), Nodo, RAD - Red de Acceso a Datos, Red de Transporte, IP-MPLS, Sistemas ATP y Eficiencia Energética.

---

\* iherrerosa@gmail.com Ingeniero Técnico Industrial - UPCO - ICAI, PMP®, Master Universitario en Gestión de Infraestructuras y Sistemas Ferroviarios - UEM.

Premio Unión Interprofesional de la Comunidad de Madrid a las 3 mejores comunicaciones sobre proyectos de I+D+i relacionados con el desarrollo sostenible, por el proyecto fin de master “Aplicación de una red Eléctrica Inteligente (Smart-Grid) a la Red Eléctrica Ferroviaria Española”, presentado a través del COITIM. - Noviembre 2.014.

---

## **ABSTRACT**

The Smart-Grid project is created with the objective of improving the efficiency and reliability of the grid, adapted to the needs of the digital age. This type of technologies will decrease carbon emissions by managing the demand of electricity. In addition to the environmental benefits, its implementation will improve the efficiency of transmission and distribution allowing the integration of renewable energy sources.

The railway sector is a major consumer of electrical system of a country so its application will redound in an overall improvement of all rail electric system. This piece brings out an application of a Smart Grid system to the Spanish railway power grid with its peculiarities, adapted to modern facilities and how would it be applied. The introduction of new network nodes is also shown, as the incorporation of electric vehicles to be used in the maintenance platforms infrastructure.

## **KEY WORDS**

Power electric System (SEP), Smart Grid, REM-S Railway Energy Management System, Node, FAN - Field Area Network, WAN - Wire Area Network, IP/MPLS, ATP Systems, and Energy Efficiency.

## 1. INTRODUCCIÓN

La red eléctrica es posiblemente el sistema interconectado más extenso del planeta. Durante más de un siglo ha estado íntimamente ligada al desarrollo tecnológico y ha cumplido con su cometido a la perfección. Ha permitido entregar la energía producida, instantánea y permanentemente, con unos costes reducidos y una robustez y fiabilidad encomiables.

En este artículo se expone de forma resumida la posible aplicación de las redes eléctricas inteligentes “Smart-Grid” a la Red Eléctrica Ferroviaria Española. En dicha aplicación, se interconectan a la Red Eléctrica Ferroviaria diferentes tecnologías en fase de implantación tales como el aprovechamiento de la energía de frenado de los trenes, la posibilidad de conexión del vehículo eléctrico a la red (flota de mantenimiento del administrador ferroviario), y la posibilidad de conexión de instalaciones de energías renovables, creando lo que se conocería como una Red Eléctrica Ferroviaria Inteligente.

Entre otros esquemas de funcionamiento, una red eléctrica inteligente ferroviaria podría tratar de consumir lo menos posible de la red eléctrica general, y de que todo el conjunto eléctrico ferroviario, sea lo más autosuficiente posible. Se espera que las Smart Grids aporten en el futuro una capa superior de control de los elementos anteriores optimizando la eficiencia del sistema demanda-generación en su conjunto.

El sector ferroviario es un consumidor importante del sistema eléctrico de un país, pues en el caso de España, representa el primer consumidor de energía eléctrica del sector servicios. Aun en su condición de consumidor, el ferrocarril tiene características especiales de consumo; por ejemplo, su curva de carga es muy irregular (lo que produce ciertos problemas a los suministradores eléctricos, ya que existen gran cantidad de puntas). Otra característica importante es que, sin ser considerado un consumidor crítico, sí es relevante el hecho de no interrumpir la explotación ferroviaria en servicios concretos, como es el caso de las redes de Cercanías o de Alta Velocidad, que suelen ser empleados por una gran cantidad de usuarios. Este hecho es uno de los que supone que la no interrumpibilidad del servicio sea una exigencia actual a las compañías eléctricas.

Por ello, los administradores ferroviarios se están planteando cuál podría ser el escenario eléctrico ferroviario considerando la adopción de las pautas establecidas por las redes inteligentes. Estas pautas indican que las mejoras y beneficios en las redes eléctricas ferroviarias podrían ser importantes si se consideran ciertos aspectos técnicos.

Para analizar las ventajas de la interconexión de redes (ferroviarias entre sí y ferroviarias con públicas), la reducción de las pérdidas por nuevas topologías y consistencias de las redes; del desarrollo de sistemas de almacenamiento embarcado y en tierra, se han llevado a cabo diversos proyectos de investigación en el ámbito español y europeo. Actualmente se han desarrollado en esta línea los proyectos FERROSMARTGRID (desarrollo de la primera red inteligente para la gestión energética del sector ferroviario) y MERLIN (investigación y demostración de la viabilidad de un sistema de gestión integrada para lograr un uso más sostenible y optimizar la energía en los sistemas europeos principales de tren eléctrico).

Dentro del proyecto MERLIN, se han creado cinco escenarios diferentes que han evaluado como mejorar la gestión de la energía, aportando soluciones que ayudan a una gestión más eficiente mediante mejoras significativas en la subcontratación de potencia, energía consumida así como en los costos obtenidos en la mayoría de los casos. Estos 5 escenarios se han evaluado en la alta velocidad, mercancías, regionales, cercanías y escenarios de tráfico mixto de mercancías-pasajeros. En este proyecto, el modelo de arquitectura Smart Grid (SGAM - Smart Grid Architecture Model) se ha utilizado como una referencia para el desarrollo del REM-S (Railway Energy Management System) adaptando el enfoque arquitectónico de una SGAM al sistema eléctrico ferroviario.

La implantación de las Smart Grid en el entorno ferroviario requiere de la instalación de sistemas de IT que lleven a cabo las optimizaciones y el control inteligente del sistema ferroviario, modificaciones en los procedimientos de operación así como en las regulaciones para permitir un nuevo tipo de servicios en gestión de energía.

En resumen, una red Smart Grid es una red que integra de manera inteligente las acciones de los usuarios que se encuentran conectados a ella - generadores, consumidores y aquellos que son ambas cosas a la vez - con el fin de conseguir un suministro eléctrico eficiente, seguro y sostenible. Su aplicación al sector ferroviario, lo haría más eficiente y favorable al medioambiente, permitiendo una operación con mayor fiabilidad y seguridad.

En el apartado 1 o Introducción, se describe el objetivo, alcance y posible aplicación del documento. En el segundo apartado, Caracterización del Nuevo Sistema, se detalla la nueva configuración que se propone para el sistema eléctrico ferroviario con la aplicación del concepto de red eléctrica inteligente.

En el apartado 3, se detalla una propuesta del nuevo sistema eléctrico ferroviario especificando los nodos que la constituyen, la nueva estructura de comunicaciones y los diferentes tipos de red que se proponen. En el apartado 4, se detallan la integración de los nuevos desarrollos tecnológicos a la nueva red REFI que se propone.

