

TRABAJO FIN DE MÁSTER:
“COMPARATIVA DE LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE TRACCIÓN DEL SISTEMA FERROVIARIO DE LÍNEAS DE ALTA VELOCIDAD DE 1X25 Y 2X25 DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONÓMICO”

Carlos Encinas Vicente

10/06/2016

AUTOR:

Carlos Encinas Vicente

Firma:



Directos del Trabajo Fin de Master:

Ernesto Labarta Saz

Firma:



Programa Cursado y Curso Académico:

Master Universitario en Sistemas Ferroviarios, 2º curso

Título de trabajo:

“Comparativa de la Construcción del Sistema de Alimentación de Tracción en 1x25 o 2x25 del Sistema Ferroviario de Líneas de Alta Velocidad desde el punto de vista económico”.

Resumen de las principales ideas desarrolladas:

Se realiza un análisis de los sistemas de alimentación eléctrica a la tracción ferroviaria de alimentación en 1x25 y 2x25 kV, con una breve descripción técnica de los mismos para poder entender el análisis económico de cada una de las instalaciones y las diferencias principales y de esta forma poder tomar la decisión de implementar uno u otro según las características de la red de distribución del país en el que se implante.

1 ÍNDICE

1	ÍNDICE	2
2	ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	3
3	AGRADECIMIENTOS.....	4
4	ACRÓNIMOS.....	5
5	ANTECEDENTES	6
6	OBJETIVOS DEL TRABAJO.....	8
7	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO.....	9
	7.1 El sistema de alimentación de 1x25 kV.	11
	7.1.1 Subestación eléctrica de tracción	11
	7.1.2 Línea aérea de contacto	14
	7.1.3 Comportamiento de la corriente en el sistema	15
	7.2 El sistema de alimentación de 2x25 kV.	16
	7.2.1 Subestación eléctrica de tracción	16
	7.2.2 Autotransformador intermedio y autotransformador final.....	19
	7.2.3 Línea aérea de contacto	20
	7.2.4 Comportamiento de la corriente en el sistema	21
	7.3 Ventajas e inconvenientes de los dos sistemas a nivel técnico	27
8	ANÁLISIS DE LAS INSTALACIONES	28
	8.1 Comparativa de los equipos de ambos sistemas.....	28
	8.2 Perfil de las instalaciones	29
	8.2.1 Perfil de las instalaciones de 1x25	31
	8.2.2 Perfil de las instalaciones de 2x25	33
	8.3 Presupuesto.....	35
	8.3.1 Presupuesto de las instalaciones de 1x25.....	35
	8.3.2 Presupuesto de las instalaciones de 2x25.....	39
	8.3.3 Comparativa de presupuestos y análisis de la solución óptima (Aportaciones).....	60
9	PLANIFICACIÓN	62
10	CONCLUSIONES	63
11	BIBLIOGRAFÍA.....	64

2 ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mapa de España de distribución de las distintas líneas de AV en servicio.	6
Ilustración 2. Esquema de Sistema de Alimentación del Sistema Ferroviario.	9
Ilustración 3. Esquema de alimentación a las SET desde las SERT para 2x25 y que se considera igual para ambos sistemas de 1x25 y 2x25.	10
Ilustración 4. Esquema unifilar de 220 kV de una SET de 1x25 kV hasta los transformadores de tracción.	12
Ilustración 5. Esquema unifilar de 25 kV de una SET hasta la salida al pórtico de feeder.	13
Ilustración 6. Sección de LAC en el sistema de 1x25 kV.	14
Ilustración 7. Recorrido de corriente desde la subestación hasta la catenaria.	15
Ilustración 8. Recorrido de corriente desde el carril hacia la subestación.	15
Ilustración 9. Esquema unifilar de 220 kV de una SET de 2x25 kV hasta los transformadores de tracción.	17
Ilustración 10. Esquema unifilar de 55 kV de una SET de 2x25 kV hasta la salida al pórtico de feeder.	18
Ilustración 11. Esquema unifilar de un ATI.	19
Ilustración 12. Sección de LAC en el sistema de 2x25 kV.	21
Ilustración 13. Recorrido de la corriente desde la SET hasta la catenaria (idéntico al sistema de 1x25 kV).	22
Ilustración 14. Recorrido de la corriente desde el carril a la SE (idéntico al sistema de 1x25 kV).	22
Ilustración 15. Recorrido de la corriente desde la SET al material rodante (flecha roja) y desde el carril a la SE (flecha negra) y al ATI (flecha gris).	23
Ilustración 16. Recorrido de la corriente desde la SET al material rodante (flecha roja), desde el carril a la SE (flecha negra) y al ATI (flecha gris) y desde el ATI hacia el material rodante (flecha naranja) y por el feeder negativo hasta la SET (flecha azul).	23
Ilustración 17. Recorrido de la corriente desde la SET más la corriente que aporta el ATI al material rodante (flecha burdeos) y desde el ATI al feeder negativo (flecha azul).	24
Ilustración 18. Recorrido de la corriente desde el carril al ATI 1 (flecha gris oscuro) y desde el carril al ATI 2 (flecha gris claro). Recorrido de la corriente desde el feeder negativo hasta la SET (flecha azul). De esta forma, se consigue que no circule casi corriente por el carril.	24
Ilustración 19. Reparto de la corriente desde la SET hacia la catenaria entre los dos ATIs (flecha roja), desde el ATI 1 hacia el feeder negativo (flecha verde oscuro) y hacia la catenaria (flecha naranja). Por otro lado, el reparto de la corriente desde el ATI 2 hacia el feeder negativo (flecha azul cian) y hacia la catenaria (flecha morada).	25
Ilustración 20. Reparto de la corriente entre los dos ATIs, desde el ATI 1 hacia el feeder negativo (flecha verde oscuro) y hacia la catenaria sumada la corriente que viene de la SET (flecha burdeos). Por otro lado, el reparto de la corriente desde el ATI 2 hacia el feeder negativo (flecha azul cian) y hacia la catenaria (flecha morada).	25
Ilustración 21. Recorrido de la corriente desde el carril al ATI 1 (flecha gris oscuro) y desde el carril al ATI 2 (flecha gris claro). Recorrido de la corriente desde el feeder negativo hasta la SET (flecha azul). De esta forma, se consigue que no circule casi corriente por el carril.	26
Ilustración 22. Perfil de la traza para el sistema de 1x25 kV.	32
Ilustración 23. Perfil de la traza para el sistema de 2x25 kV.	33

3 AGRADECIMIENTOS

Este Trabajo Fin de Master del Máster de Sistemas Ferroviarios se lo dedico a Mónica, M^o Victoria e Inés ya que sin su apoyo y comprensión no habría podido realizarlo ni asistir a las clases.

Por supuesto a los profesores, sin los cuales y sin sus conocimientos que nos han transmitido con gran ahínco, tesón y perseverancia (ya que muchas veces no es fácil hacerse entender y mucho menos lidiar con los estudiantes) no habría podido realizar este documento ni conocer tan a fondo los sistemas ferroviarios.

A mi Director del trabajo, jefe y compañero de profesión, Ernesto Labarta, ya que sin sus aportaciones y orientación este trabajo no habría podido salir adelante.

4 ACRÓNIMOS

ATI: Autotransformador Intermedio.

ATF: Autotransformador Final.

AV: Alta Velocidad.

LAC: Línea Aérea de Contacto.

LAT: Línea de Alta Tensión.

REE: Red Eléctrica de España.

SERT: Subestación Eléctrica de la Red de Transporte.

SET: Subestación Eléctrica de Tracción.

5 ANTECEDENTES

Dentro de los posibles sistemas de alimentación eléctrica a la tracción ferroviaria, este trabajo se va a centrar en la alimentación que se emplea mayoritariamente en Europa y como principal alimentación a la Alta Velocidad en España.

De los dos sistemas, a fecha de realización de este trabajo, la alimentación en 1x25 kV es la que se emplea en la línea de Madrid-Sevilla y ramal a Toledo, mientras que la alimentación en 2x25 es la que se emplea en el resto de las líneas de Alta Velocidad (Madrid-Barcelona-Frontera Francesa, Madrid-Valencia, Madrid-Valladolid, Córdoba-Málaga, Ourense-A Coruña, Motilla del Palancar-Alicante, Zaragoza Huesca).



Ilustración 1. Mapa de España de distribución de las distintas líneas de AV en servicio.

En el mapa no se indica la fecha de puesta en servicio de las líneas, pero la primera de ellas fue la correspondiente a la línea Madrid-Sevilla en sistema de 1x25 kV. A partir de ese momento, se prosiguió con nuevas líneas, siguiendo con la de Madrid-Lérida, Madrid-Barcelona, Madrid-Valladolid... en el sistema de 2x25, hasta configurar el mapa actual de líneas de alta velocidad española.

En la actualidad existen gran número de proyectos realizados a la espera de ejecución y obras en desarrollo de nuevas líneas de AV en toda España empleando en todos los casos el sistema de 2x25 kV.

La comparativa técnica entre ambos sistemas se va a realizar en los siguientes apartados para conocer la naturaleza de los dos sistemas, entender las diferencias y posteriormente realizar la comparativa a nivel económico.

6 OBJETIVOS DEL TRABAJO

Este Trabajo Fin de Master se va a enfocar como una comparativa económica desde el punto de vista de la construcción de las instalaciones de electrificación dedicadas a la tracción ferroviaria en el Sistema de Alimentación de 1x25 kV frente al de 2x25 kV. No se va a considerar el sistema de alimentación en 3 kVcc que es junto con los anteriormente descritos uno de los principales sistemas de alimentación en los ferrocarriles Españoles. También se va a realizar una comparativa técnica de ambos sistemas para una mejor comprensión de la comparativa económica.

7 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

Cada uno de los sistemas de 1x25 y 2x25 será descrito por separado, para tener una idea clara de los equipos que se emplean en cada una de ellas y cuáles son las mayores diferencias si se considerara cada uno de los sistemas en una misma línea y en un trazado tipo de 100 km con una alimentación desde Red Eléctrica de España (REE) con tensiones de 220 o 400 kV. Estas consideraciones se realizan para poder comparar sistemas similares, ya que 1x25 también puede ser alimentado por 132 kV e incluso en algunos casos por 66 kV, es decir, que al precisar menores potencias, las Subestaciones de 1x25 podrían alimentarse con menores tensiones.

Esta comparativa incluye:

- Inclusión de la parte correspondiente a la Subestación Eléctrica de la Red de Transporte (SERT).
- Línea de Alta Tensión (LAT) de acometida desde la subestación de REE hasta la subestación de ADIF.
- Subestación Eléctricas de Tracción (SET) de 1x25 o 2x25 kV.
- Línea Aérea de Contacto (LAC).

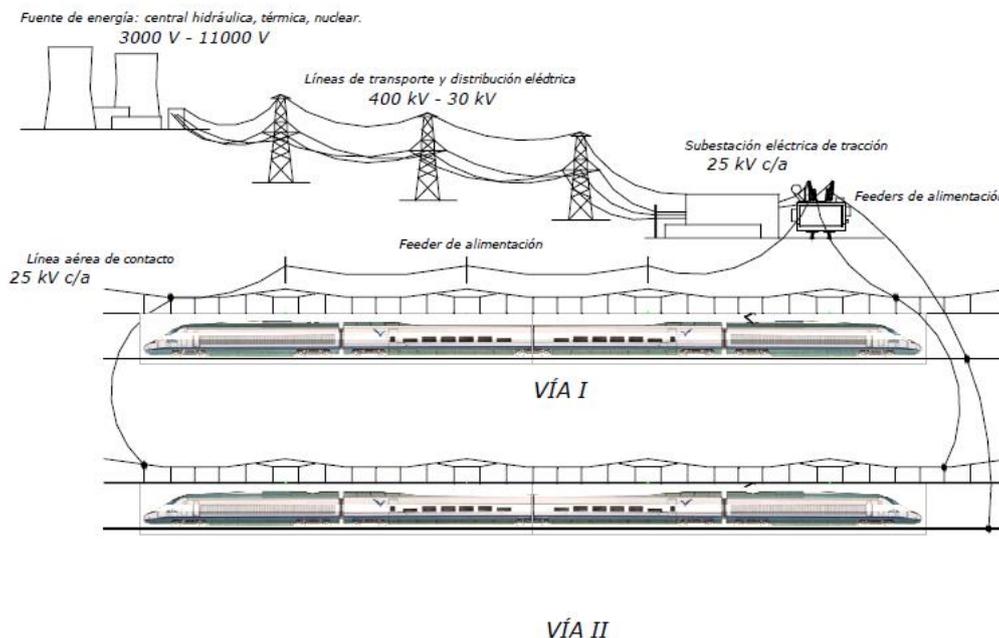


Ilustración 2. Esquema de Sistema de Alimentación del Sistema Ferroviario.

Los precios que se van a incluir de los elementos lineales (LAT de acometida y LAC) son precios generales por km.

Las actuaciones de modificación de las SERT se consideran iguales para ambos sistemas, pese a que las líneas de uno y otro sistema proporcionan potencias diferentes, los interruptores y seccionadores a igualdad

de tensión que se instalan, son los mismos, con interruptores para 2.500 A y seccionadores para 2.000 A ambos con una intensidad de corta duración de 40 kA en 1s. Se desprecia para esta comparativa, las diferencias de precio que puedan suponer las diferentes relaciones de transformación de los transformadores de intensidad para cada una de las SERT.

No se incluye la plataforma ni las actuaciones asociadas a la misma, ya que las modificaciones de un sistema a otro son despreciables.

Tampoco se consideran las instalaciones asociadas a Señalización ni Telecomunicaciones, ya que en ambos casos los dos sistemas disponen de los mismos equipos o las diferencias son despreciables a igualdad de condiciones.

No se incluye el Material Rodante, ya que la tensión con la que va a trabajar es la misma en los dos casos con 25 kV y una tensión de aislamiento de 27,5 kV.

ESQUEMA ACTUAL DE LA ALIMENTACIÓN LAS SSEE DE TRACCIÓN DESDE LAS SSEE DE TRANSPORTE

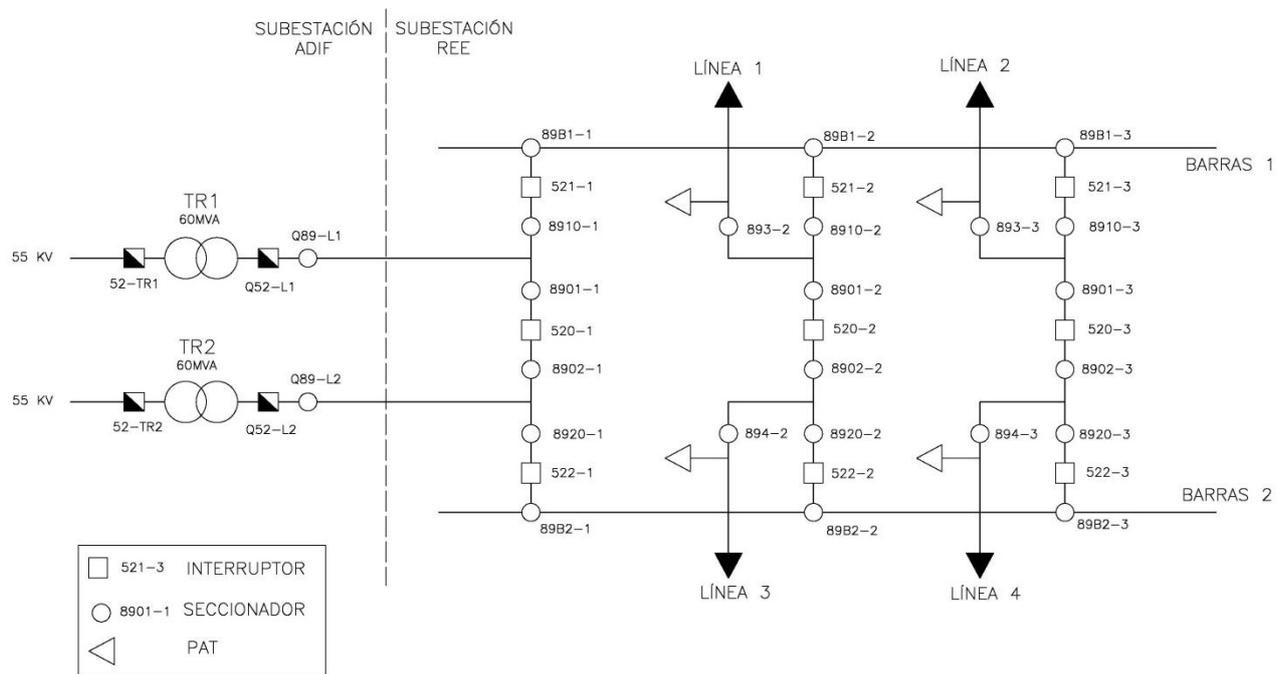


Ilustración 3. Esquema de alimentación a las SET desde las SERT para 2x25 y que se considera igual para ambos sistemas de 1x25 y 2x25.