Finalmente el apartado 5 de Conclusiones, hace un resumen de las principales conclusiones relativas a la aplicación de las redes inteligentes “Smart Grid” a la red eléctrica ferroviaria.

## 2. CARACTERIZACIÓN DEL NUEVO SISTEMA ELÉCTRICO FERROVIARIO

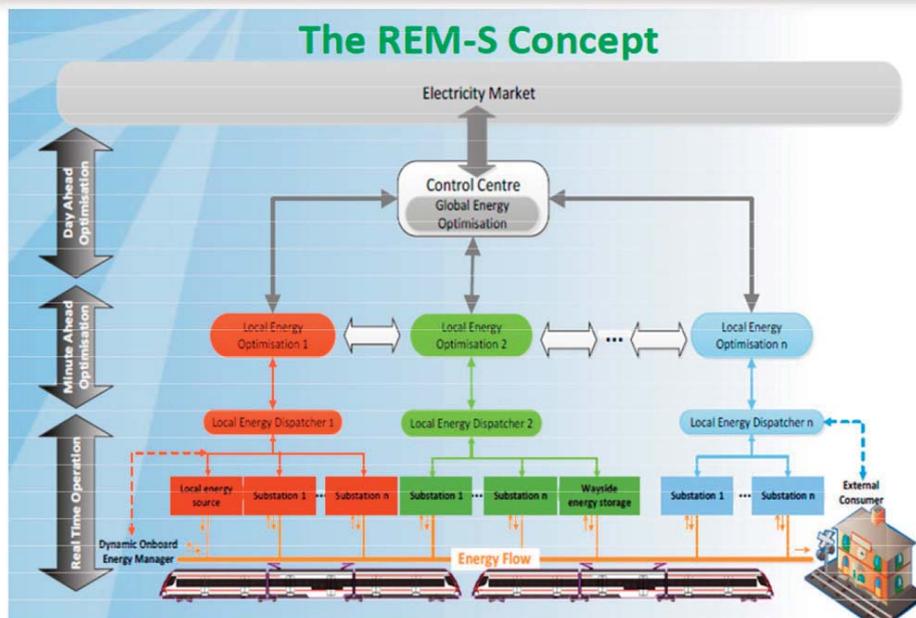
La mejora del control sobre las redes eléctricas ferroviarias se puede lograr con tecnologías Smart Grid. Para gestionar el tráfico y la electrificación de forma conjunta y en la misma dirección, una Red Eléctrica Ferroviaria Inteligente (REFI) puede resolver problemas de operación (limitaciones de capacidad, cambios en la operación, etc...) incluyendo aspectos que no pueden ser direccionados dentro de los esquemas de control habituales. Por eso, la REFI integrará la misión ferroviaria y la electrificación.

Otro aspecto que debe tratar la red eléctrica ferroviaria inteligente es la posibilidad de considerar la interrumpibilidad eléctrica de la red en caso que el operador técnico del sistema lo considere necesario. Actualmente este hecho no es considerado por el administrador ferroviario, pudiendo producir diversos problemas técnicos en el sistema como por ejemplo la necesidad de seguir alimentando las instalaciones ferroviarias desde una segunda fuente de energía (al quedar desconectada la catenaria).

En esta nueva funcionalidad, entran en juego determinados aspectos que se detallan a continuación:

1. Operación Eléctrica Ferroviaria en entorno Smart; la nueva REFI controlará el flujo de energía que se envía a la red procedente de las subestaciones de tracción, y tendrá en cuenta el estado del resto de nodos que participan en ella. Este control de flujos ayudará a lograr los propósitos de la REFI ayudando a minimizar pérdidas, reducir el coste de la electricidad (parte de la energía demandada será suministrada por otras fuentes en otros nodos de control), etc... Estos flujos de energía serán ajustados generando una mejora significativa del sistema. Bien es cierto, que este proceso será complejo de gestionar debido a que las conducciones están sometidas a fuertes restricciones por el operador relativas a la calidad del servicio al viajero. En el proyecto MERLIN se han propuesto recomendaciones técnicas que describen la arquitectura REM-S (nueva REFI), incluyendo funciones y capas de componentes, así como el tipo de elementos de los diferentes subsistemas de una línea base en un sistema ferroviario.

Figura 1. Concepto REM-S



Fuente: MERLIN Final Conference

2. Penetración e implantación de nuevas tecnologías y sistemas en la REFI (Subestaciones Eléctricas Reversibles, Sistemas de Almacenamiento, Energías Renovables, Ferrolineras, etc...); permitiendo dotar a la misma de una mayor independencia del Operador del Sistema Eléctrico, y contribuyendo así con criterios medioambientales.
3. La interrelación de la Red Eléctrica Ferroviaria (SEP ferroviario) con el Operador del Sistema Eléctrico a través de la Red de Transporte o Red de Distribución (SEP General), es primordial en el funcionamiento del nuevo sistema, ya que ambas están directamente conectadas, y gran parte de la demanda de energía eléctrica del sector ferroviario, seguirá siendo proporcionada por el operador del sistema eléctrico correspondiente. Conforme a la situación instantánea del mercado eléctrico, podrá ser más interesante almacenar energía, devolverla a la red, producir parte de la misma en la nueva Red, etc...En las recomendaciones del proyecto MERLIN, se ha propuesto establecer la estandarización del intercambio de información entre los agentes, su formato y contenido, la secuencia de mensajes y su periodicidad dada la complejidad de la interrelación entre el SEP ferroviario con el SEP general.
4. La conducción del Tren en un entorno Smart, mediante el desarrollo de planes de conducción económica donde cada tren será un nodo más en la nueva REFI. Su posición, su dirección, su necesidad energética en la conducción, será conocida en todo momento por el sistema. Esto permitiría que se realice una gestión mucho más activa de la demanda energética de los trenes, a través de una conexión entre el SEP general con los sistemas ATP y herramientas de planificación y control de itinerarios, de forma que se permita el control de trenes en función de la energía consumida. En la actualidad, esto no es posible pero una REFI debe permitir alcanzar este objetivo para conseguir un suministro eléctrico eficiente, seguro y sostenible.

No hay que olvidar la integración de la red Smart-Grid en el entorno urbano, donde existe una mayor densidad de tráfico, por lo tanto mayor número de arranques y frenados, y se generan más oportunidades de reaprovechar y gestionar la energía eléctrica regenerada. Teniendo en cuenta que en líneas metropolitanas, el nivel de automatización en el control de tráfico en tiempo real es mayor, esto facilitaría la implantación de este tipo de redes en el entorno urbano.

### 3. CONFIGURACIÓN DE LA NUEVA RED ELÉCTRICA FERROVIARIA

Esta descripción es una propuesta a lo que sería la configuración del nuevo sistema eléctrico ferroviario con la aplicación de las tecnologías Smart Grid.

#### Nodos de Comunicación. Agrupación de Nodos.

La agrupación de nodos en un entorno local (decenas de kilómetros) constituirá una red FAN (Field Area Network). Estas subredes de nodos dentro de la REFI se interconectarán entre si formando una red de nivel superior o red WAN (Wide Area Network). Por tanto la nueva Red, se constituirá mediante un conjunto de nodos interconectados todos ellos entre sí, agrupados en diferentes modos o arquitecturas de red. (Redes FAN y WAN).

Para la nueva REFI, se definen diferentes tipos de nodos que se enumeran a continuación:

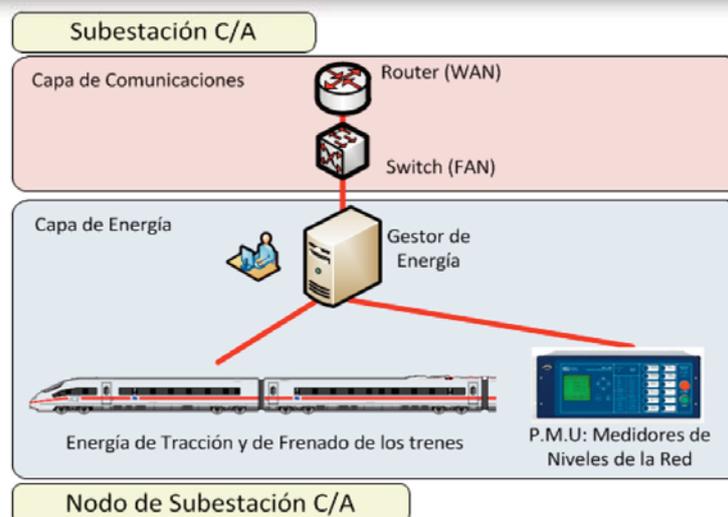
#### Nodos de Subestación.

Los nodos de subestación, realizan la medida de potencia y energía en la subestación. Dispondrán de comunicación con el sistema de gestión de energía del operador del sistema eléctrico (SEP general), y con el sistema de gestión de energía de la nueva REFI. Este tipo de nodo, gestiona los flujos de energía entre el operador del sistema eléctrico y la nueva REFI. Estos nodos se consideran "nodos centrales de operación" pues en ellos se establece una conexión a una red de nivel superior (conexión a red WAN).

Dentro de este tipo, diferenciaremos dos casos generales:

- Subestación de tracción CA: subestación de tracción de corriente alterna, ya de por si con función reversible (devolución directa de la energía de frenado de los trenes a la red eléctrica).

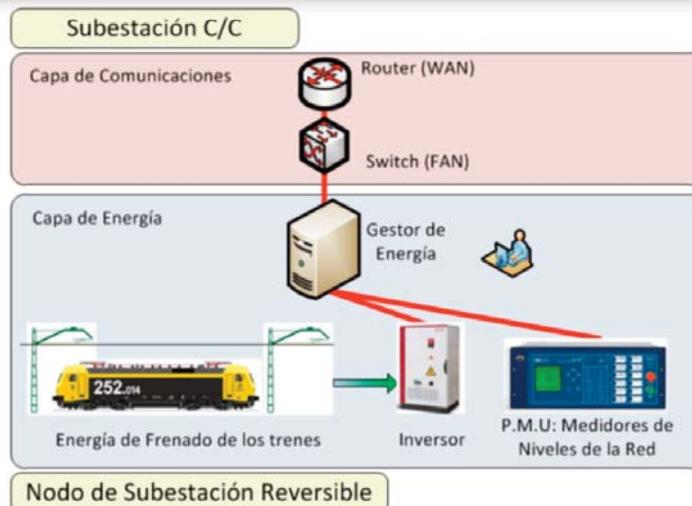
Figura 2. Esquema de Nodo de Subestación de CA



Fuente: Elaboración propia

- Subestación de tracción CC o Subestación Reversible: esta subestación incorpora un equipamiento adicional (dispositivo inversor) que le permite devolver la energía regenerada a la red de distribución del operador del sistema eléctrico que suministra energía a dichas subestaciones.

Figura 3. Esquema de Nodo de Subestación de CC



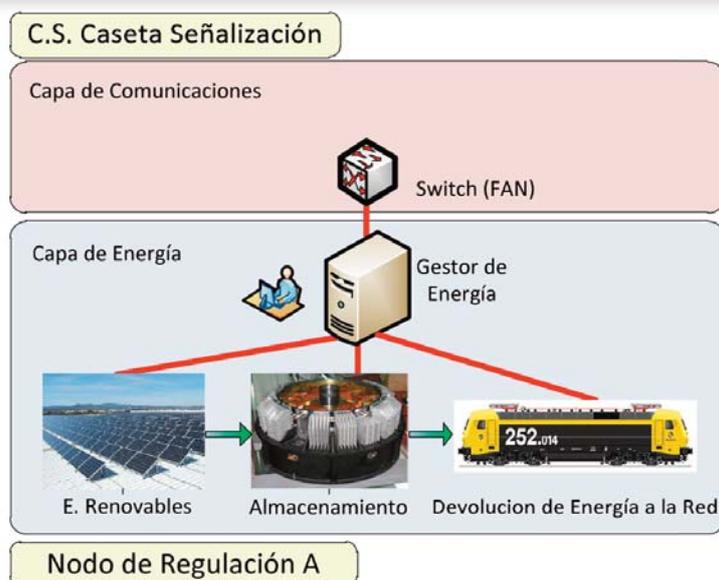
Fuente: Elaboración propia

### Nodo de Regulación.

Los nodos de regulación posibilitan la gestión de la energía mediante un sistema de almacenamiento de energía y la integración de energías renovables. Disponen de comunicación con el sistema de gestión de energía de la nueva REFI. Se diferencian dos tipos de nodos de regulación:

- **Nodo de Regulación Tipo A:** estos nodos se configuran para albergar sistemas de integración de energías renovables con sistemas de almacenamiento de energía, orientados a la devolución de energía a la red eléctrica ferroviaria.

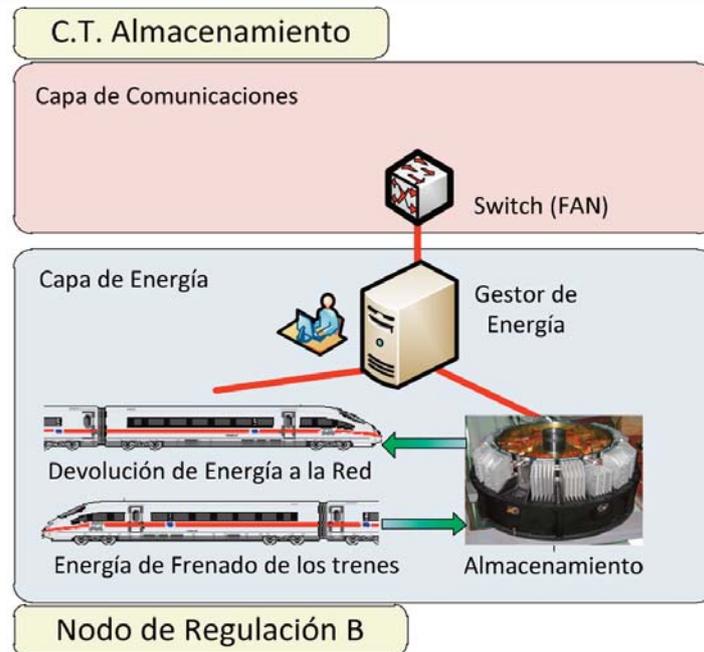
Figura 4. Esquema de Nodo de Regulación Tipo A



Fuente: Elaboración propia

- **Nodo de Regulación Tipo B:** este tipo de nodo, se configura para albergar tan sólo sistemas de almacenamiento de energía, orientados a la captación y devolución de la energía a la red eléctrica ferroviaria.