7.1 EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE 1X25 KV.

Esta denominación se le da al sistema por la forma de suministrar energía desde las subestaciones de tracción hasta el material rodante. La energía se proporciona desde las SET hasta la LAC, por medio de unos conductores denominados feeder. Se van a analizar cada uno de los componentes principales por separado.

7.1.1 SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE TRACCIÓN

La Subestación Eléctrica de Tracción (SET) es una subestación encargada de transformar la energía que se recibe de la red de transporte o de distribución y adaptarla a las necesidades de la explotación ferroviaria, en cuanto a tensión de servicio y potencia demandada por el material rodante.

La SET dispone de dos líneas independientes de 220 kV de la SERT que alimentan a las barras de los grupos. Éstas barras están conectadas por medio de un seccionador de puenteo para poder alimentar a ambos transformadores desde la misma línea, por lo que en este tipo de subestaciones se alimenta a los transformadores con las mismas fases. De todas formas, dado el nivel de potencia de cada uno de los transformadores, no es necesario trabajar con ambos transformadores en paralelo y lo habitual es que funcione el sistema con uno solo, teniendo cerrado el seccionador de puenteo entre barras de las celdas de 25 kV de tensión nominal. En este caso la relación de transformación de los transformadores es de 220/27,5 kV y grupo de conexión Ii0 con dos fases en el secundario, una conectada a la catenaria y la segunda al armario de barra cero y desde él hasta el carril.

En el parque de intemperie, la distribución de la subestación es la que se indica en la siguiente ilustración:

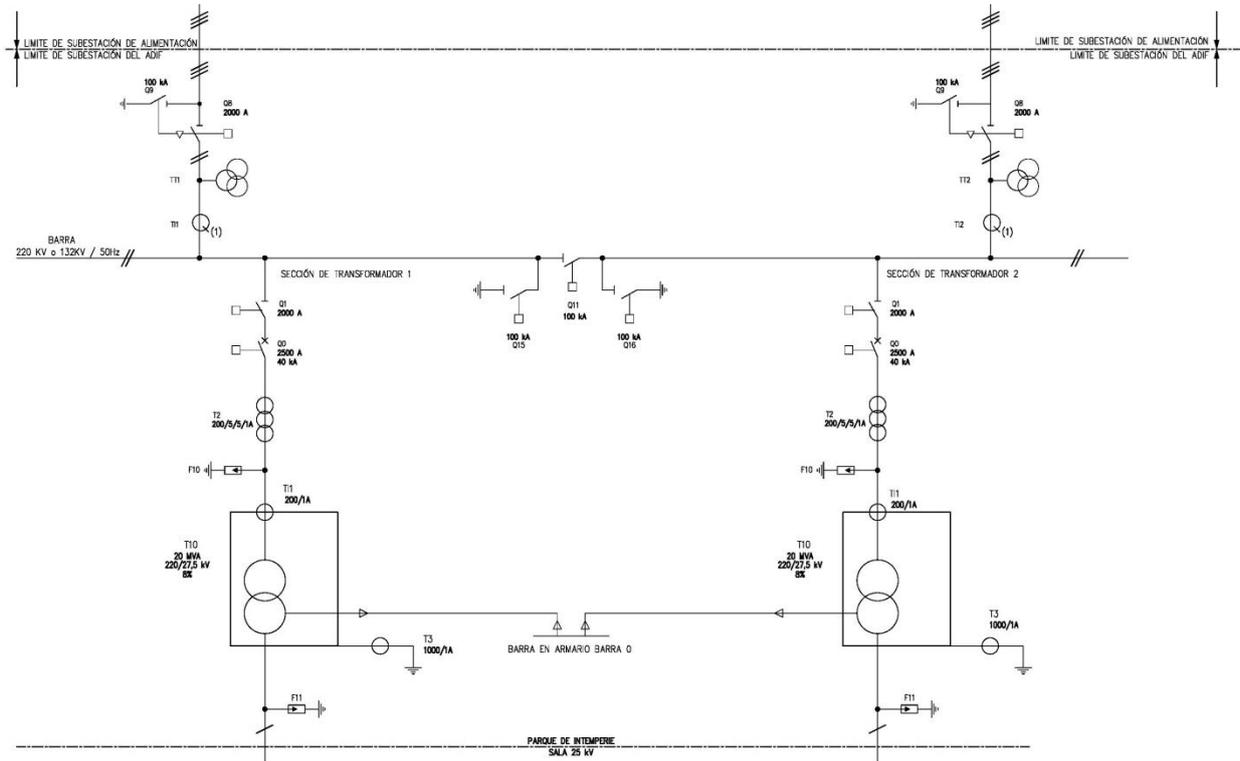


Ilustración 4. Esquema unifilar de 220 kV de una SET de 1x25 kV hasta los transformadores de tracción.

En este esquema se aprecia una configuración en H de la SET con un seccionador entre las dos barras a las que llegan las dos líneas independientes desde la SERT.

A continuación se representa el esquema unifilar de la SET desde los transformadores de tracción hasta el pórtico de salida de feeder.

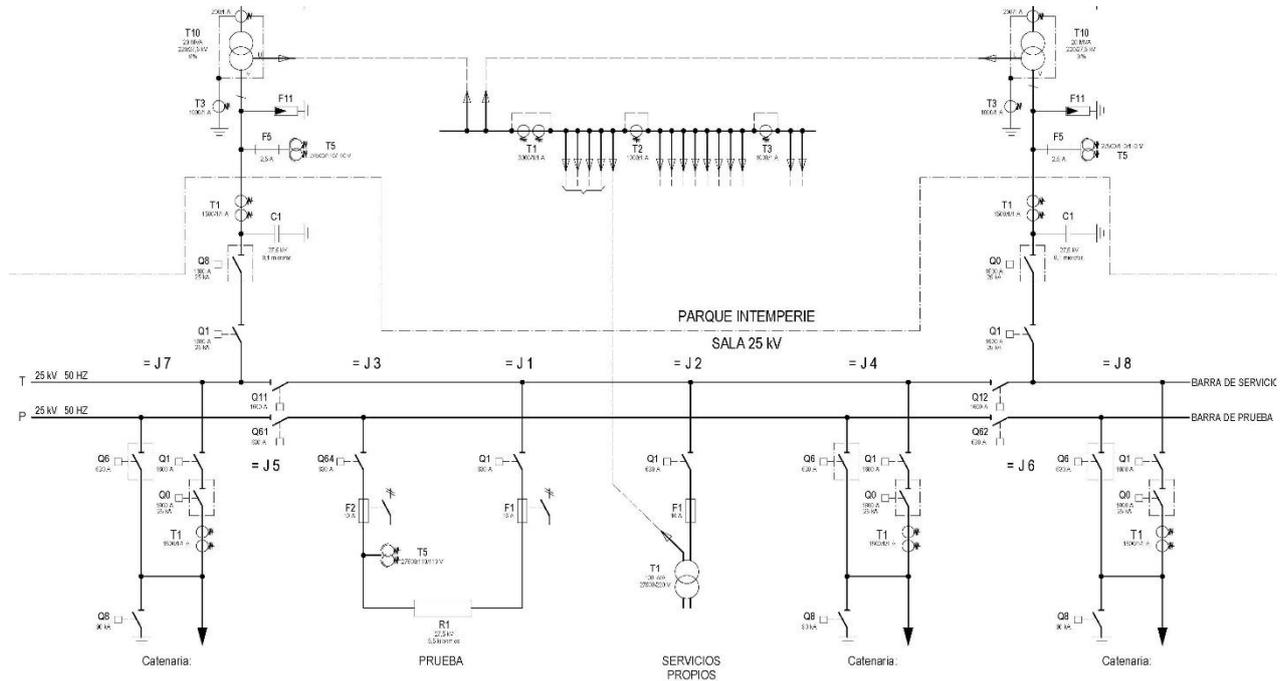


Ilustración 5. Esquema unifilar de 25 kV de una SET hasta la salida al pórtico de feeder.

En este sistema, desde los transformadores de tracción se parte con dos fases, una para los seccionadores de las salidas de feeder y desde ellos a la catenaria y otra para conectarla al armario de negativos y desde él hasta las vías.

Es un ejemplo de instalación en la cual las tensiones de aislamiento de los equipos en el lado de baja tensión del transformador de tracción son de 27,5 kV. Como se puede ver la salida a catenaria se realiza con un solo feeder y un solo seccionador, realizando la conexión de puesta a tierra a través de un seccionador.

7.1.2 LÍNEA AÉREA DE CONTACTO

La LAC de 1x25 kV se compone principalmente de una serie de elementos que son:

- Elementos puramente mecánicos:
 - El poste metálico de sustentación.
 - La ménsula.
- Elementos de transporte de energía:
 - Catenaria
 - Hilo de contacto.
 - Sustentador.
 - Péndolas.
 - Cable de tierra o de retorno.
 - Carriles.

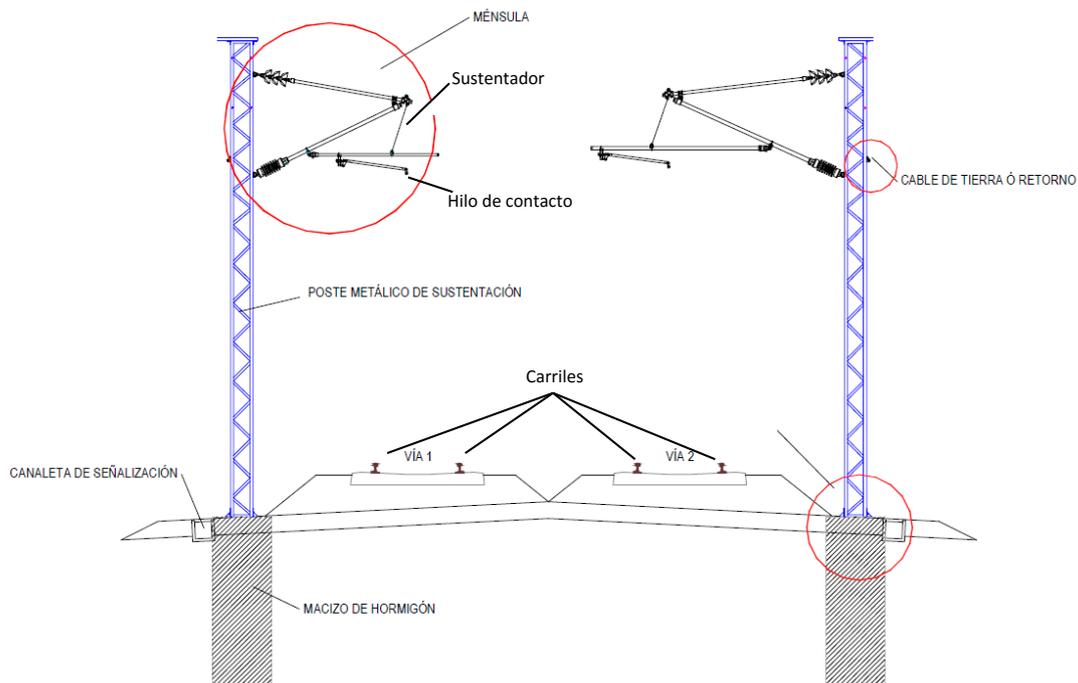


Ilustración 6. Sección de LAC en el sistema de 1x25 kV.

Este sistema se denomina de esta forma, porque es un sistema simple en el que la tensión de catenaria es de 25 kV y el retorno de corriente se produce por el carril, por lo que el transporte de la energía se produce entre 0 y 25 kV.

7.1.3 COMPORTAMIENTO DE LA CORRIENTE EN EL SISTEMA

En las siguientes imágenes se ve el recorrido que realiza la corriente en este sistema:

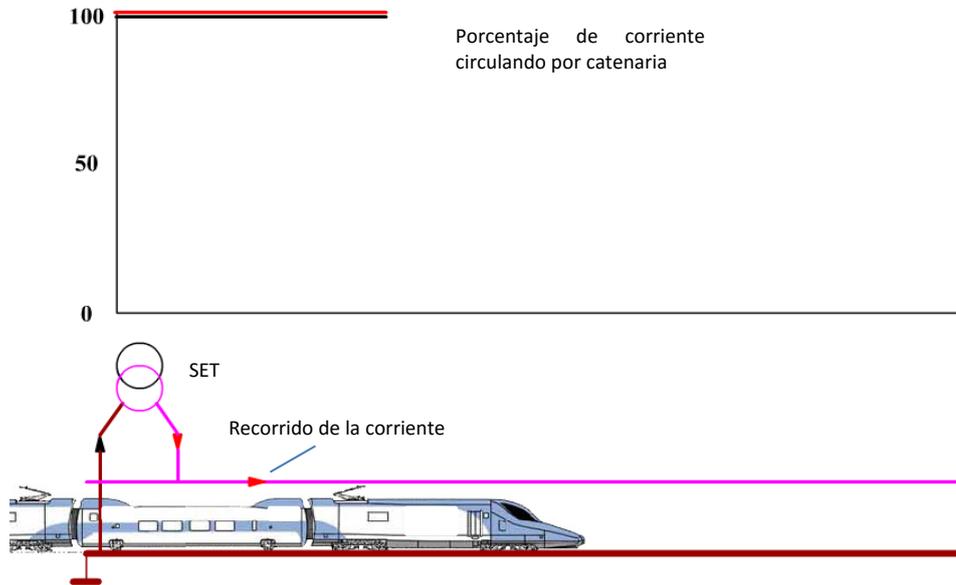


Ilustración 7. Recorrido de corriente desde la subestación hasta la catenaria.

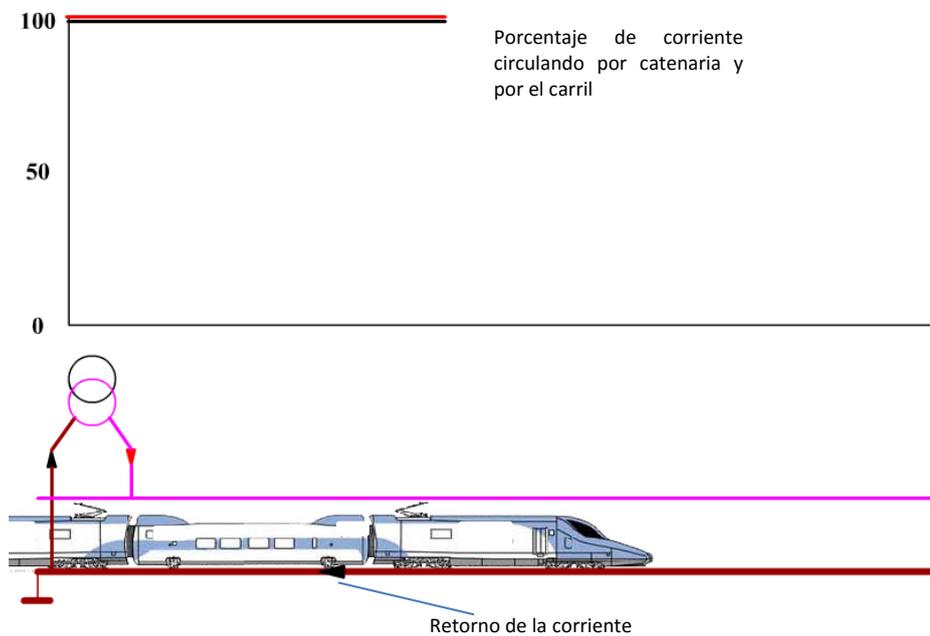


Ilustración 8. Recorrido de corriente desde el carril hacia la subestación.