**Figura 5. Esquema de Nodo de Regulación Tipo B**



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 1, se numeran diferentes tipos de ubicaciones donde se dispondrían los nodos de regulación:

**Tabla 1. Ubicaciones para Nodos de Regulación**

UBICACIÓN DE NODOS DE REGULACIÓN	DESCRIPCIÓN / OBSERVACIONES
Calefacción de Agujas (Tipo A)	Alimentación 25 kV/230 V para uso exclusivo de calefacción de agujas en alta velocidad.
Casetas de Señalización (Tipo A)	Alimentación de los servicios de señalización de la línea ferroviaria.
Casetas de Túnel (Tipo A)	Alimentación de los servicios de iluminación y seguridad de los túneles.
Sistemas de Almacenamiento (Tipo B)	Sistemas de Almacenamiento en Tierra, distribuidos por toda la línea eléctrica ferroviaria.

Fuente: Elaboración propia

## Nodo de Interoperabilidad.

Los nodos de Interoperabilidad, posibilitan la gestión de la energía mediante un sistema de almacenamiento de la misma, la integración de energías renovables y la integración de carga para otros modos de transporte, principalmente flota de vehículos de mantenimiento del administrador ferroviario. Estos nodos integran las denominadas Ferrolíneas o punto de recarga para vehículos eléctricos. De aquí su nombre de “interoperabilidad”. Al igual que los anteriores, disponen de comunicación con el sistema de gestión de energía de la nueva REFI.

**Figura 6. Esquema de Nodo de Interoperabilidad**



Fuente: Elaboración propia

En estos nodos, se procederá a instalar los servidores de gestión de usuarios de vehículos eléctricos, así como para los puntos de recarga para dichos vehículos. Estos nodos, también se consideran “nodos centrales de operación” es decir, aquellos donde se establece una conexión a una red de nivel superior (conexión a red WAN).

**Tabla 2. Ubicaciones para Nodos de Interoperabilidad**

UBICACIÓN DE LOS NODOS DE INTEROPERABILIDAD	DESCRIPCIÓN / OBSERVACIONES
Edificios Técnicos	Edificios Técnicos para PAET, PBL (banalización), etc.
Estaciones de Viajeros	Edificios Técnicos de Estaciones y Apeaderos
Bases de Mantenimiento	Edificios o bases de mantenimiento del Administrador Ferroviario.
Centros de Control	Centros de Control Ferroviario (CRC, CTC, CPS)

Fuente: Elaboración propia

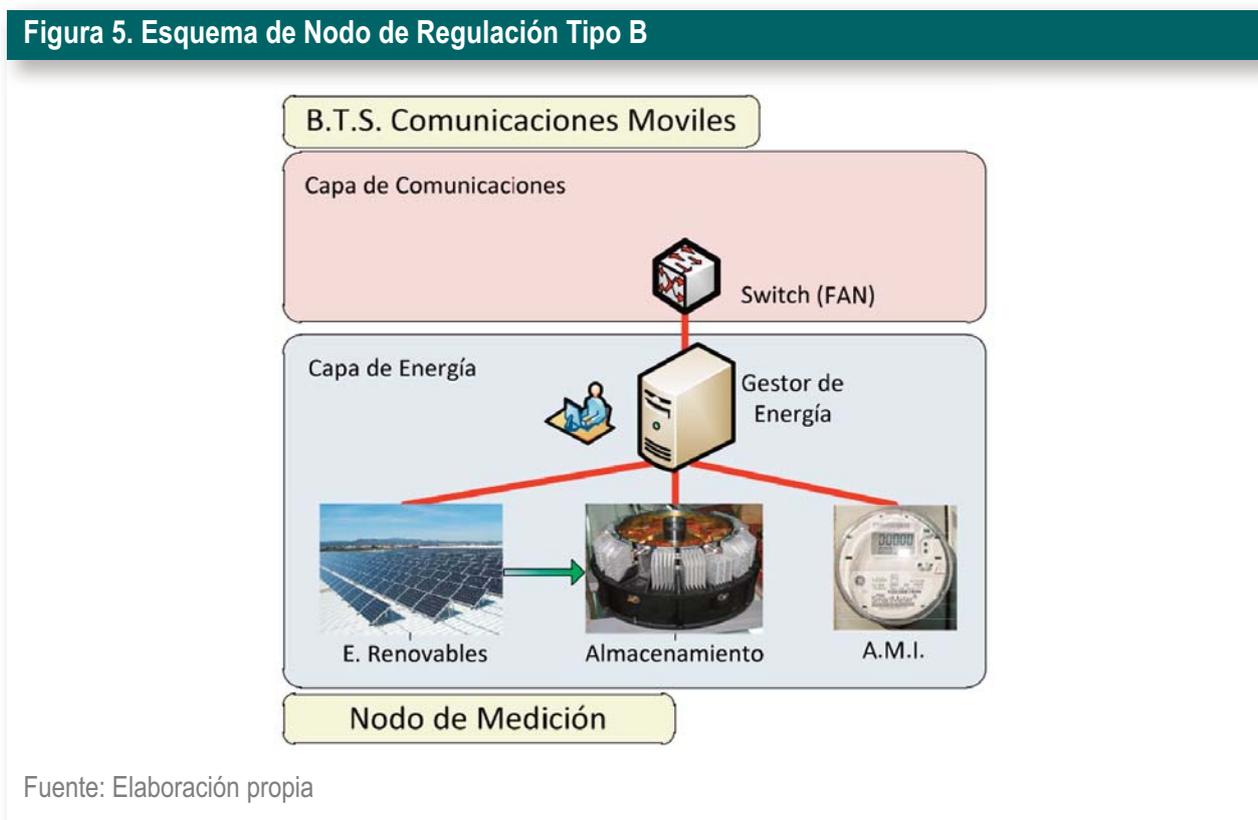
En la tabla 2, se numeran diferentes tipos de ubicaciones donde se dispondrían los nodos de interoperabilidad.

### Nodo de Medición.

Los nodos de medición, en general realizan la medida del flujo de potencia y energía en su ubicación, y dispondrán de comunicación con el sistema de gestión de energía de la nueva REFI. Incorporan dispositivos AMI (infraestructura de medida avanzada), que permitirán la lectura del flujo de la energía de cada nodo.

Estos nodos estarán habilitados para poder incorporar la integración de energías renovables y sistemas de almacenamiento generando puntos de “microgeneración” en la red.

Figura 5. Esquema de Nodo de Regulación Tipo B



En la tabla 3, se numeran diferentes tipos de ubicaciones donde se dispondrían los nodos de medición:

**Tabla 3. Ubicaciones para Nodos de Medición**

UBICACIÓN DE LOS NODOS DE MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN / OBSERVACIONES
Casetas de Detectores	
Casetas de Comunicaciones Móviles (BTS)	Casetas de Comunicaciones Móviles GSM-R.
Casetas de Operadores	Casetas de Operadores de telefonía pública.
Autotransformadores (ATI)	Autotransformadores en instalaciones en C/A de 2 x 25 kV.

Fuente: Elaboración propia

### **Nodos Móviles.**

Los nodos móviles serán participantes de las diferentes subredes por las que transiten dentro de la REFI. Estos nodos se corresponden con el material rodante y serían muy similares a los nodos de medición (medida del flujo de energía y comunicación con el sistema de gestión de la nueva REFI). Se trata de nodos generadores y consumidores de energía que podrían recibir órdenes relacionadas con la demanda de energía al instante, para contribuir si fuera posible, a la mejora o ajuste de la oferta disponible. Dispondrán de comunicación directa con la red fija vía GSM-R y contribuirán al desarrollo de la REFI.

### **Estructura de Comunicaciones para la nueva REFI.**

Las comunicaciones de la nueva REFI se apoyarán en las redes de telecomunicación que se encuentran repartidas por toda la red ferroviaria. Esto hace que para la nueva configuración de Red eléctrica ferroviaria Smart Grid, las redes de telecomunicación actuales puedan ser utilizadas para el desarrollo de todas las comunicaciones entre los diferentes nodos. Las redes de telecomunicaciones solidarias a la REFI estarán constituidas por tres niveles básicos:

Un nivel Físico o de conectividad.

Un nivel de Red y transmisión de datos.

Un nivel de servicios.

Estos criterios guardan relación con la pila de comunicaciones del modelo OSI.

El nivel físico o soporte de transmisión de esta red estará formado por anillos de cables de fibra óptica. Si nos centramos primero en el concepto de anillo, esta arquitectura nos permite ofrecer siempre caminos alternativos y redundantes para la transmisión entre dos puntos. La fibra óptica se ha convertido en la infraestructura óptima para establecer los enlaces que unen los nodos de comunicaciones.



## Red “Wire Area Network” WAN (Red de Transporte).

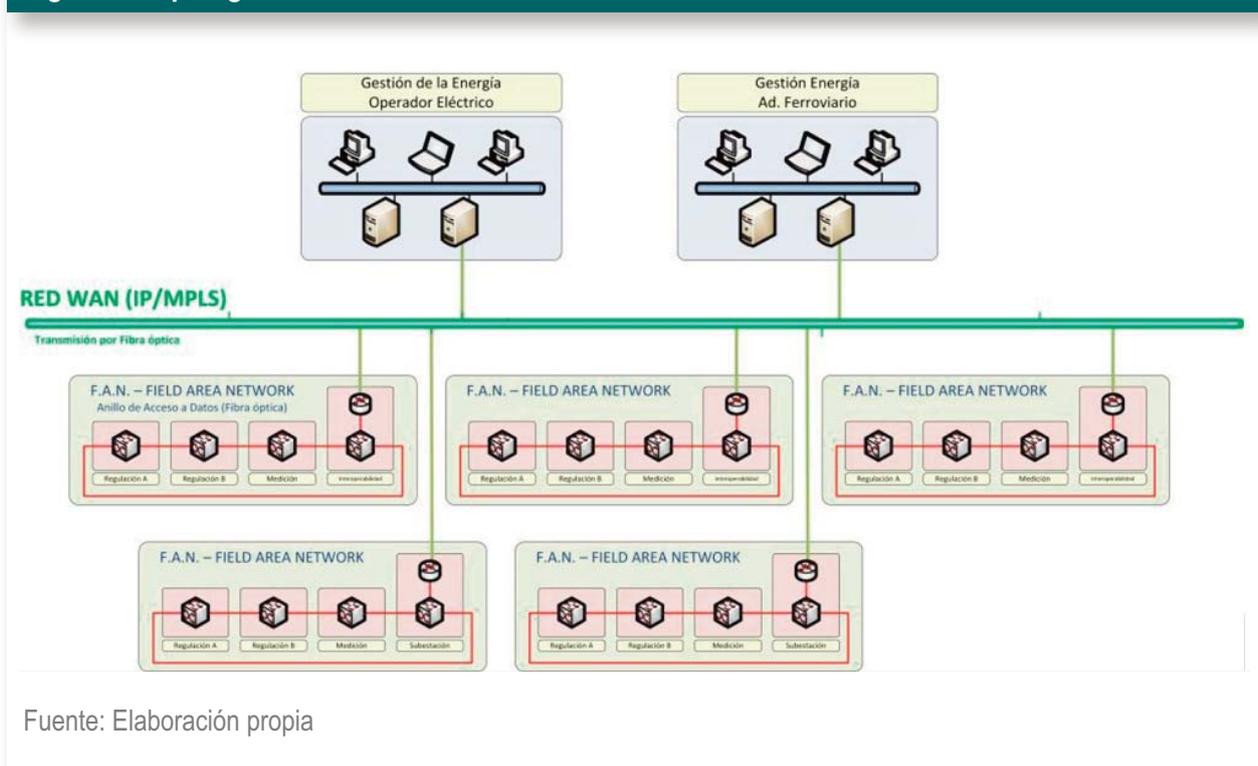
La red WAN representará el backbone de las anteriores redes FAN de datos. Dispondrá de una configuración de enlaces ópticos con capacidad ajustada a las necesidades de servicios y sustentada en el protocolo de comunicaciones MPLS (Multiprotocol Label Switching). Tiene como función servir de medio de transporte a largas distancias de la información recogida en los nodos de acceso de comunicaciones (redes FAN).

Los equipos que conforman la red son routers con elevada capacidad de conmutación y sin un elevado número de puertos eléctricos. Establecen enlaces ópticos de larga distancia con los nodos colaterales de la red WAN (redes FAN), y enlaces ópticos de corta distancia o eléctricos con los switches de las redes FAN del propio emplazamiento.

Para este perfil de comunicación, también se establecerá un direccionamiento IPv6.

A esta red WAN, también se unirían los sistemas de gestión de la energía del Administrador Ferroviario, así como del Operador del Sistema Eléctrico. De esta forma, la REFI controla todo el flujo de energía que se envía y se recibe de la red, y dota a la misma de un alto grado de automatización y control.