Dado que el sistema es simple, la corriente se entrega al material rodante por la LAC y retorna a la SET por los carriles, por lo que es un sistema de funcionamiento y explotación sencillo.

7.2 EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE 2X25 KV.

Este es un sistema en el que se dispone de la LAC, las subestaciones y además los autotransformadores empleados en los ATI y los ATF. Los autotransformadores se emplean para elevar la tensión en la catenaria, repartir la corriente que circula por los conductores del sistema y reducir las caídas de tensión, lo que permite ejecutar menos inyecciones de energía desde la red de transporte. Es decir, se eliminan puntos de conexión con la red existente exterior al sistema ferroviario.

7.2.1 SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE TRACCIÓN

El esquema unifilar de la instalación de la SET de 2x25 es muy similar a la de 1x25. En el caso de ejemplo que se plantea, la SET recibe dos acometidas independientes desde la SERT, realizando el puenteo o la conexión de barras en la propia SERT. En este caso, los equipos de protección de la SET tienen las mismas características que los instalados en el sistema de 1x25, salvo porque en este caso deben soportar mayor intensidad al tener que entregar más potencia (pese a esto los seccionadores e interruptores instalados en uno y otro sistema son iguales), hasta llegar a los transformadores, que son de mayor potencia y con una relación de transformación 220/2x27,5 kV y grupo de conexión Ii0-Ii6, disponiendo de dos fases conectadas a la catenaria y al feeder negativo y el neutro conectado al armario de barra cero y desde éste hasta el carril. Por esta razón los equipos aguas abajo del transformador de tracción deben estar dimensionados para tensiones de aislamiento de 50 kV de tensión nominal o 55 kV de tensión máxima admisible, en vez de los 25 de tensión nominal, que son 27,5 kV de tensión máxima permanente del sistema de 1x25.

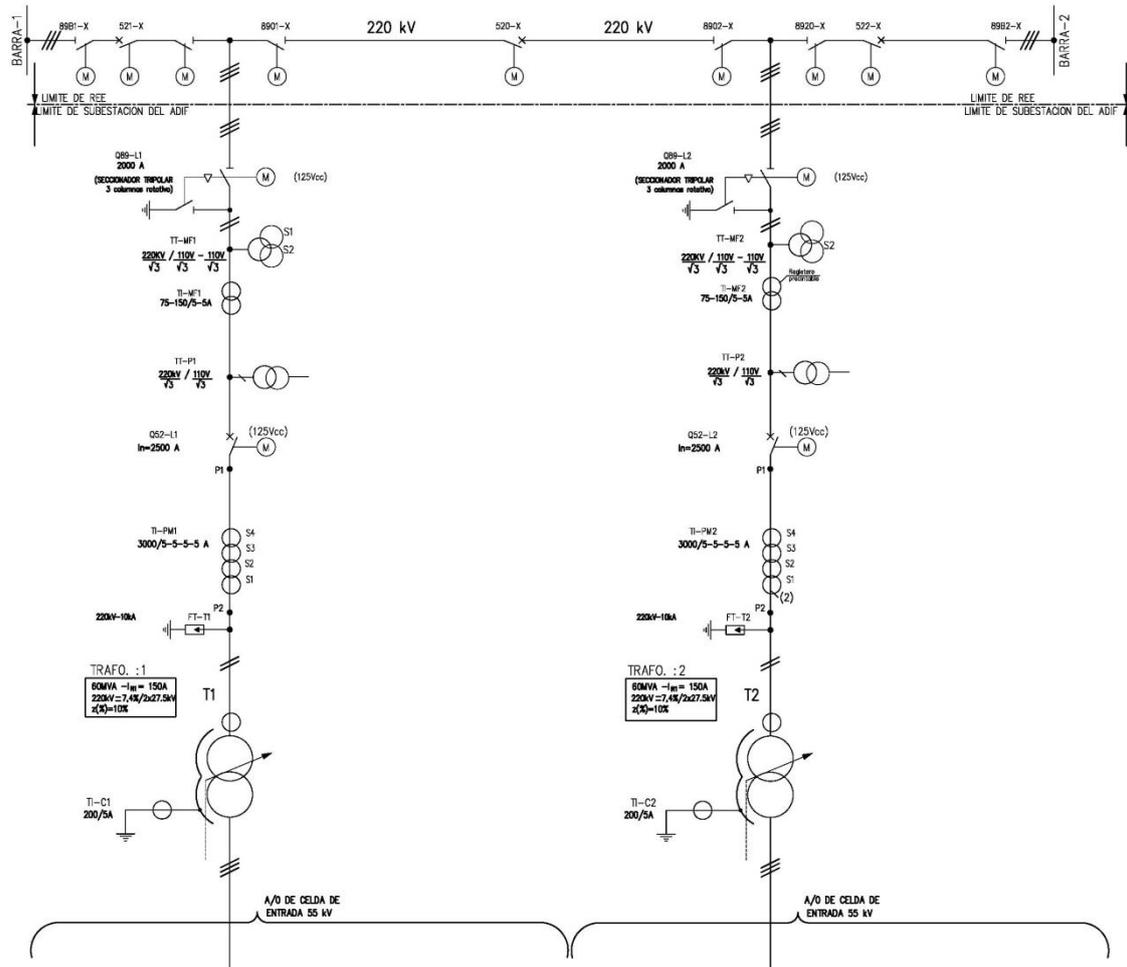


Ilustración 9. Esquema unifilar de 220 kV de una SET de 2x25 kV hasta los transformadores de tracción.

La parte aguas debajo de los transformadores de tracción se conforma con cabinas metálicas de 50 kV de tensión nominal y 55 kV de tensión máxima admisible, de aislamiento para las salidas de feeder y la medida y el puenteo entre las diferentes barras, que permiten la alimentación de todo el trayecto desde un solo transformador o dividir el tramo alimentando cada parte con un transformador. Desde estas cabinas se sale a los seccionadores del pórtico de feeder y desde ellos a la catenaria.

Se representa la SET completa con los dos grupos de tracción y la alimentación a la catenaria hacia los dos lados, incluyendo una zona neutra de LAC enfrente de la subestación.

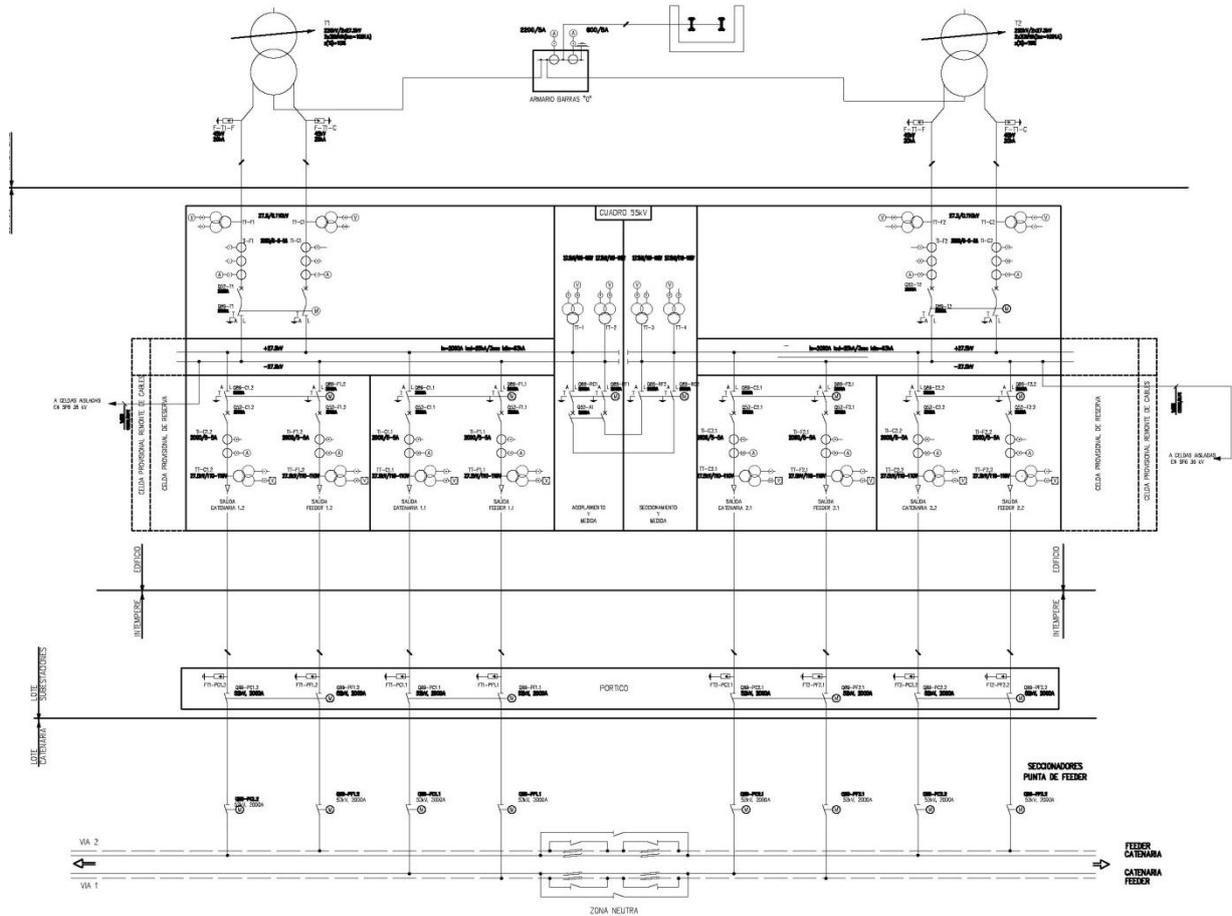


Ilustración 10. Esquema unifilar de 55 kV de una SET de 2x25 kV hasta la salida al pórtico de feeder.

En este caso las conexiones con la catenaria y el feeder negativo se realizan desde la misma cabina, en la que se enclavan los seccionadores de protección porque la desconexión se debe realizar simultáneamente de ambos conductores. Como se aprecia en el propio unifilar, el sistema se complica respecto al de 1x25 y el control por tanto debe ser más elaborado.

7.2.2 AUTOTRANSFORMADOR INTERMEDIO Y AUTOTRANSFORMADOR FINAL

Este sistema se caracteriza porque además de disponer de una subestación como la indicada en el punto anterior, también dispone de Autotransformadores intermedios (ATI) y Autotransformadores finales (ATF). La diferencia entre uno u otro, es que el segundo se emplea para separar dos zonas eléctricas o zona que alimenta cada subestación y la colateral, por lo que consiste en dos ATI instalados en el mismo edificio. Por esta razón, solamente se va a incluir la ilustración del esquema unifilar de un ATI, por claridad de visualización del esquema.

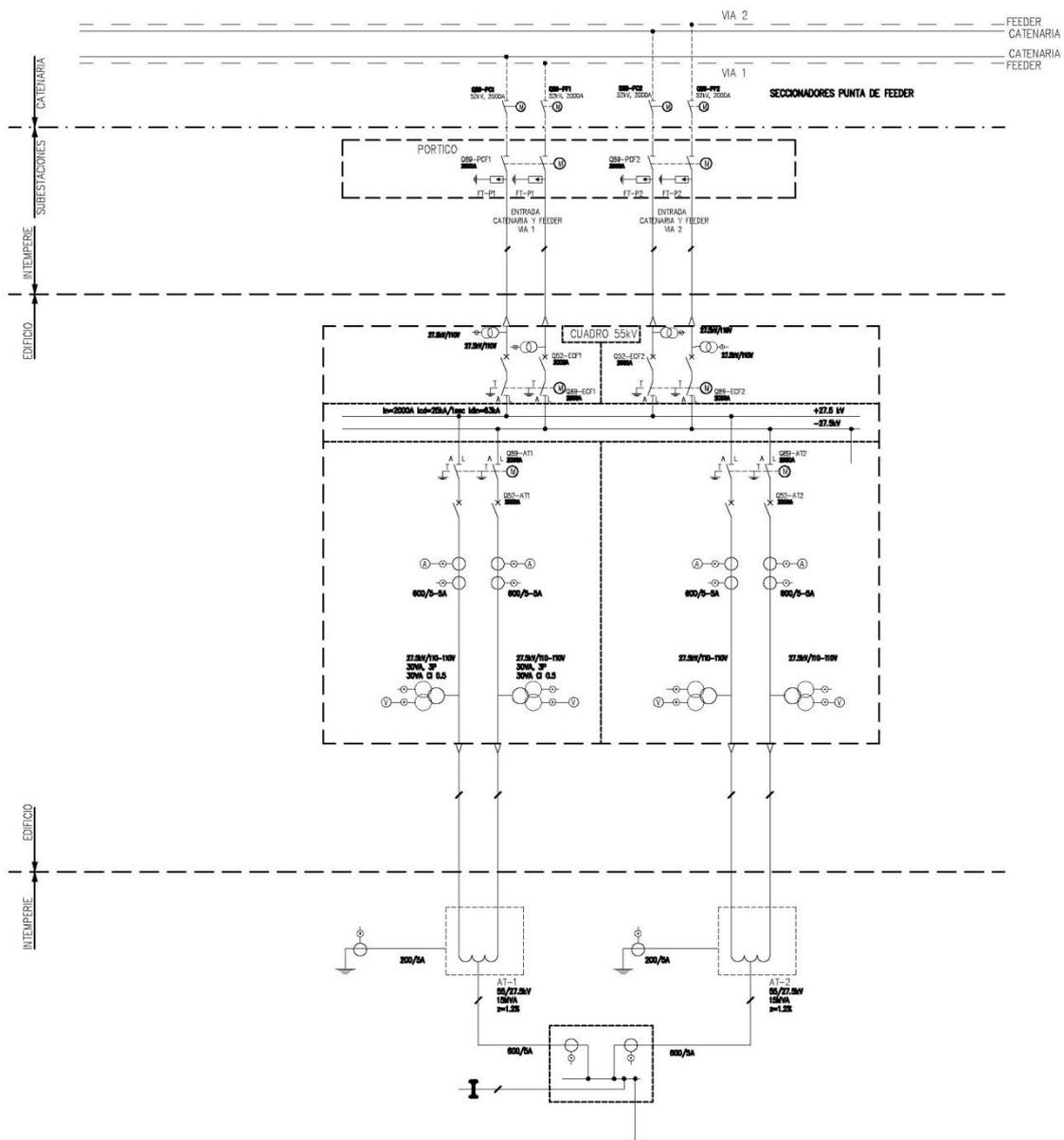


Ilustración 11. Esquema unifilar de un ATI.

Se conectan la catenaria y el feeder negativo a través de las correspondientes cabinas con los dos polos de los autotransformadores, que a su vez se conectan al armario de negativos y desde él al carril.

Cada uno de los autotransformadores instalados en un ATI y en los ATF tienen una relación de transformación 50/25 kV y grupo de conexión Ii0 con sus correspondientes cabinas de conexión y protección. Este esquema de un ATI representa dos autotransformadores, por lo que en un ATF se representarían e instalarían cuatro autotransformadores.

7.2.3 LÍNEA AÉREA DE CONTACTO

La LAC de 2x25 kV se compone principalmente de una serie de elementos que son:

- Elementos puramente mecánicos:
 - El poste metálico de sustentación.
 - La ménsula.
- Elementos de transporte de energía:
 - Feeder negativo.
 - Catenaria
 - Hilo de contacto.
 - Sustentador.
 - Péndolas.
 - Cable de tierra o de retorno.
 - Carriles.

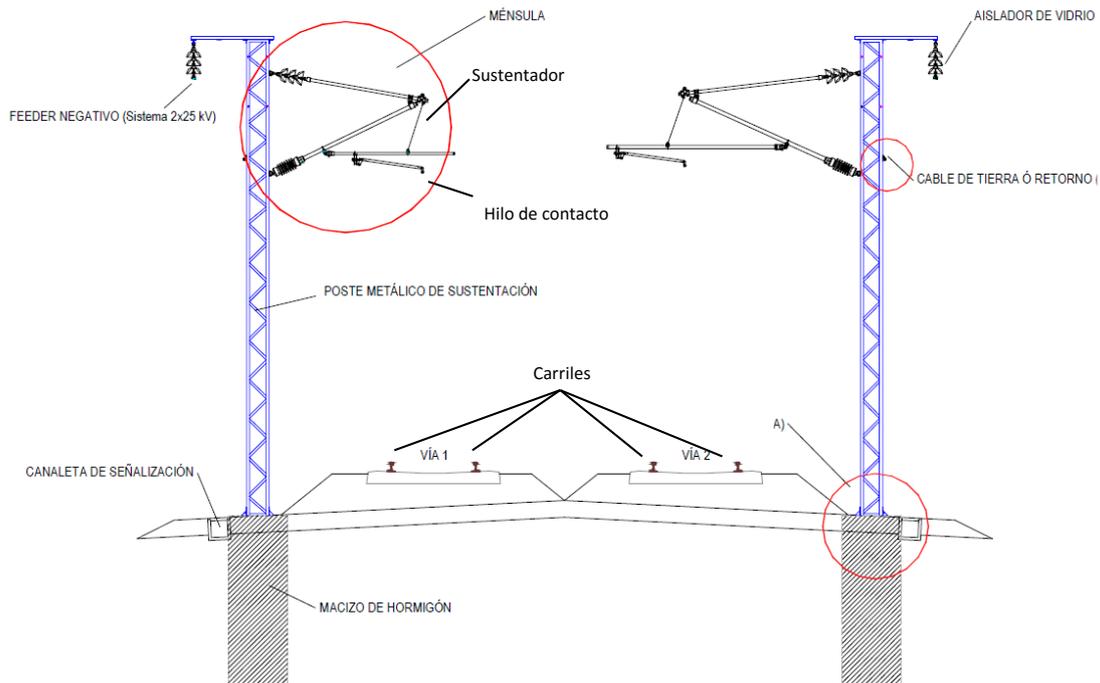


Ilustración 12. Sección de LAC en el sistema de 2x25 kV.

Este sistema se denomina de esta forma, porque es un sistema en el que la tensión de catenaria es de 25 kV y el retorno de corriente se produce por el carril, pero se dispone de un feeder negativo con una tensión de -25 kV, por lo que el transporte de la energía se produce entre 25 kV en fase y 25 kV en desfase de π .

Esta distribución frente a la del sistema de 1x25, además de reducir las caídas de tensión, permite, por la disposición de los conductores (feeder negativo y catenaria) y por la oposición de fase de ambas tensiones 25 en fase y 25 kV en desfase de π , que la inducción de corrientes en el entorno ferroviario sea menor que en el caso del sistema simple.

7.2.4 COMPORTAMIENTO DE LA CORRIENTE EN EL SISTEMA

En las siguientes imágenes se ve el recorrido que realiza la corriente en este sistema:

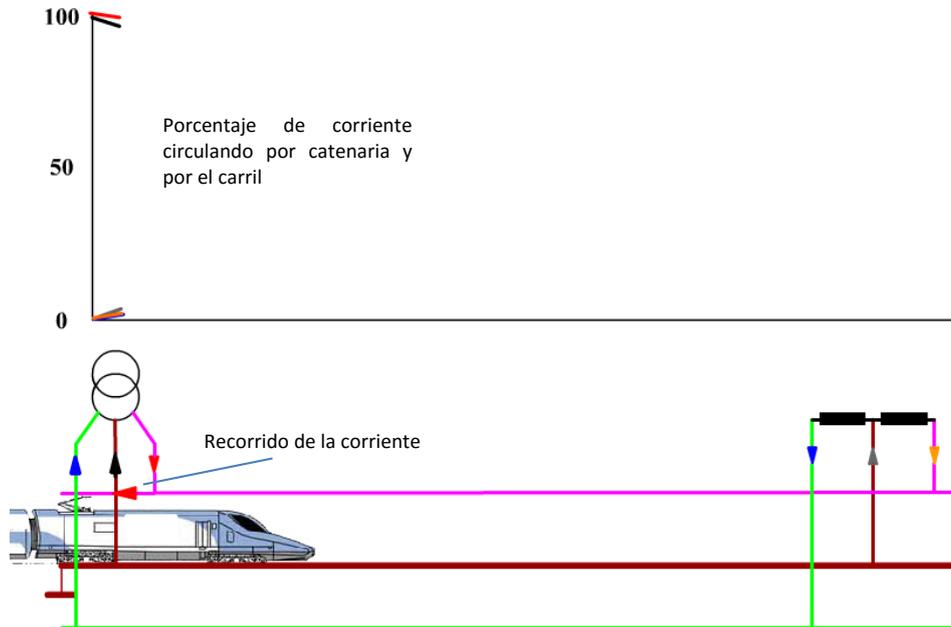


Ilustración 13. Recorrido de la corriente desde la SET hasta la catenaria (idéntico al sistema de 1x25 kV).

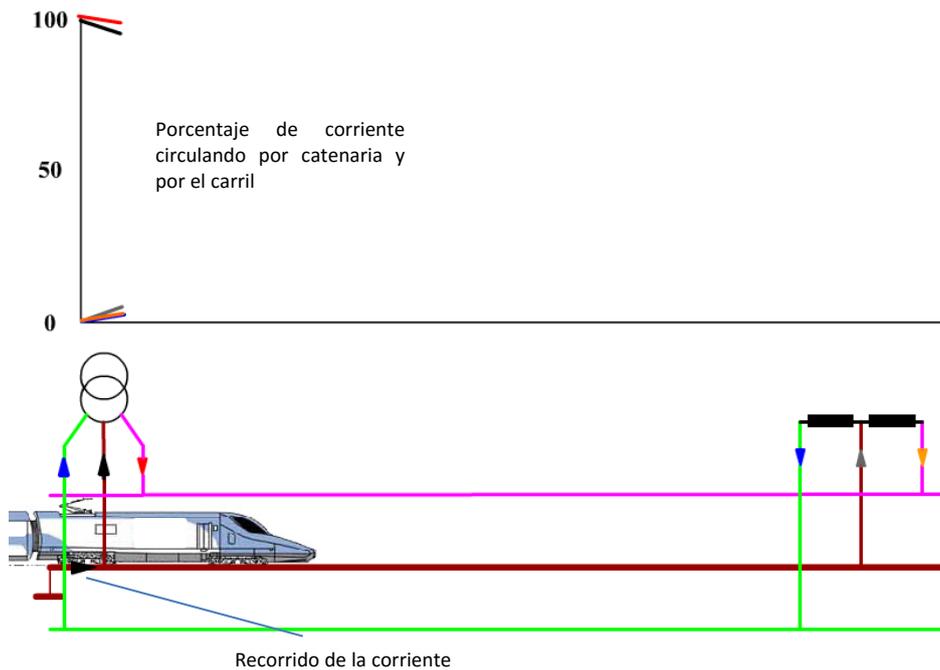


Ilustración 14. Recorrido de la corriente desde el carril a la SE (idéntico al sistema de 1x25 kV).

En el punto enfrente de la SET toda la corriente de retorno, circula por el carril, igual que en el caso de 1x25 kV.

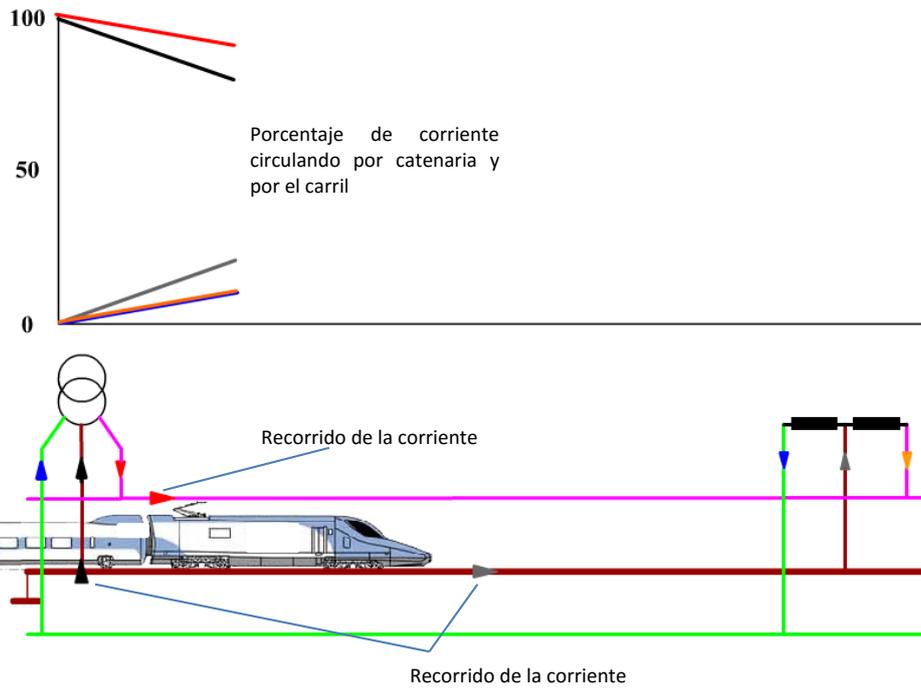


Ilustración 15. Recorrido de la corriente desde la SET al material rodante (flecha roja) y desde el carril a la SE (flecha negra) y al ATI (flecha gris).

En este caso, la corriente circula mayoritariamente como en el sistema de 1x25, aunque hay parte de la corriente que se dirige al ATI, por el carril, por lo que comienza a producirse un reparto de la corriente, consiguiendo que no circule toda hacia la SET.

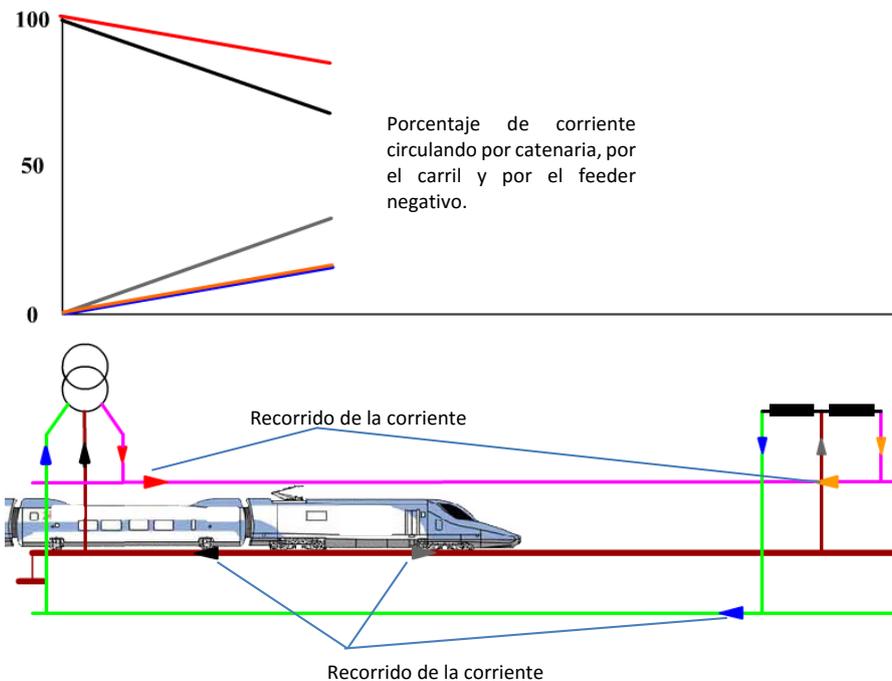


Ilustración 16. Recorrido de la corriente desde la SET al material rodante (flecha roja), desde el carril a la SE (flecha negra) y al ATI (flecha gris) y desde el ATI hacia el material rodante (flecha naranja) y por el feeder negativo hasta la SET (flecha azul).

El ATI se encarga de repartir parte de la corriente hacia la catenaria y parte de la corriente hacia el feeder negativo, aunque como se aprecia en la gráfica todavía es un porcentaje pequeño de corriente.

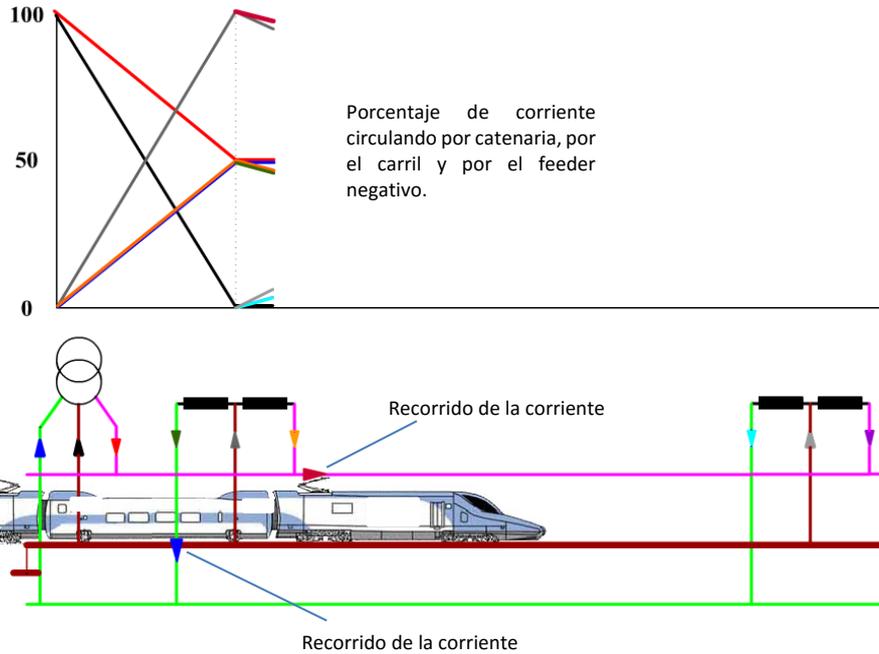


Ilustración 17. Recorrido de la corriente desde la SET más la corriente que aporta el ATI al material rodante (flecha burdeos) y desde el ATI al feeder negativo (flecha azul).

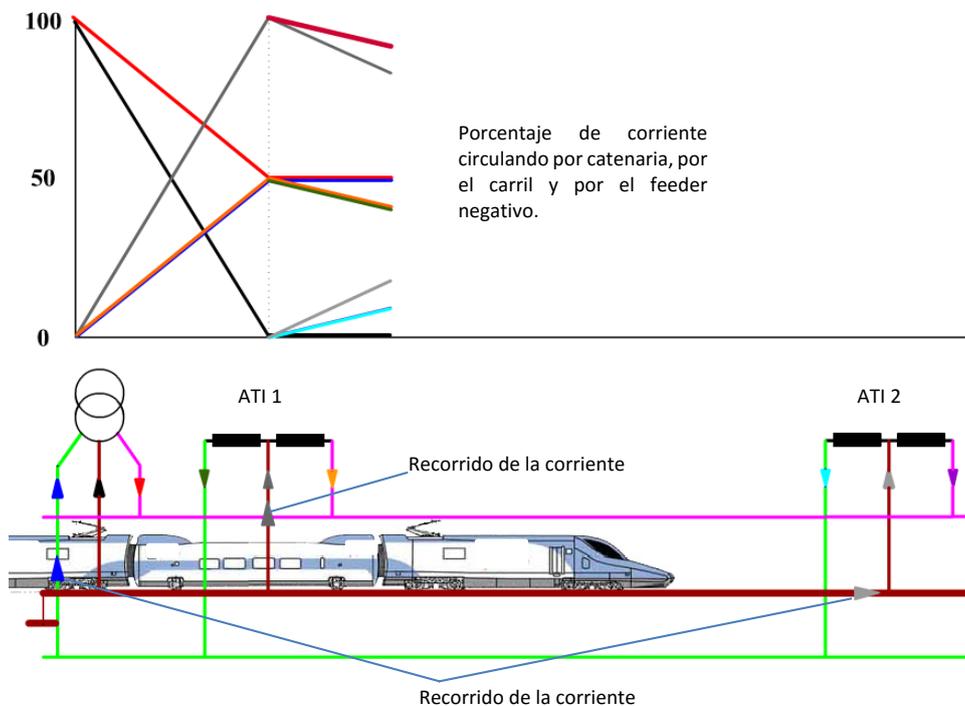


Ilustración 18. Recorrido de la corriente desde el carril al ATI 1 (flecha gris oscuro) y desde el carril al ATI 2 (flecha gris claro). Recorrido de la corriente desde el feeder negativo hasta la SET (flecha azul). De esta forma, se consigue que no circule casi corriente por el carril.