Figura 9. Topología de la Red “Wire Area Network – WAN”



## 4. NUEVOS DESARROLLOS TECNOLÓGICOS A IMPLEMENTAR EN LA NUEVA REFI

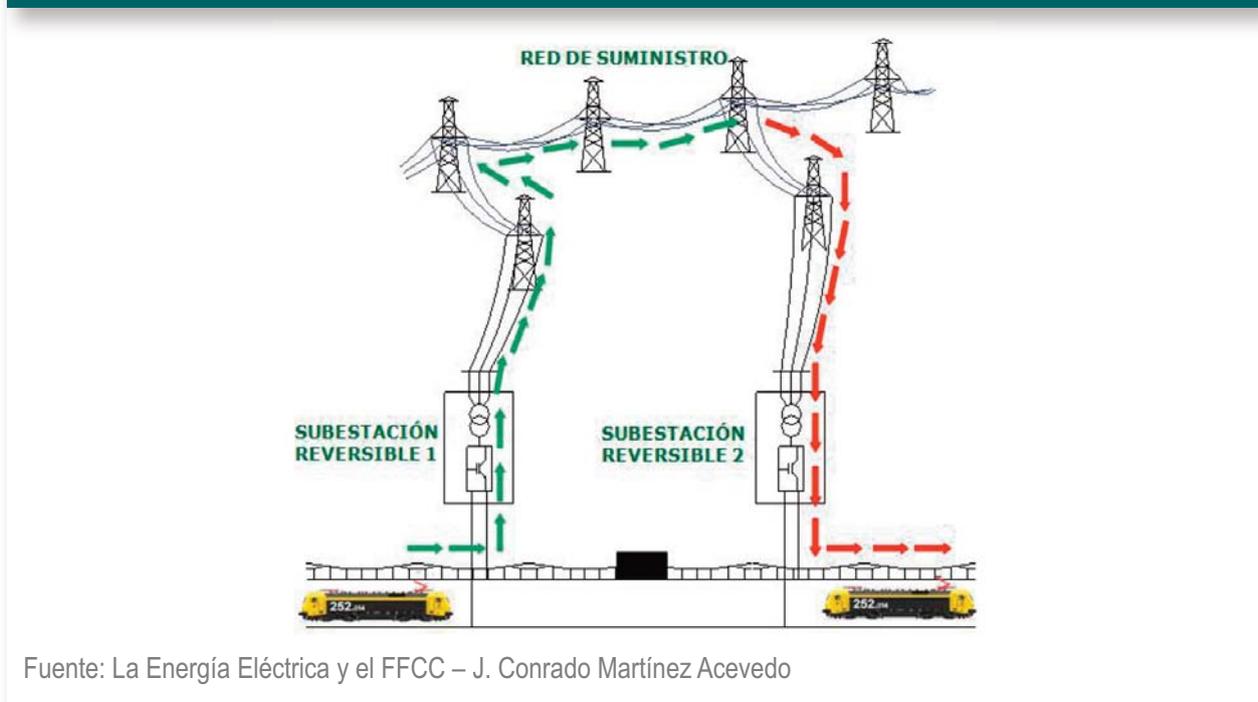
En el nuevo concepto de red eléctrica ferroviaria bajo configuración y tecnología “Smart Grid”, dan cabida los nuevos y recientes desarrollos tecnológicos entre los que destacan los siguientes:

### Subestación Eléctrica Reversible CC.

Una subestación eléctrica reversible C/C es aquella que en el ámbito de una subestación eléctrica de tracción de corriente continua, es capaz de enviar la energía regenerada en el frenado eléctrico de los trenes, a la red de distribución, previo proceso de inversión (Ver Fig. 9).

De esta manera este nuevo sistema permitirá devolver a la red toda aquella energía no utilizada por el sistema ferroviario convencional, contribuyendo a la eficiencia energética global del sistema eléctrico, pues se podrá hacer uso de esta energía para otros fines.

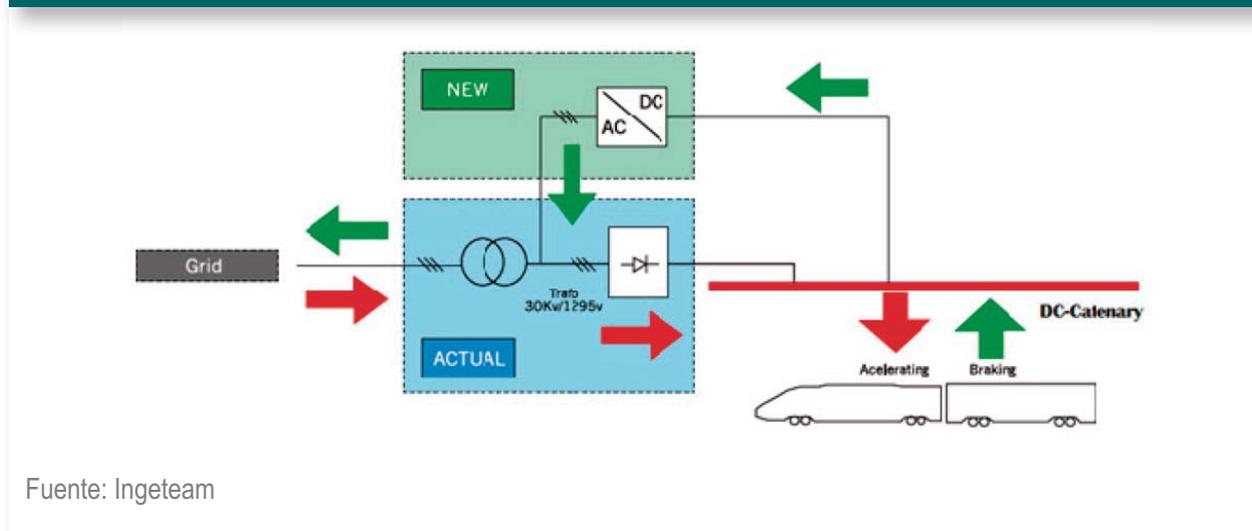
Figura 10. Inversión de Corriente en línea Convencional



En la figura 10 aparece representado en color azul el esquema eléctrico de una subestación de corriente continua no reversible, y en color verde la instalación de equipos necesaria para que la subestación pueda devolver parte de la energía regenerada a la Red de abastecimiento (SEP General).

Dentro de las nuevas tecnologías a implementar en una red eléctrica ferroviaria Smart Grid (REFI), una de ellas resulta de la combinación de las subestaciones eléctricas reversibles con los sistemas de almacenamiento. El objetivo fundamental de la instalación de un sistema de almacenamiento de energía dentro de una subestación eléctrica reversible es la nivelación de la curva de carga de la subestación. El sistema almacenaría la energía de frenado devuelta por los trenes y la devolvería cuando estos la demanden, todo ello conforme a una consigna de explotación relacionada generalmente con la tensión eléctrica de la línea aérea de contacto. La inversión en estos dispositivos de aprovechamiento de energía regenerada está fuertemente condicionado por su eficiencia en cada caso particular (dependiendo de la cantidad de energía regenerada que realmente se puede recuperar), ya que son dispositivos relativamente caros.