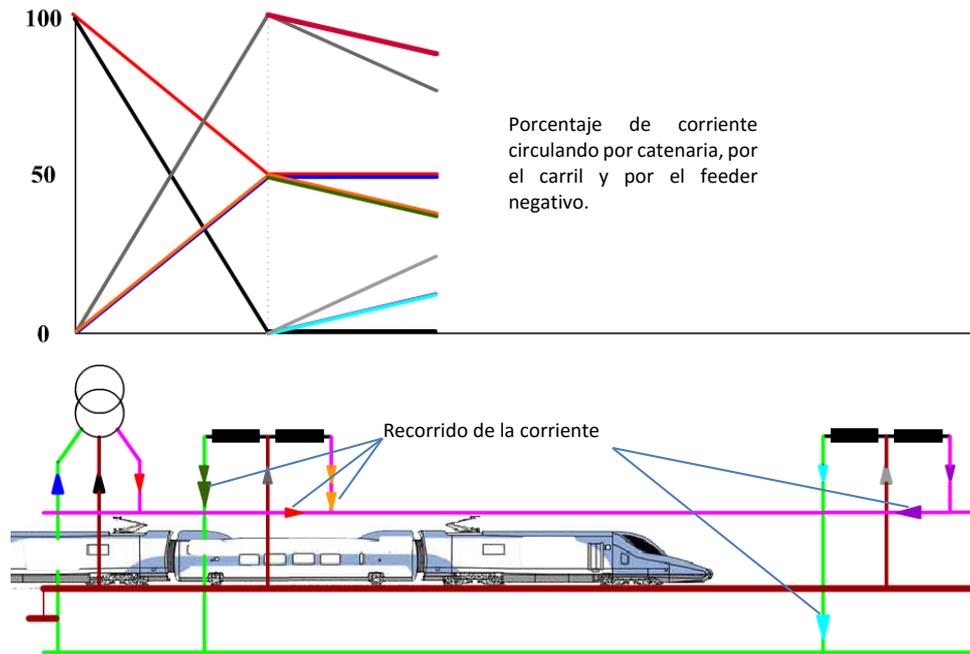


Ilustración 19. Reparto de la corriente desde la SET hacia la catenaria entre los dos ATIs (flecha roja), desde el ATI 1 hacia el feeder negativo (flecha verde oscuro) y hacia la catenaria (flecha naranja). Por otro lado, el reparto de la corriente desde el ATI 2 hacia el feeder negativo (flecha azul cian) y hacia la catenaria (flecha morada).

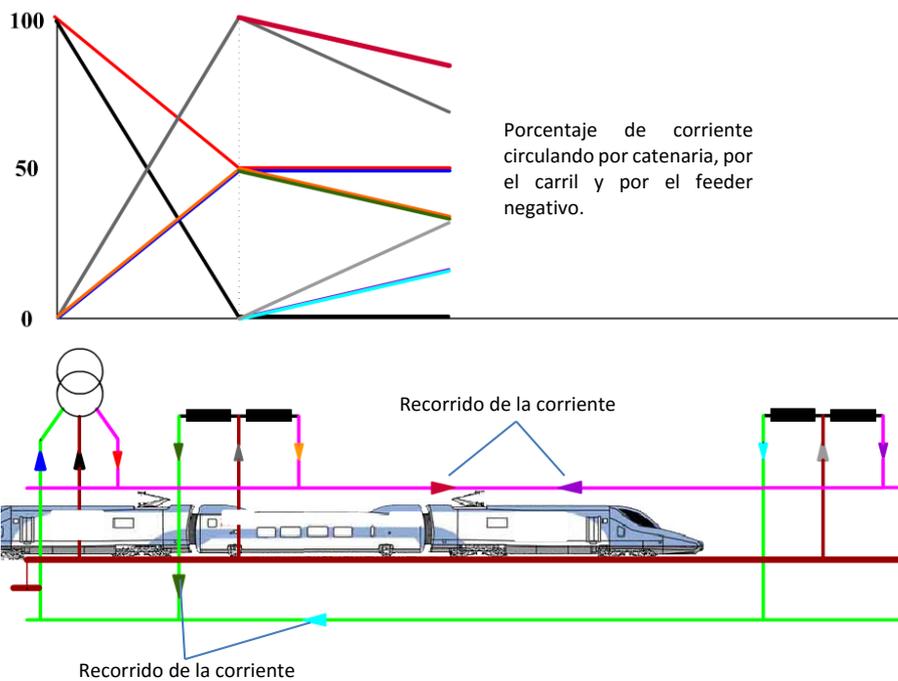


Ilustración 20. Reparto de la corriente entre los dos ATIs, desde el ATI 1 hacia el feeder negativo (flecha verde oscuro) y hacia la catenaria sumada la corriente que viene de la SET (flecha burdeos). Por otro lado, el reparto de la corriente desde el ATI 2 hacia el feeder negativo (flecha azul cian) y hacia la catenaria (flecha morada).

Como se aprecia en el caso del tren entre los dos ATI, la corriente se distribuye en su mayor parte por el feeder negativo, por lo que se evita que circule toda por el carril, que es lo que sucede en el caso del sistema de 1x25 kV. Con esta situación, lo que se está evitando es la existencia de corrientes vagabundas en el entorno ferroviario, o por lo menos de menor intensidad que en el sistema simple

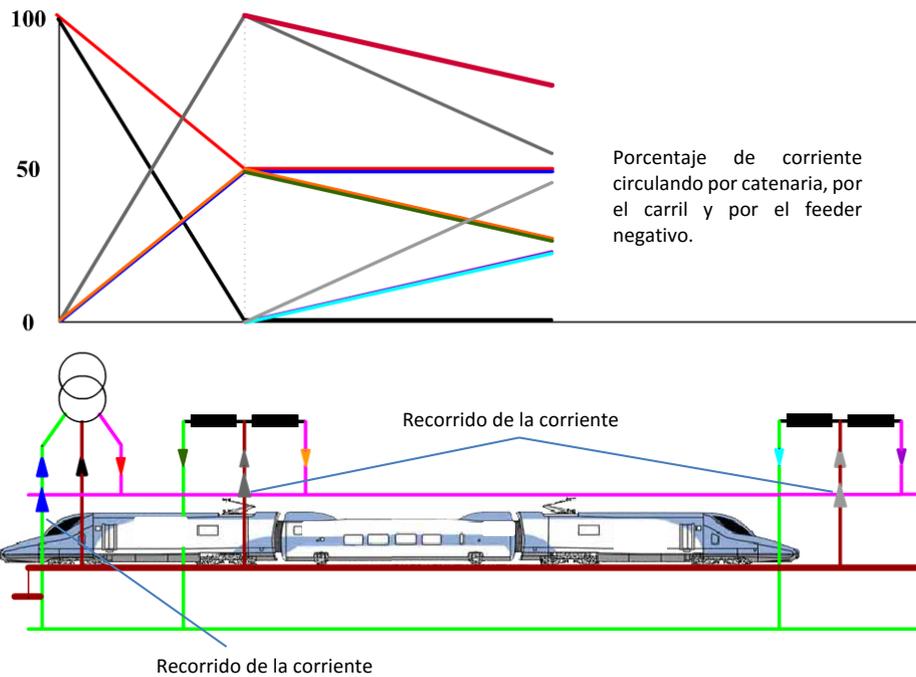


Ilustración 21. Recorrido de la corriente desde el carril al ATI 1 (flecha gris oscuro) y desde el carril al ATI 2 (flecha gris claro). Recorrido de la corriente desde el feeder negativo hasta la SET (flecha azul). De esta forma, se consigue que no circule casi corriente por el carril.

Principalmente, se evita ese aporte de corriente en el carril con toda la intensidad enfrente de la SET, ya que en ese punto es en el que se concentra toda la corriente de retorno. Solamente circularía toda la corriente en el caso en el que el sistema de 2x25 se comporte como el sistema de 1x25, que sucede cuando el material rodante pasa por delante de la SET. Además, se debe tener en cuenta que la distribución de la energía se realiza en 50 kV mientras que el suministro al tren se realiza en 25 kV, por lo que todos los elementos del sistema tienen el mismo aislamiento que en el sistema de 1x25.

7.3 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS DOS SISTEMAS A NIVEL TÉCNICO

A continuación se van a indicar cuáles son las ventajas y las desventajas técnicas del sistema de 2x25 frente al de 1x25.

Las principales ventajas son:

- Menores caídas de tensión eléctrica (y por tanto menores pérdidas) como consecuencia de transportar la energía desde la SET al material rodante a mayor voltaje.
- Menor número de puntos de conexión a la red de transporte o distribución.
- Las perturbaciones electromagnéticas son menores.
- Menor corriente de retorno en las secciones de vía sin material rodante, ya que no se produce la ausencia total de corriente, debido al desequilibrio entre la impedancia de LAC y de feeder negativo.

Las principales desventajas son:

- Se emplean nuevos equipos, como son los autotransformadores y el feeder negativo.
- Mayor complejidad de funcionamiento.
- Nivel de aislamiento mayor como consecuencia de emplear tensiones mayores, en las cabinas de las subestaciones.
- El menor número de subestaciones hace que sean más potentes y la exigencia hacia la red de transporte es mayor.

8 ANÁLISIS DE LAS INSTALACIONES

En este apartado se pasa a representar cómo son las instalaciones a las cuales se va a dar servicio.

8.1 COMPARATIVA DE LOS EQUIPOS DE AMBOS SISTEMAS

Con la siguiente tabla se realiza una comparativa general, de los equipos que componen ambos sistemas:

Equipos	Sistema 1x25 kV	Sistema 2x25 kV
<u>LAT</u>		
Postes	Apoyo normalizado para REE	Apoyo normalizado para REE
Conductores	Cóndor AW	Cóndor AW
<u>Subestación</u>		
Seccionadores	220 kV, 2.000 A, 40 kA	220 kV, 2.000 A, 40 kA
Interruptores	220 kV, 2.500 A, 40 kA	220 kV, 2.500 A, 40 kA
Autoválvulas	220 kV, 10 kA 45 kV, 20 kA	220 kV, 10 kA 25 kV, 20 kA
Transformadores de intensidad	200/5-5-5 A 1500/5-5-5 A	75-150/5-5-5 A 2000/5-5-5 A
Transformadores de tensión	$\frac{220}{\sqrt{3}} / \frac{0,11}{\sqrt{3}} - \frac{0,11}{\sqrt{3}} kV$ $\frac{27,5}{\sqrt{3}} / \frac{0,11}{\sqrt{3}} - \frac{0,11}{\sqrt{3}} kV$	$\frac{220}{\sqrt{3}} / \frac{0,11}{\sqrt{3}} - \frac{0,11}{\sqrt{3}} kV$ $\frac{27,5}{\sqrt{3}} / \frac{0,11}{\sqrt{3}} - \frac{0,11}{\sqrt{3}} kV$
Transformadores de tracción	220/27,5 kV, Ii0 (20 MVA)	220/2x27,5 kV, Ii0-Ii6 (30-60 MVA)
Edificio de control	Prefabricado	Prefabricado
Cabinas de feeder	Aislamiento 27,5 kV	Aislamiento 55 kV
Transformador de Servicios Auxiliares	27,5/0,220 kV	27,5/0,220 kV
Control	PLCs	PLCs
<u>ATI-ATF</u>		

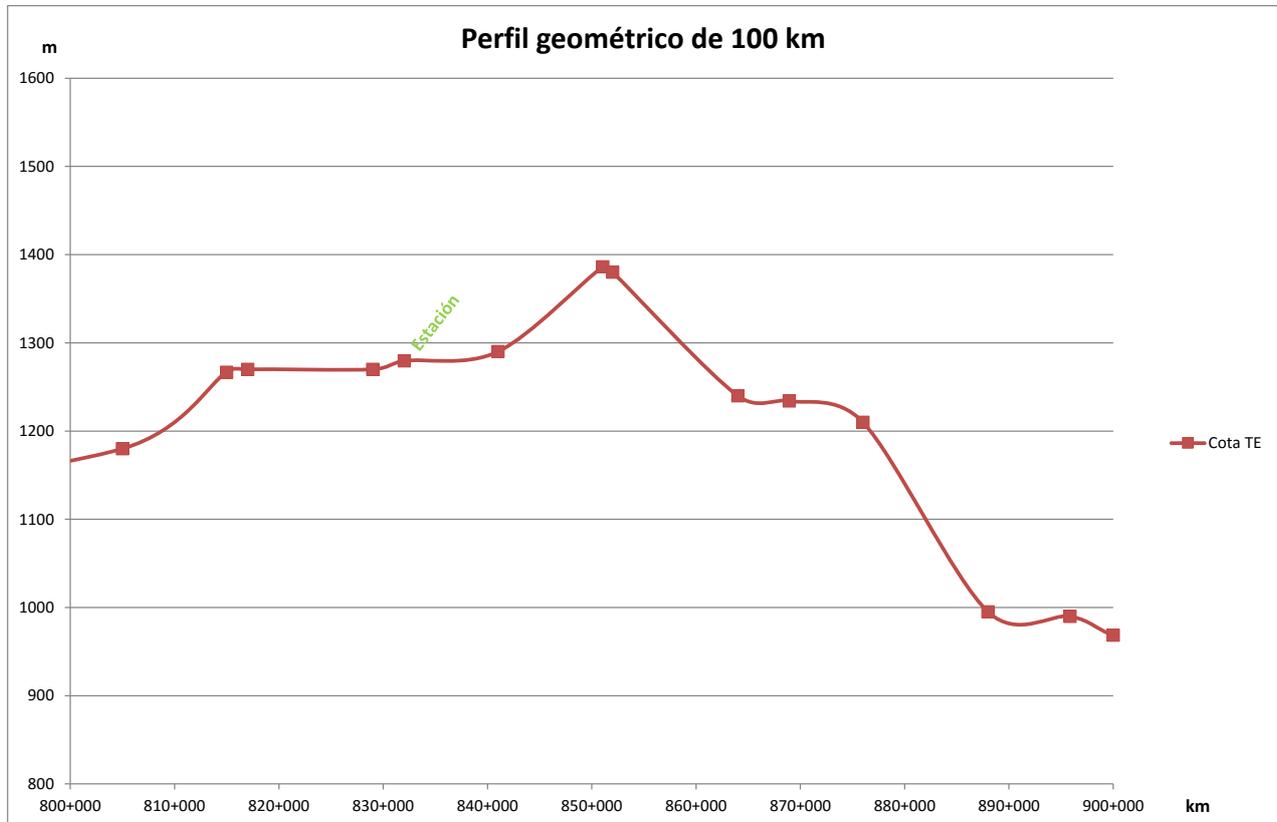
Autotransformadores	-	55/27,5 kV (10-15 MVA)
Cabinas	-	Aislamiento 55 kV
Edificio de control	-	Prefabricado
<u>LAC</u>		
Postes	U120 a U240 pasando por los intermedios (se podría optimizar con postes más simples que en 2x25, pero para este estudio los vamos a suponer iguales por simplicidad)	U120 a U240 pasando por los intermedios
Ménsulas	Tipo tubular trianguladas	Tipo tubular trianguladas
Sustentador	Cable Cu 95 mm ²	Cable Cu 95 mm ²
Hilo de contacto	Cu Mg 0,5 BC-150 mm ²	Cu Mg 0,5 BC-150 mm ²
Cable de retorno	Aluminio-Acero LA 110 mm ²	Aluminio-Acero LA 110 mm ²
Feeder negativo	-	Aluminio-Acero LA 280 mm ²

Como se aprecia en la tabla, las diferencias, son mínimas, pero se producen en los equipos más caros, además de incluir nuevos equipos en el sistema de 2x25, por lo que la diferencia en precio es considerable.

8.2 PERFIL DE LAS INSTALACIONES

Se indica a continuación el perfil de una línea, como ejemplo, para poder apreciar las posibles necesidades de instalación de SET para 1x25 y 2x25, ya que las pendientes en el recorrido junto con las paradas y el tráfico son los principales elementos que van a determinar la necesidad de una mayor o menor proximidad entre subestaciones, así como la instalación de más o menos autotransformadores intermedios o finales (ATI y ATF) y las potencias que van a necesitar. Se han incluido 100 Km de una línea de 900 km entre los pk 800 y 900, por disponer de paradas y puntos de suministro de energía.

La línea tiene las siguientes características:



De la que se pueden incluir los puntos del trazado más significativos para poder analizar las características completas del perfil.

PK	Altitud.
805+000	1.180,0
814+980	1.266,8
817+000	1.270,0
829+000	1.270,0
832+020	1.279,6
841+000	1.290,0
851+060	1.386,3
852+000	1.380,0
864+000	1.240,0
868+940	1.234,1
876+000	1.210,0
888+000	995,0
895+852	990,0
900+000	968,5

Con los datos de la tabla se llega a la conclusión de que la pendiente máxima en el recorrido se da entre los PK, 876+000 y 888+000 con una diferencia de cotas de 215 m con un valor de 17 milésimas. Este valor permite explotar la línea con trenes de pasajeros, ya que la pendiente máxima para mercancías es de 12,5 milésimas y la de trenes de pasajeros es de 25 milésimas.

8.2.1 PERFIL DE LAS INSTALACIONES DE 1X25

Para el emplazamiento de las subestaciones en este sistema se va a considerar una distancia entre subestaciones de ≈ 25 km. Este valor sería una primera aproximación para poder realizar una primera simulación del sistema y poder concretar las distancias en las siguientes simulaciones.

Estas distancias son considerando un tráfico típico de trenes cada 6 minutos en cada sentido en estado normal y trenes cada 15 minutos en caso degradado aplicando lo que se indicó en las simulaciones planteadas en la práctica realizada el 24 de febrero de 2014 [\(4\)](#).

Al no ser este trabajo un trabajo enfocado en la simulación ferroviaria, solamente se van a considerar estos puntos de partida habituales para poder emplazar las subestaciones y poder comparar ambos sistemas.

Por otro lado, considerando el perfil de plataforma, se han ubicado las subestaciones teniendo en cuenta la experiencia en simulación y las posibilidades de demanda de energía que puedan producir los trenes circulando, para poder repartir las caídas de tensión y las demandas de corriente máximas.

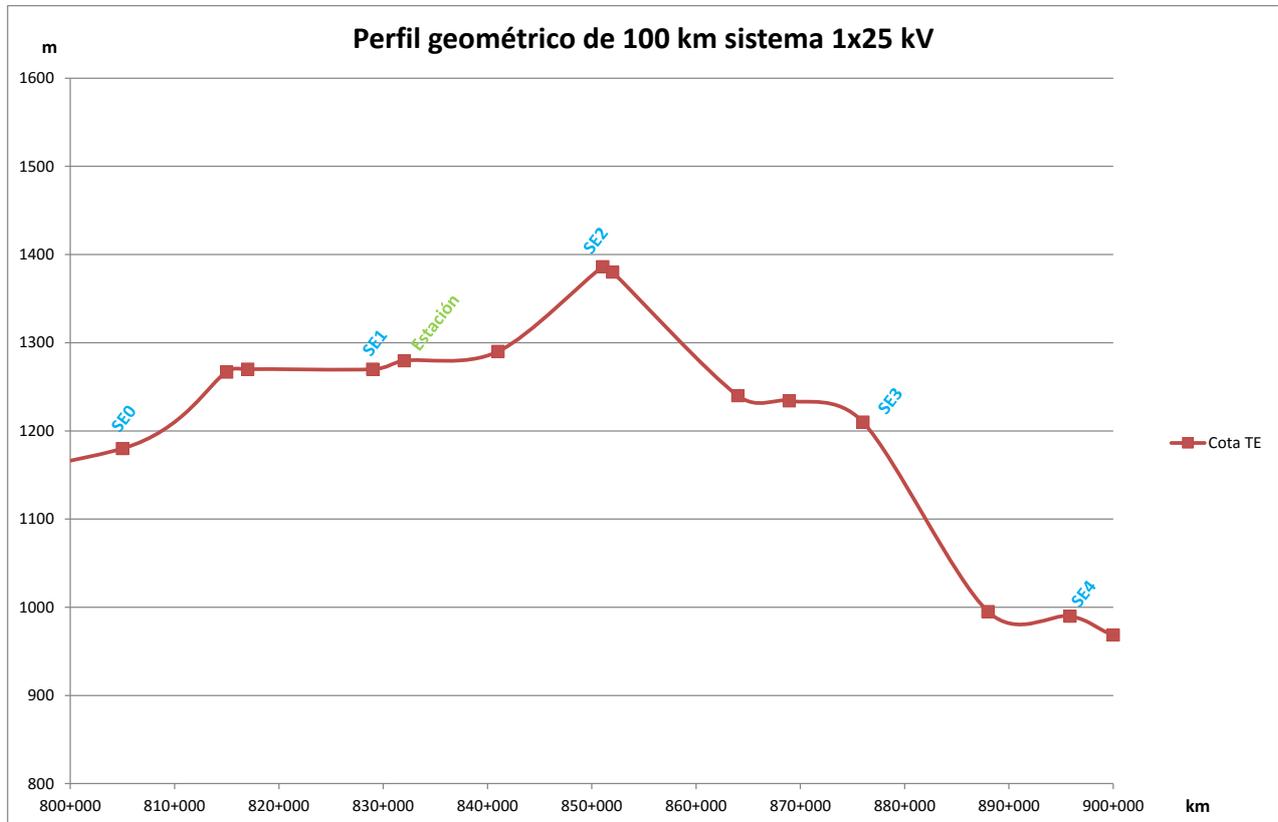


Ilustración 22. Perfil de la traza para el sistema de 1x25 kV.

El perfil reflejado se indica en la siguiente tabla para poder conocer en mayor detalle alturas y PK en el que se ubican las instalaciones:

PK	Altitud.	Instalaciones
805+000	1.180,0	SE0
814+980	1.266,8	
817+000	1.270,0	
829+000	1.270,0	SE1
832+020	1.279,6	Estación
841+000	1.290,0	
851+060	1.386,3	
852+000	1.380,0	SE2
864+000	1.240,0	
868+940	1.234,1	
876+000	1.210,0	SE3
888+000	995,0	
895+852	990,0	SE4
900+000	968,5	

8.2.2 PERFIL DE LAS INSTALACIONES DE 2X25

Para el emplazamiento de las subestaciones en este sistema se va a considerar una distancia entre subestaciones de ≈ 45 km. Este valor sería una primera aproximación para poder realizar una primera simulación del sistema y poder concretar las distancias en las siguientes simulaciones.

Estas distancias son considerando un tráfico típico de trenes cada 6 minutos en cada sentido en estado normal y trenes cada 15 minutos en caso degradado tal implicando lo que se indicó en las simulaciones planteadas en la práctica realizada el 24 de febrero de 2014 (4).

De igual forma que en el apartado anterior, al no ser este trabajo un trabajo enfocado en la simulación ferroviaria, solamente se van a considerar estos puntos de partida habituales para poder emplazar las subestaciones y poder comparar ambos sistemas.

Por otro lado, considerando el perfil de plataforma, se han ubicado las subestaciones los ATI y ATF teniendo en cuenta la experiencia en simulación y las posibilidades de demanda de energía que puedan producir los trenes circulando, para poder repartir las caídas de tensión y las demandas de corriente máximas.

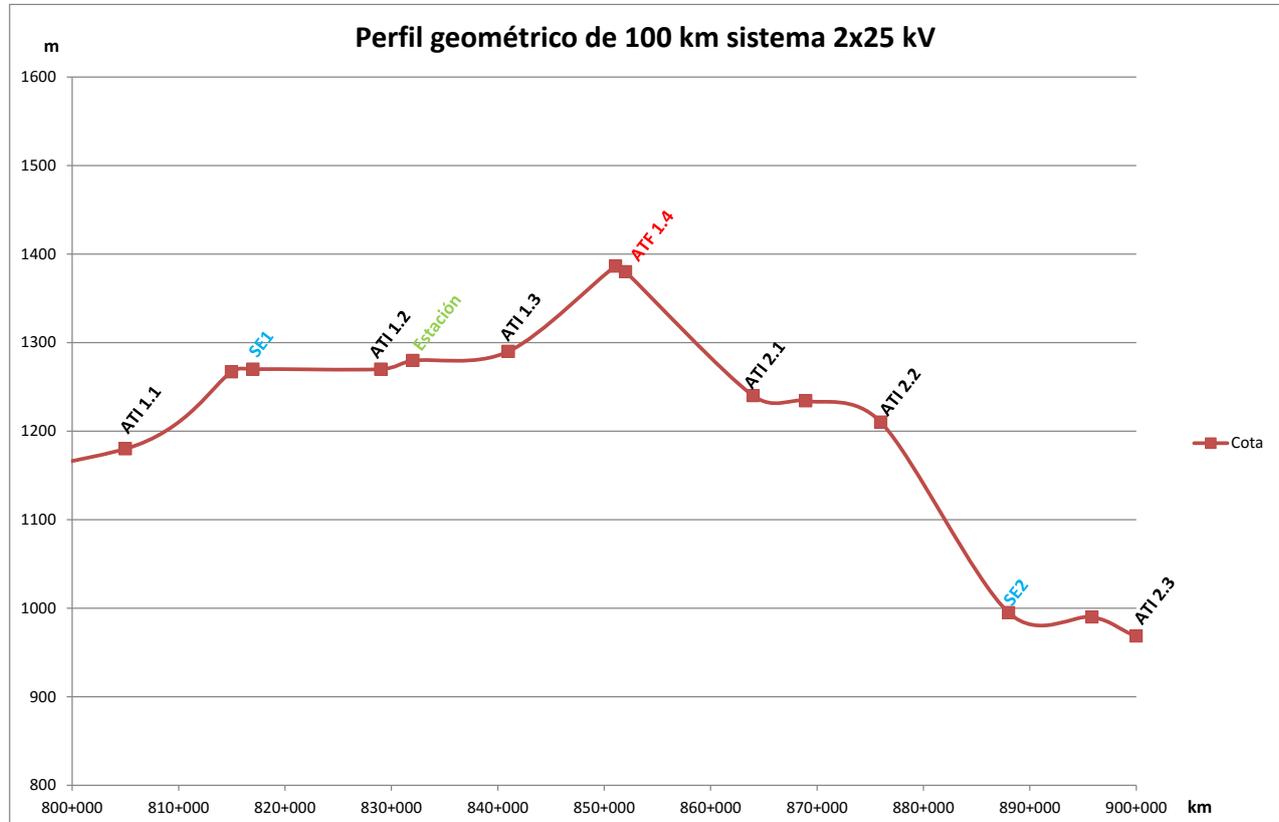


Ilustración 23. Perfil de la traza para el sistema de 2x25 kV.

El perfil reflejado se indica en la siguiente tabla para poder conocer en mayor detalle alturas y PK en el que se ubican las instalaciones:

PK	Altitud.	Instalaciones
805+000	1.180,0	ATI 1.1
814+980	1.266,8	
817+000	1.270,0	SE1
829+000	1.270,0	ATI 1.2
832+020	1.279,6	Estación
841+000	1.290,0	ATI 1.3
851+060	1.386,3	
852+000	1.380,0	ATF 1.4
864+000	1.240,0	ATI 2.1
868+940	1.234,1	
876+000	1.210,0	ATI 2.2
888+000	995,0	SE2
895+852	990,0	
900+000	968,5	ATI 2.3

8.3 PRESUPUESTO

En este apartado se pasa a analizar cada una de las soluciones por separado para comparar ambas finalmente. Los precios de las partidas empleadas se basan en el Cuadro de Precios de ADIF de Líneas de Alta Velocidad del año 2011 [\(1\)](#).

8.3.1 PRESUPUESTO DE LAS INSTALACIONES DE 1X25

Para el presupuesto, tal como se ha indicado previamente, se van a considerar las partes más importantes y diferentes de cada uno de ellos no incluyendo las partes comunes. De esta forma, solamente se incluyen en este caso los equipos que son característicos de este sistema. Es decir:

- Cuatro subestaciones con:
 - Los equipos de las cabinas de 36 kV de alimentación a los servicios auxiliares.
 - Los equipos de las cabinas de 36 kV de salidas de feeder de alimentación a catenaria.
 - Sus transformadores de tracción (2 por subestación).
 - Los elementos de Alta Tensión del parque de intemperie.
- 10 km de línea de acometida aérea desde la SERT a la SET en cada uno de los casos como valor medio, considerando los apoyos incluidas las estructuras y las cimentaciones, los conductores de las líneas de acometida con sus aisladores y los cables de guarda.

A continuación se van a mostrar los precios generales de éstas partidas:

LAT 1x25 (Mediciones incluidas para 1 km de línea de 220 kV)				
Ud.	Resumen	Precio	Medición	Importe
Ud.	1 km de LAT del sistema de 1x25 de 220 kV	252.036,67	1	252.036,67
t	Suministro, izado y armado de apoyo para línea aérea de alta tensión, trabajo diurno	2.095,39	51,464	107.837,151
m ³	Ejecución de la cimentación para apoyo de línea aérea de alta tensión, trabajo diurno	137,33	1.19,784	16.449,937
m	Suministro, tendido, regulación, tensado, engrapado de conductor CÓNDOR AW en agrupación dúplex, trabajo diurno	11,28	6.360	71.740,800

m	Suministro, tendido, regulación, tensado, engrapado de cable de tierra compuesto OPGW, trabajo diurno	9,34	2.120	19.800,800
Ud.	Suministro y montaje de cadena de amarre de aisladores tipo U 160 BS de 2x16 elementos, trabajo diurno	1.637,97	14,4	23.586,768
Ud.	Suministro y montaje de cadena de suspensión de aisladores tipo U 160 BS de 15 elementos, de vidrio tipo rótula y alojamiento de bola, trabajo diurno	1.185,67	9	10.671,030
Ud.	Suministro y montaje del conjunto de suspensión de cable OPGW o cable de tierra 7n7 AWG, trabajo diurno	335,6	3	1.006,800
Ud.	Suministro y montaje de conjunto de amarre de cable OPGW / 7n7 AWG, trabajo diurno	362,84	2,6	943,384

SUBESTACIONES (Mediciones para una sola subestación de 1x25 y los elementos más significativos diferentes del sistema de 2x25)				
Ud.	Resumen	Precio	Medición	Importe
Ud.	Subestación de tracción de 1x25 kV	1.433.097,04	1	1.433.097,04
Ud.	Suministro y montaje de transformador de tensión asignada 220 kV, y relación de transformación 220/V ⁻³ - 0,11/V ⁻³ - 0,11/V ⁻³ kV para medida fiscal, trabajo diurno	16.243,05	2	32.486,1
Ud.	Suministro y montaje de transformador de intensidad de protección, de 220 kV, 1500 / 5-5-5 A, trabajo diurno	14.965,46	2	29.930,92
Ud.	Suministro y montaje de transformador de intensidad, para medida fiscal, de tensión de servicio 220 kV y relación de	15.945,33	2	31.890,66

	transformación 200/5-5-5 A; trabajo diurno.			
Ud.	Suministro y montaje de autoválvula de 220 kV , tensión asignada 192 kV e intensidad de descarga 10 kA , trabajo diurno	4.163,67	2	8.327,34
Ud.	Suministro y montaje de interruptor automático bipolar, de 220 kV, trabajo diurno	58.566,37	2	117.132,74
Ud.	Suministro y montaje de seccionador tripolar. 220 kV, 2,000 A con una única cuchilla de p.a.t, trabajo diurno.	25.969,94	2	51.939,88
Ud.	Suministro y Montaje de transformador SE 1x25, de 20 MVA, trabajo diurno	403.900,48	2	807.800,96
Ud.	Edificio prefabricado para una subestación	49.865,71	1	49.865,71
Ud.	Suministro y montaje de cubierta en subestación	15.502,82	1	15.502,82
Ud.	Suministro y montaje de celda de 36 kV para seccionamiento y salida de feeder	23.653,98	5	118.269,9
Ud.	Suministro y montaje de celda de 36 kV para seccionamiento y protección del transformador de servicios auxiliares	11.951,20	1	11.951,2
Ud.	Suministro y montaje de armario barra cero en subestación	3.433,25	1	3.433,25
Ud.	Suministro y montaje de aislador 27,5 kV	668,64	33	22.065,12
Ud.	Suministro y montaje de seccionador motorizado, exterior, monopolar 27,5 kV	4.201,79	8	33.614,32
Ud.	Suministro y montaje de Conjunto celdas edificio de la subestación 36 kV	88.646,41	1	88.646,41
Ud.	Cableado conexionado y puesta en servicio de conjunto celdas edificio de la subestación 27,5 kV	1.157,51	1	1.157,51