Figura 11. Esquema básico de Subestación de Corriente Continua con Inversor y Sistema de Acumulación



Fuente: Ingeteam

### Almacenamiento.

Los sistemas de Almacenamiento, desempeñarán un papel fundamental en la red Smart-Grid (REFI) pues bajo su filosofía se busca una optimización de los procesos energéticos. Entre la línea aérea de contacto y los módulos de almacenamiento existirá un convertidor electrónico de potencia con el objeto de acondicionar la señal entre ambos elementos así como controlar el trasvase de energía entre ambos. Su principio de funcionamiento, consiste en almacenar la energía regenerada en plantas de almacenamiento situadas en tierra, que se situarán o en la propia subestación de tracción, o repartidas a lo largo de la línea, y que suministrarán la energía almacenada cuando los trenes vuelvan a demandarla.

### Microgeneración.

Un sistema de Microgeneración de energía eléctrica, se obtiene mediante dispositivos de obtención de energías renovables (solar y eólica) junto con un dispositivo de almacenamiento, considerando que su potencia nominal no sobrepasará los 20 kW.

Los sistemas de Microgeneración, contarán con un sistema de almacenamiento de energía, donde se acumule el excedente de generación y lo dejen disponible de uso en las horas de mayor consumo o cuando no se cuente con provisión de energía solar o eólica.

Su aplicación en la REFI será de la mano de pequeños consumidores instalados a pie de vía e infraestructura que en la actualidad se alimentan directamente desde la catenaria (instalaciones de alta velocidad o de C/A) o desde el feeder de alimentaciones auxiliares (instalaciones convencionales o de C/C). Por citar algunos elementos, su aplicación quedaría para elementos o dispositivos de control de parámetros que afecten a la operación o la vía, p. ej., dispositivos de medición de viento, elementos de medición de cajas calientes, etc...

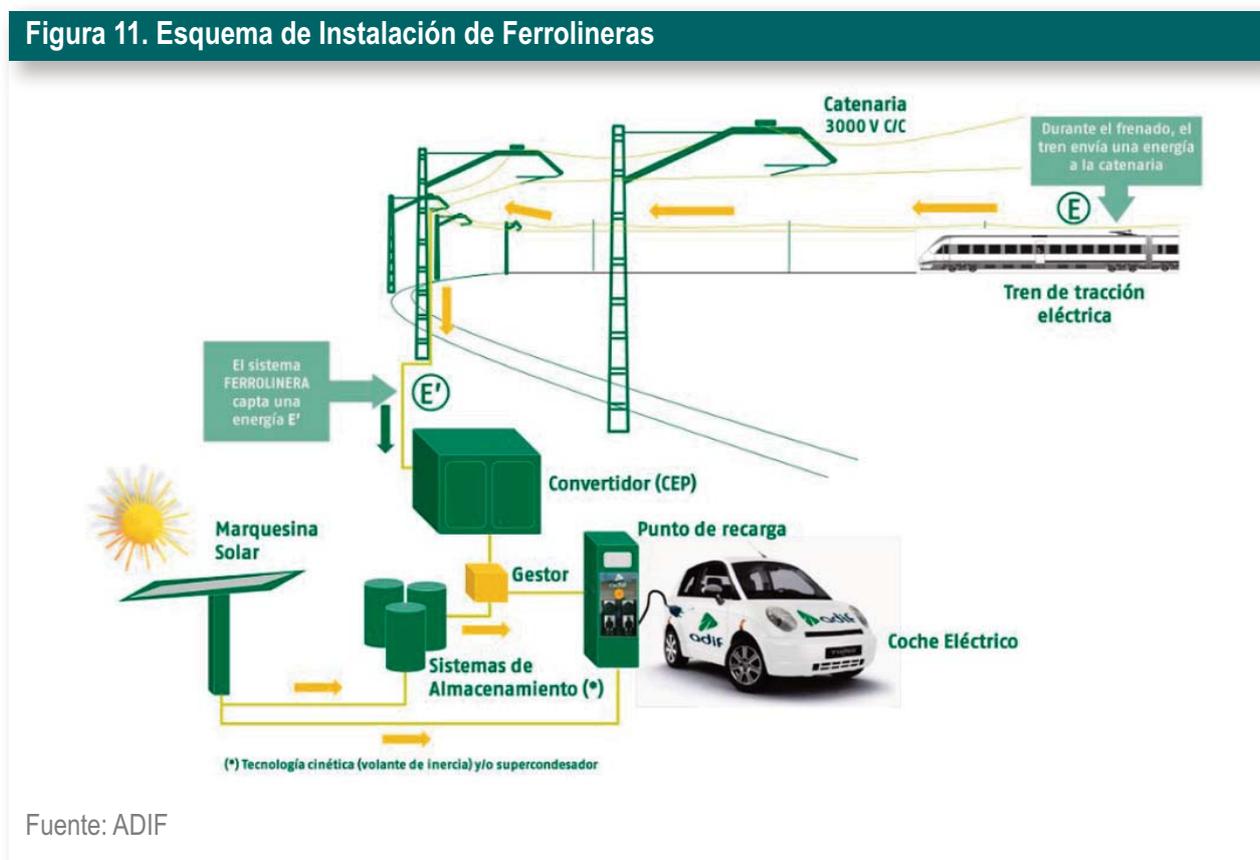
## Ferrolineras.

La implantación de esta nueva tecnología, dependerá en mayor o menor grado del avance de implantación de la tecnología Smart Grid en la red eléctrica ferroviaria.

Se trata de un innovador sistema de carga de vehículos eléctricos que consiste en aprovechar la energía eléctrica procedente de las subestaciones eléctricas que alimentan la catenaria (generada mediante la aplicación del frenado regenerativo de los trenes), almacenar dicha energía limpia en sistemas de almacenamiento de energía, y sumarla a las energías renovables (fotovoltaica o eólica) recogida en las marquesinas de los aparcamientos de estas instalaciones.

Un gestor de control establece las consignas predeterminadas que cargan al coche eléctrico, teniendo en sí una auténtica red eléctrica inteligente (Smart Grid).

Figura 11. Esquema de Instalación de Ferrolineras



El vehículo eléctrico (tecnología V2G) constituye un sistema importante dentro de las redes Smart Grid, por lo que su integración dentro del sector eléctrico ferroviario mediante su conexión a las ferrolineras situadas en la nueva red, permitirá disponer de un uso más eficiente de la energía, contribuyendo así a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector del transporte.

La red ferroviaria española cuenta con 14.000 kilómetros de extensión y más de 1.500 estaciones e instalaciones susceptibles de aprovechamiento por el sistema, lo que le permitiría convertirse en el mayor agregador de puntos de recarga y contribuir a impulsar la industria del vehículo eléctrico.

## 5. CONCLUSIONES

Las Smart Grids proporcionan una serie de ventajas directas sobre empresas y usuarios que repercutirán directamente en el desarrollo del mercado energético y en la evolución de la red eléctrica hacia una red inteligente. Al sector ferroviario, no le son indiferentes estas ventajas, y la aplicación y transformación de su red eléctrica a una red eléctrica inteligente (Smart-Grid) redundará en una mejora global para todo su sistema.

La evolución y conversión de la red eléctrica actual a una nueva REFI (Red Eléctrica Ferroviaria Inteligente “Smart Grid”), se plantea de forma factible. Se crea la figura del “nodo de comunicación”, asociado a la infraestructura eléctrica ferroviaria actual donde se incorporan las nuevas tecnologías que van a permitir dotar a la red de una mayor independencia, al disponer la red de una generación distribuida, un mayor nivel de supervisión y automatización y una mayor seguridad.

Aparece la figura de la subestación eléctrica reversible C/C que toma un papel muy importante en todo el sistema, junto con la importancia de la gestión de energía proporcionada por el freno eléctrico por recuperación.

Todo ello será posible gracias a la existencia de un sistema central que permitirá una mayor gestión de la demanda energética de la red en concordancia con la gestión de la explotación ferroviaria. La implantación de este sistema, estará en consonancia y en relación directa con los sistemas eléctricos y de telecomunicaciones que se disponen actualmente en la red eléctrica ferroviaria española.

Por lo tanto, se llega a la conclusión general de que con la implementación de un sistema Smart-Grid en la red eléctrica ferroviaria, se espera contribuir a una mejora de la eficiencia energética, y al desarrollo del nuevo sistema de gestión energético ferroviario, mediante el logro de un mejor aprovechamiento de todos los recursos disponibles, pudiendo llegar así a mejorar la operación y rentabilidad de toda la red eléctrica ferroviaria.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] BOAL MARTIN-LARRAURI, Jaime. *Smart Grid. Comunicaciones Industriales Avanzadas*, 2.010.
- [2] BRUINENBERG, Jan, et al. *Smart Grid Coordination Group Technical Report Reference Architecture for the Smart Grid Version 3.0 (Draft) 2012-08-11*. CEN, CENELEC, ETSI, Tech.Rep, 2012.
- [3] CARMONA SUAREZ, Manuel; and MONTESINOS ORTUÑO, Jesus. *Sistemas De Alimentación a La Tracción Ferroviaria*. FORMARAIL, S.L., 2012. ISBN 978-84-615-9536-5.
- [4] Centros Tecnológicos de España, FEDIT. *SMART GRIDS y La Evolución De La Red Eléctrica. Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones.*, 2.011.
- [5] Collaborative project. *Sustainable and Intelligent Management of Energy for Smarter Railway Systems in Europe: An Integrated Optimisation Approach*. (MERLIN). <http://www.merlin-rail.eu/> ed., 2.012.
- [6] CONRADO MARTÍNEZ-ACEVEDO, Jose. *Análisis De Las Perturbaciones Producidas Por El Sistema Eléctrico De Potencia De Ferrocarriles De Alta Velocidad Alimentados a Frecuencia Industrial Analysis of Disturbances Produced by the Electric Power System of High Speed Railways Fed at Industrial Frequency*. *Revista Vía Libre-Técnica*, 2014, pp. 1.
- [7] CONRADO MARTÍNEZ-ACEVEDO, José. MUGISF-M4-EF-01. *Sistemas De Instalaciones Ferroviarias. Electrificación Ferroviaria. La Energía Eléctrica y El FFCC.* . CONRADO MARTINEZ-ACEVEDO, José ed., Madrid, Enero 2.014a.
- [8] CONRADO MARTÍNEZ-ACEVEDO, José. MUGISF-M4-EF-06. *Sistemas De Instalaciones Ferroviarias. Electrificación Ferroviaria. La Subestación Eléctrica De Tracción. Conceptos Principales.* . CONRADO MARTINEZ-ACEVEDO, José ed., Madrid, Enero 2.014c.
- [9] CONRADO MARTÍNEZ-ACEVEDO, José, et al. *Devolución De Energía Eléctrica Desde El Sistema Ferroviario a La Red De Suministro y Reaprovechamiento Previo.*, pp. 1.
- [10] CONRADO MARTÍNEZ-ACEVEDO, José, *Repaso general y perspectiva tecnológica futura de la infraestructura de tracción ferroviaria (I)*. *Revista Vía Libre-Técnica*, 2015.
- [11] *Diario Oficial de la Unión Europea. Directiva 2012/27/UE Del Parlamento Europeo y Del Consejo, De 25 De Octubre De 2012, Relativa a La Eficiencia Energética, Por La Que Se Modifican Las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y Por La Que Se Derogan Las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE*. BOE: 14-11-12, 2012.
- [12] DÍAZ ANDRADE, Carlos Andrés; and HERNÁNDEZ, Juan Carlos. *Smart Grid: Las TIC's y La Modernización De Las Redes De Energía Eléctrica. Estado Del Arte. Sistemas y Telemática*, 2011.
- [13] EUROPEAN COMMISSION, Energy. *European Commission - Energy - Single Market for Gas & Electricity - Smart Grids*. Available from: [http://ec.europa.eu/energy/gas\\_electricity/smartgrids/taskforce\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/gas_electricity/smartgrids/taskforce_en.htm)
- [14] FOSSATI, Juan Pablo. *Revisión Bibliográfica Sobre Microredes Inteligentes. Memoria De Trabajos De Difusión Científica y Técnica*, 2011, vol. 9, pp. 13-20.

[15] GARCÍA ÁLVAREZ, Alberto; and Martín Cañizares, M<sup>a</sup> del Pilar. *ELECRAIL - Monografía 1 - Cuantificación Del Consumo De Energía Eléctrica Del Ferrocarril Español*. Fundación de los Ferrocarriles Españoles. ed. , 2008. ISBN 978-84-89649-85-9.

[16] GERACI, Anne, et al. *IEEE Standard Computer Dictionary: Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries*. IEEE Press, 1.991.

[17] HAWKINS, K. *Smart Grid Problems Revealed: The NERC Study*, 2.010.

[18] MELIS MAYNAR, Manuel; and GONZÁLEZ FERNANDEZ, Francisco J. *Ferrocarriles Metropolitanos. Tranvías, Metros Ligeros, y Metros Convencionales*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos., 2.002. ISBN 9788438003848.

[19] MORENO, Víctor Andrés Martín. *Diseño e Implementación De Una Red De Comunicaciones Ferroviaria De Alta Velocidad Design and Implementation of a Telecommunications Network High-Speed Rail. El Efecto De Los Trenes y Servicios De Ancho Variable En La Accesibilidad De La Red Ferroviaria De Alta Velocidad*, 2012, vol. 4, pp. 49.