Ud.	Suministro y montaje de autoválvula Ur. 27,5 kV	756,85	12	9.082,20
-----	--	--------	----	----------

Por tanto, a continuación se muestran los precios principales de las instalaciones del sistema de 1x25 para el perfil ejemplo que se ha considerado:

Resumen	Precio	Medición	Importe
LAT 1x25 (220 kV)	12.601.833,50	1	12.601.833,50
SE0	10 km x 252.036,67€/km =2.520.366,70	1	
SE1	10 km x 252.036,67€/km =2.520.366,70	1	
SE2	10 km x 252.036,67€/km =2.520.366,70	1	
SE3	10 km x 252.036,67€/km =2.520.366,70	1	
SE4	10 km x 252.036,67€/km =2.520.366,70	1	
SUBESTACION	7.165.485,20	1	7.165.485,20
SE0	1.433.097,04	1	
SE1	1.433.097,04	1	
SE2	1.433.097,04	1	
SE3	1.433.097,04	1	
SE4	1.433.097,04	1	
TOTAL			19.767.318,70

8.3.2 PRESUPUESTO DE LAS INSTALACIONES DE 2X25

Para el presupuesto, tal como se ha indicado previamente, se van a considerar las partes más importantes y diferentes de cada uno de ellos no incluyendo las partes comunes. De esta forma, solamente se incluyen en este caso los equipos que son característicos de este sistema. Es decir:

- Dos subestaciones con
 - Los equipos de las cabinas de 36 kV de alimentación a los servicios auxiliares.
 - Los equipos de las cabinas de 55 kV de salidas de feeder de alimentación a catenaria.
 - Sus transformadores de tracción (2 por subestación).
 - Los elementos de Alta Tensión del parque de intemperie.
- Seis ATI completos con sus autotransformadores de tracción (2 por ATI) los sistemas de servicios auxiliares, control y comunicaciones.
- Un ATF con sus autotransformadores de tracción (4 por ATF) los sistemas de servicios auxiliares, control y comunicaciones.
- 10 km de línea de acometida aérea desde la SERT a la SET en cada uno de los casos como valor medio.
- 100 km de feeder negativo para LAC incluidos los aisladores y elementos de sustentación, ya que el resto de los elementos se consideran iguales que en 1x25.

A continuación se van a mostrar los precios generales de éstas partidas:

LAT 2x25 (Mediciones incluidas para 1 km de línea de alimentación de 220 kV, que es idéntica a la del sistema de 1x25)				
Ud.	Resumen	Precio	Medición	Importe
Ud.	1 km de LAT del sistema de 2x25 de 220 kV	252.036,67	1	252.036,67
t	Suministro, izado y armado de apoyo para línea aérea de alta tensión, trabajo diurno	2.095,39	51,464	107.837,151
m3	Ejecución de la cimentación para apoyo de línea aérea de alta tensión, trabajo diurno	137,33	1.19,784	16.449,937
m	Suministro, tendido, regulación, tensado, engrapado de conductor CÓNDOR AW en agrupación dúplex, trabajo diurno	11,28	6.360	71.740,800

m	Suministro, tendido, regulación, tensado, engrapado de cable de tierra compuesto OPGW, trabajo diurno	9,34	2.120	19.800,800
Ud.	Suministro y montaje de cadena de amarre de aisladores tipo U 160 BS de 2x16 elementos, trabajo diurno	1.637,97	14,4	23.586,768
Ud.	Suministro y montaje de cadena de suspensión de aisladores tipo U 160 BS de 15 elementos, de vidrio tipo rótula y alojamiento de bola, trabajo diurno	1.185,67	9	10.671,030
Ud.	Suministro y montaje del conjunto de suspensión de cable OPGW o cable de tierra 7n7 AWG, trabajo diurno	335,6	3	1.006,800
Ud.	Suministro y montaje de conjunto de amarre de cable OPGW / 7n7 AWG, trabajo diurno	362,84	2,6	943,384

SUBESTACIONES (Mediciones para una sola subestación de 2x25 y los elementos más significativos diferentes del sistema de 1x25)				
Ud.	Resumen	Precio	Medición	Importe
Ud.	Subestación de tracción de 2x25 kV	2.808.738,64	1	2.808.738,64
Ud.	Suministro y montaje de transformador de tensión asignada 220 kV, y relación de transformación 220/V ⁻³ - 0,11/V ⁻³ - 0,11/V ⁻³ 3 kV para medida fiscal, trabajo diurno	16.243,05	2	32.486,1
Ud.	Suministro y montaje de transformador de intensidad de protección, de 220 kV, 2000 / 5-5-5 A, trabajo diurno	14.965,46	2	29.930,92
Ud.	Suministro y montaje de transformador de intensidad, para medida fiscal, de tensión de servicio 220 kV y relación de	15.945,33	2	31.890,66

	transformación 75-150/5-5-5 A; trabajo diurno.			
Ud.	Suministro y montaje de autoválvula de 220 kV , tensión asignada 192 kV e intensidad de descarga 10 kA, trabajo diurno	4.163,67	2	8.327,34
Ud.	Suministro y montaje de interruptor automático bipolar, de 220 kV, trabajo diurno	58.566,37	2	117.132,74
Ud.	Suministro y montaje de seccionador tripolar. 220 kV, 2,000 A con una única cuchilla de p.a.t, trabajo diurno.	25.969,94	2	51.939,88
Ud.	Edificio prefabricado para una subestación	49.865,71	1	49.865,71
Ud.	Suministro y montaje de cubierta en subestación	15.502,82	1	15.502,82
Ud.	suministro y montaje de transformador de tracción, de relación de transformación 220 + -8%/27,5-27,5, de 60 MVA ; trabajo diurno	997.307,51	2	1.994.615,02
Ud.	Suministro y montaje de armario barra cero en la subestación	3.433,25	1	3.433,25
Ud.	Suministro y montaje de aislador 55 kV tipo C6	668,64	33	22.065,12
Ud.	Suministro y montaje seccionador, montaje en exterior bipolar 55 kV	8.403,58	4	33.614,32
Ud.	Suministro y montaje conjunto celdas edificio de la subestación 36 kV	88.646,41	1	88.646,41
Ud.	Cableado, conexionado y puesta en servicio de conjunto celdas edificio de la subestación 55 kV	1.157,51	1	1.157,51
Ud.	Suministro y montaje autoválvula Ur 55 kV	756,85	12	9.082,20
Ud.	Suministro y montaje de cabina de 55 kV, corte en vacío, para protección y control transformadores / Autotransformadores, con	40.983,07	2	81.966,14

	dos TT de 27,5/0,11-0,11 kV y dos TI de 1000/5-5			
Ud.	Suministro y montaje de cabina de 55 kV, corte en vacío, para protección y control de línea, con dos TT de 27,5/0,11-0,11 kV y dos TI de 1000/5-5	40.983,07	4	163.932,28
Ud.	Suministro y montaje de cabina de 55 kV, corte en vacío, para acoplamiento longitudinal, con dos TT de 27,5/0,11-0,11 kV	45.998,69	1	45.998,69
Ud.	Suministro y montaje de cabina de 55 kV, para acoplamiento y remonte de barras, con dos TT de 27,5/0,11-0,11 kV	27.151,53	1	27.151,53

ATI (elementos que solamente se encuentran en el sistema de 2x25)				
Ud.	Resumen	Precio	Medición	Importe
Ud.	ATI	1.181.280,14	1	1.181.280,14
Ud.	Instalaciones AT, ATI	444.126,59	1	444.126,59
Ud.	Suministro y Montaje de autotransformador, de 15 MVA, trabajo diurno	119.100,09	2	238.200,18
Ud.	Suministro y montaje autoválvula Ur 55 kV	756,85	4	3.027,40
Ud.	Suministro y montaje seccionador, motorizado, exterior, bipolar 55 kV	8.403,58	2	16.807,16
Ud.	Suministro y montaje de aislador 55 kV tipo C6	668,64	10	6.686,40
Ud.	Cableado, conexionado y puesta en servicio autotransformador tracción 15 MVA.	644,65	2	1.289,30
Ud.	cableado, conexionado y puesta en servicio de conjunto celdas edificio ATI 55 kV	719,65	1	719,65
Ud.	Suministro y montaje conjunto celdas edificio ATI 36 kV	45.083,55	1	45.083,55

Ud.	Suministro y montaje de armario barra cero ATI	3.739,06	1	3.739,06
Ud.	Suministro y montaje de cabina de 55 kV, corte en vacío, para protección y control transformadores / Autotransformadores, con dos TT de 27,5/0,11-0,11 kV y dos TI de 400/5-5	40.983,07	1	40.983,07
Ud.	Suministro y montaje de cabina de 55 kV, corte en vacío, para protección y control de línea, con dos TT de 27,5/0,11 kV	43.795,41	2	87.590,82
Ud.	Servicios Auxiliares, ATI	444.126,59	1	444.126,59
Ud.	Suministro y montaje transformador monofásico de 100 kVA ATI	8.555,76	2	17.111,52
Ud.	Suministro y montaje cuadro de SSAA 220 Vca. ATI	43.239,04	1	43.239,04
Ud.	Suministro y montaje equipo rectificador-batería de 125 Vcc ATI	43.337,73	1	43.337,73
Ud.	Suministro y montaje cuadro de SSAA 125 Vcc ATI	17.595,14	1	17.595,14
Ud.	Cableados y conductores ATI	104.776,32	1	104.776,32
Ud.	Suministro y montaje botella terminal para interior, exterior o en cabina de 36/66 kV	777,53	34	26.436,02
m	Cable de 36/66 kV 300 mm ²	62,44	510	31.844,40
m	Cable de 36/66 kV 120 mm ²	42,1	360	15.156,00
m	Suministro tendido y conexionado de cable de Cu aislado. RZ1-K 0,6/1kV 1x120 mm ²	19,56	405	7.921,80
m	Suministro tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1 - K 0,6/1kV 2x4 mm ²	7,08	375	2.655,00
m	Suministro tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1 - K 0,6/1kV 2x6 mm ²	7,73	200	1.546,00
m	Suministro tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1 - K 0,6/1kV 2x25 mm ²	10,82	40	432,8

m	Suministro tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1 - K 0,6/1kV 2x2,5 mm ² + T	7,96	150	1.194,00
m	Suministro tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1 - K 0,6/1kV 2x1,5 mm ² + T	7,44	40	297,6
m	Suministro tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1 - K 0,6/1kV 2x6 mm ² + T	9,9	50	495
m	Suministro tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1 - K 0,6/1kV 2x10 mm ² + T	10,78	70	754,6
m	Suministro tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1 - K 0,6/1kV 3x2,5 mm ²	8,57	10	85,7
m	Suministro tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1 - K 0,6/1kV 4x1,5 mm ²	8,85	200	1.770,00
m	Suministro tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1 - K 0,6/1kV 4x2,5 mm ²	9,82	50	491
m	Suministro tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1 - K 0,6/1kV 4x10 mm ²	14,62	20	292,4
m	Suministro tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1 - K 0,6/1kV 7x1,5 mm ²	10,23	130	1.329,90
m	Suministro tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1 - K 0,6/1kV 7x2,5 mm ²	11,75	180	2.115,00
m	Suministro tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1 - K 0,6/1kV 14x1,5 mm ²	12,69	20	253,8
m	Suministro tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1 - K 0,6/1kV 14x2,5 mm ²	14,82	250	3.705,00
m	sum ten y con de bandeja para cables de 500 mm	34,76	90	3.128,40
m	sum ten y con de bandeja para cables de 300 mm	32,41	65	2.106,65

m	sum ten y con de bandeja para cables de 200 mm	30,61	25	765,25
Ud.	Red de tierras ATI	11.463,42	1	11.463,42
m	suministro y montaje de cable de Cu desnudo 120mm ²	14,73	80,9	1.191,66
m	suministro y montaje de cable de Cu desnudo 95 mm ²	12,43	107	1.330,01
m	suministro y montaje de cable de Cu desnudo 50 mm ²	10,33	480	4.958,40
Ud.	Soldadura aluminotérmica en ATI.	1.197,61	1	1.197,61
Ud.	Pletina de cobre, soldaduras y pequeño material para red interior	2.460,74	1	2.460,74
Ud.	Mediciones de paso y contacto	325	1	325
Ud.	Movimientos de tierras ATI	28.804,80	1	28.804,80
m ³	Desmonte de tierra de la explanación en terrenos flojos	5,51	80	440,8
m ³	Refino, nivelación y compactación del fondo de excavación	6,09	263	1.601,67
m ³	Relleno, extendido por medios mecánicos y compactado de tierras suelo adecuado	10,67	1.130	12.057,10
m ³	Relleno, extendido por medios mecánicos y compactado de tierras suelo seleccionado	14,95	31	463,45
m ³	Relleno, extendido por medios mecánicos y compactado de zahorra artificial	19,56	3	58,68
m	Excavación de zanjas para la red tierras incluido el relleno	17,51	810	14.183,10
Ud.	Cimentaciones ATI	22.283,68	1	22.283,68
Ud.	Ejecución de zapata para cimentación del pórtico de feeders y 2,65 m de canto total	1.603,56	2	3.207,12
Ud.	Ejecución de cimentación para báculos de iluminación	204,03	1	204,03
Ud.	Ejecución de arqueta de armario de barra cero	1.103,27	1	1.103,27

Ud.	Formación de vaso de recogida de fugas de aceite en centro de autotransformación intermedio	7.044,76	1	7.044,76
Ud.	Ejecución de cimentación de edificio prefabricado en centro de autotransformación intermedio	7.665,94	1	7.665,94
m	Foso de cables en interior de edificio	358,32	2,85	1.021,21
m	Foso de cables en interior de edificio de 1,40 m de ancho	407,47	5	2.037,35
Ud.	Canalizaciones ATI	54.862,11	1	54.862,11
m	Colector de drenaje con tubería corrugada de PVC circular, ranurada, de diámetro 160 mm en drenaje longitudinal	52,71	119,5	6.298,85
m	Salida de saneamiento general de plataforma formada por 1 tubo para saneamiento de PVC de 400 mm de diámetro	138,22	30	4.146,60
Ud.	Pozo de registro prefabricado de diámetro interior 0,80 m, de profundidad de 2,00 m construido en hormigón en masa	1.141,41	1	1.141,41
Ud.	Arqueta para saneamiento y drenaje de registro ,medidas interiores 80X80 cm y profundidad hasta 1,60 m	665,55	7	4.658,85
Ud.	Arqueta para saneamiento y drenaje de registro ,medidas interiores 60X60 cm y profundidad hasta 1,20 m	396,18	1	396,18
Ud.	Arqueta para saneamiento y drenaje de registro bajo canal	263,29	1	263,29
Ud.	Arqueta para saneamiento y drenaje a pie de bajante	274,48	2	548,96
m	Tubería de PVC de 160 mm para colectores enterrados	26,25	87,5	2.296,88

m	Canalización de cables en hormigón prefabricado, tipo A.	215,4	12,7	2.735,58
m	Canalización de cables tipo D en hormigón armado de 1,20 m de ancho por 1,00 m de alto, con tapa de acero galvanizado para tráfico peatonal	448,08	6	2.688,48
m	Canalización para cables en tubo de PE de diámetro 90 mm	49,56	6	297,36
m	Canalización para cables en tubo de PE de diámetro 110 mm	49,91	42,26	2.109,20
m	Canalización para cables de dos tubos de PE de diámetro 110 mm	51,69	11,65	602,19
m	Canalización para cables de tres tubos de PE de diámetro 160 mm	56,86	13,6	773,3
m	Canalización para cables de cuatro tubos de PE de diámetro 160 mm	59,77	3	179,31
m	Canalización para cables de dos tubos de PE de diámetro 200 mm	57,01	3	171,03
m	Canalización para cables de tres tubos de PE de diámetro 200 mm	61,45	17,1	1.050,80
m	Canalización para cables de seis tubos de PE de diámetro 200 mm	74,77	4	299,08
m ³	Suministro y ejecución de refuerzo de canalizaciones bajo viales	109,76	5,22	572,95
m	Canalización para cables en cruce sobre cuneta	268,49	8	2.147,92
Ud.	Arqueta prefabricada de entrada a edificio de control en subestaciones y centros de autotransformación de hormigón 60 X 60 X 60 cm sin tapa	201,46	2	402,92
Ud.	Arqueta prefabricada de registro de hormigón 40 X 40 y profundidad hasta 80 cm con cerco y tapa de hormigón	182,55	3	547,65

Ud.	Arqueta prefabricada de tiro para enlace de vía para cables de retorno de hormigón 80 X 80 X 80 cm con cerco y tapa de hormigón	577,14	4	2.308,56
Ud.	Arqueta prefabricada para cables en paso de vía de hormigón 80 X 110 X 90 cm con cerco y tapa de hormigón	891,64	2	1.783,28
m	Canalización para cables para pasos de vía de dos tubos de PE de diámetro 160 mm	78,62	46	3.616,52
m	Canalización para cables para pasos de vía de tres tubos de PE de diámetro 200 mm	116,89	23	2.688,47
Ud.	Suministro y montaje de depósito de recogida de aceite en un centro de autotransformación intermedio	7.675,62	1	7.675,62
m	Tubería enterrada de fundición, de diámetro interior 125 mm	75,72	18,5	1.400,82
m	Arqueta de paso para red de aceite de 60 x 60 cm	353,35	3	1.060,05
Ud.	Edificio ATI	57.961,08	1	57.961,08
Ud.	Edificio prefabricado para un centro de autotransformación intermedio	34.337,98	1	34.337,98
Ud.	Cerramiento prefabricado en ATI para un autotransformador	6.216,76	1	6.216,76
Ud.	Suministro y montaje de cubierta en centro de autotransformación intermedio	8.421,32	1	8.421,32
m ²	Suministro y montaje de pavimento técnico elevado registrable	97,94	91,74	8.985,02
Ud.	Urbanizaciones y accesos ATI	57.961,08	1	57.961,08
Ud.	Suministro e instalación de puerta abatible de 1 hoja de 1,0X2,4 m	559,83	1	559,83
Ud.	Suministro e instalación de cancela de acceso en cerramiento exterior	5.926,84	1	5.926,84

m	Suministro e instalación de vallado perimetral presensorizado	310,85	105,4	32.763,59
m ³	Suministro y extendido de encachado de vasos de transformadores	76,81	11,43	877,94
m ²	Suministro y extendido de encachado de parque exterior	10,98	320,31	3.517,00
m ²	Suministro y colocación de acera perimetral del edificio de control	64,66	70,09	4.532,02
m ²	Suministro y colocación de pavimento de hormigón vibrado	40,79	204,4	8.337,48
Ud.	Alumbrado y fuerza ATI	13.478,37	1	13.478,37
Ud.	Montaje alumbrado y fuerza centro ATI	13.478,37	1	13.478,37
Ud.	Detección de incendios ATI	11.845,81	1	11.845,81
Ud.	Instalación de detección de incendios de ATI	11.845,81	1	11.845,81
Ud.	Extinción de incendios ATI	792,34	1	792,34
Ud.	Instalación de extinción manual de incendios de ATI	792,34	1	792,34
Ud.	Ventilación y climatización ATI	12.476,85	1	12.476,85
Ud.	Suministro e instalación de equipo de aire tipo split 8,4 kW	2.587,99	3	7.763,97
Ud.	Suministro e instalación de equipo de aire tipo split 6,4 kW	1.450,08	1	1.450,08
Ud.	Instalación de interconexión split	342,79	4	1.371,16
Ud.	Extractor 100 w-2900 m3/h	306,44	2	612,88
Ud.	Termostato ambiente	185,61	2	371,22
Ud.	Sonda temperatura interior	35,54	4	142,16
Ud.	Sonda temperatura exterior	37,72	4	150,88
Ud.	Instalación y control climatización y extracción sala media tensión	321,47	1	321,47
Ud.	Instalación y control de climatización y extracción sala telemando	80,28	1	80,28

m ²	Compuerta de sobrepresión en tomas de aire exterior	36,77	1,43	52,58
m ²	rejilla ventilación lamas	126,12	1,27	160,17
Ud.	Sistema de protección y control ATI	155.277,29	1	155.277,29
Ud.	Suministro y montaje protección de salida catenaria-feeder 55 kV en ATI	938,87	2	1.877,74
Ud.	Suministro y montaje de protección de autotransformador de tracción	11.126,89	2	22.253,78
Ud.	Suministro y montaje UCP de celda 55 kV	12.208,12	4	48.832,48
Ud.	Suministro y montaje UCP celda 36 kV ATI (acometida)	8.874,04	1	8.874,04
Ud.	Suministro y montaje UCP transformador SSAA	8.874,04	2	17.748,08
Ud.	Suministro y montaje UCP cuadro BT SSAA	11.852,12	1	11.852,12
Ud.	Suministro y montaje UCP pórtico salida catenaria-feeder 55 kV	9.147,12	1	9.147,12
Ud.	Ingeniería, pruebas de equipos SICD y redundancia funcional	2.668,61	13	34.691,93
Ud.	Sistema de supervisión central ATI	85.333,35	1	85.333,35
Ud.	Suministro y montaje de infraestructura de comunicaciones en ATI	85.333,35	1	85.333,35

ATF (elementos que solamente se encuentran en el sistema de 2x25)				
Ud.	Resumen	Precio	Medición	Importe
Ud.	ATF	1.746.237,36	1	1.746.237,36
Ud.	Instalaciones AT, ATF	763.477,36	1	763.477,36
Ud.	Suministro y montaje de autotransformador, de 15 MVA, trabajo diurno	119.100,09	4	476.400,36
Ud.	Suministro y montaje autoválvula Ur 55 kV	756,85	8	6.054,80
Ud.	Suministro y montaje seccionador, motorizado exterior, bipolar 55 kV	8.403,58	4	33.614,32

Ud.	Suministro y montaje de aislador 55 kV tipo C6	668,64	20	13.372,80
Ud.	Cableado, conexionado y puesta en servicio autotransformador tracción 15 MVA	644,65	4	2.578,60
Ud.	Cableado, conexionado y puesta en servicio de conjunto celdas edificio ATF 55 kV	1.501,44	1	1.501,44
Ud.	Suministro y montaje conjunto celdas edificio ATF36 kV	56.118,55	1	56.118,55
Ud.	Suministro y montaje de armario barra cero ATF	4.279,53	1	4.279,53
Ud.	Suministro y montaje de cabina de 55 kV, corte en vacío, para protección y control transformadores / Autotransformadores, con dos TT de 27,5/0,11-0,11 kV y dos TI de 400/5-5	40.983,07	2	81.966,14
Ud.	Suministro y montaje de cabina de 55 kV, corte en vacío, para protección y control de línea, con dos TT de 27,5/0,11 kV	43.795,41	2	87.590,82
Ud.	Servicios Auxiliares ATF	763.477,36	1	763.477,36
Ud.	Suministro y montaje transformador monofásico 100 kVA ATF	8.555,76	2	17.111,52
Ud.	Suministro y montaje cuadro de SSAA 220 Vca ATF	43.239,04	1	43.239,04
Ud.	Suministro y montaje equipo rectificador-batería 125 Vcc ATF	43.337,73	1	43.337,73
Ud.	Suministro y montaje cuadro de SSAA 125 Vcc ATF	17.595,14	1	17.595,14
Ud.	Servicios Auxiliares ATF	763.477,36	1	763.477,36
Ud.	Suministro y montaje de botella terminal interior, exterior o en cabina de 36/66 kV	777,53	34	26.436,02
m	cable de Cu de aislamiento 36/66 kV 300 mm ²	62,44	510	31.844,40

m	cable de Cu de aislamiento 36/66 kV 120 mm ²	42,1	360	15.156,00
m	Suministro tendido y conexionado de cable aislado RZ1-K 0,6/1kV 1x120 mm ²	19,56	405	7.921,80
m	Suministro, tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1-K 0,6/1kV 2x4 mm ²	7,08	375	2.655,00
m	Suministro, tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1-K 0,6/1kV 2x6 mm ²	7,73	200	1.546,00
m	Suministro, tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1-K 0,6/1kV 2x25mm ²	10,82	40	432,8
m	Suministro, tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1-K 0,6/1kV 2x2,5 mm ² +T	7,96	150	1.194,00
m	Suministro, tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1-K 0,6/1kV 2x1,5 mm ² +T	7,44	40	297,6
m	Suministro, tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1-K 0,6/1kV 2x6 mm ² +T	9,9	50	495
m	Suministro, tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1-K 0,6/1kV 2x10 mm ² +T	10,78	70	754,6
m	Suministro, tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1-K 0,6/1kV 3x2,5 mm ²	8,57	10	85,7
m	Suministro, tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1-K 0,6/1kV 4x1,5 mm ²	8,85	200	1.770,00
m	Suministro, tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1-K 0,6/1kV 4x2,5 mm ²	9,82	50	491
m	Suministro, tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1-K 0,6/1kV 4x10 mm ²	14,62	20	292,4
m	Suministro, tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1-K 0,6/1kV 7x1,5 mm ²	10,23	130	1.329,90
m	Suministro, tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1-K 0,6/1kV 7x2,5 mm ²	11,75	180	2.115,00
m	Suministro, tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1-K 0,6/1kV 14x1,5 mm ²	12,69	20	253,8

m	Suministro, tendido y conexionado de cable apantallado ROZ1-K 0,6/1kV 14x2,5 mm ²	14,82	250	3.705,00
m	Suministro tendido y colocación de bandeja para cables de 500 mm	34,76	90	3.128,40
m	Suministro tendido y colocación de bandeja para cables de 300 mm	32,41	65	2.106,65
m	Suministro tendido y colocación de bandeja para cables de 200 mm	30,61	25	765,25
Ud.	Red de tierras ATF	11.513,19	1	11.513,19
m	Suministro y montaje de cable desnudo 120mm ²	14,73	80,9	1.191,66
m	Suministro y montaje de cable desnudo 95 mm ²	12,43	107	1.330,01
m	Suministro y montaje de cable desnudo 50 mm ²	10,33	480	4.958,40
Ud.	Soldadura aluminotérmica ATF	1.107,84	1	1.107,84
Ud.	Pletina de cobre, soldaduras y pequeño material para red interior ATF	2.925,28	1	2.925,28
Ud.	Movimientos de tierras ATF	28.804,80	1	28.804,80
m ³	Desmante de tierra de la explanación en terrenos flojos	5,51	80	440,8
m ³	Refino, nivelación y compactación del fondo de excavación	6,09	263	1.601,67
m ³	Relleno, extendido por medios mecánicos y compactado de tierras suelo adecuado	10,67	1.130	12.057,10
m ³	Relleno, extendido por medios mecánicos y compactado de tierras suelo seleccionado	14,95	31	463,45
m ³	Relleno, extendido por medios mecánicos y compactado de zahorra artificial	19,56	3	58,68
m	Excavación de zanjas para la red tierras incluido el relleno	17,51	810	14.183,10
Ud.	Cimentaciones ATF	22.283,68	1	22.283,68

Ud.	Ejecución de zapata para cimentación del pórtico de feeders y 2,65 m de canto total	1.603,56	2	3.207,12
Ud.	Ejecución de cimentación para báculos de iluminación	204,03	1	204,03
Ud.	Ejecución de arqueta de armario de barra cero	1.103,27	1	1.103,27
Ud.	Formación de vaso de recogida de fugas de aceite en centro de autotransformación intermedio	7.044,76	1	7.044,76
Ud.	Ejecución de cimentación de edificio prefabricado en centro de autotransformación intermedio	7.665,94	1	7.665,94
m	Foso de cables en interior de edificio	358,32	2,85	1.021,21
m	Foso de cables en interior de edificio de 1,40 m de ancho	407,47	5	2.037,35
Ud.	Canalizaciones ATF	54.862,11	1	54.862,11
m	Colector de drenaje con tubería corrugada de PVC circular, ranurada, de diámetro 160 mm en drenaje longitudinal	52,71	119,5	6.298,85
m	Salida de saneamiento general de plataforma formada por 1 tubo para saneamiento de PVC de 400 mm de diámetro	138,22	30	4.146,60
Ud.	Pozo de registro prefabricado de diámetro interior 0,80 m, de profundidad de 2,00 m construido en hormigón en masa	1.141,41	1	1.141,41
Ud.	Arqueta para saneamiento y drenaje de registro ,medidas interiores 80X80 cm y profundidad hasta 1,60 m	665,55	7	4.658,85
Ud.	Arqueta para saneamiento y drenaje de registro ,medidas interiores 60X60 cm y profundidad hasta 1,20 m	396,18	1	396,18

Ud.	Arqueta para saneamiento y drenaje de registro bajo canal	263,29	1	263,29
Ud.	Arqueta para saneamiento y drenaje a pie de bajante	274,48	2	548,96
m	Tubería de PVC de 160 mm para colectores enterrados	26,25	87,5	2.296,88
m	Canalización de cables en hormigón prefabricado, tipo A.	215,4	12,7	2.735,58
m	Canalización de cables tipo D en hormigón armado de 1,20 m de ancho por 1,00 m de alto, con tapa de acero galvanizado para tráfico peatonal	448,08	6	2.688,48
m	Canalización para cables en tubo de PE de diámetro 90 mm	49,56	6	297,36
m	Canalización para cables en tubo de PE de diámetro 110 mm	49,91	42,26	2.109,20
m	Canalización para cables de dos tubos de PE de diámetro 110 mm	51,69	11,65	602,19
m	Canalización para cables de tres tubos de PE de diámetro 160 mm	56,86	13,6	773,3
m	Canalización para cables de cuatro tubos de PE de diámetro 160 mm	59,77	3	179,31
m	Canalización para cables de dos tubos de PE de diámetro 200 mm	57,01	3	171,03
m	Canalización para cables de tres tubos de PE de diámetro 200 mm	61,45	17,1	1.050,80
m	Canalización para cables de seis tubos de PE de diámetro 200 mm	74,77	4	299,08
m ³	Suministro y ejecución de refuerzo de canalizaciones bajo viales	109,76	5,22	572,95
m	Canalización para cables en cruce sobre cuneta	268,49	8	2.147,92

Ud.	Arqueta prefabricada de entrada a edificio de control en subestaciones y centros de autotransformación de hormigón 60 X 60 X 60 cm sin tapa	201,46	2	402,92
Ud.	Arqueta prefabricada de registro de hormigón 40 X 40 y profundidad hasta 80 cm con cerco y tapa de hormigón	182,55	3	547,65
Ud.	Arqueta prefabricada de tiro para enlace de vía para cables de retorno de hormigón 80 X 80 X 80 cm con cerco y tapa de hormigón	577,14	4	2.308,56
Ud.	Arqueta prefabricada para cables en paso de vía de hormigón 80 X 110 X 90 cm con cerco y tapa de hormigón	891,64	2	1.783,28
m	Canalización para cables para pasos de vía de dos tubos de PE de diámetro 160 mm	78,62	46	3.616,52
m	Canalización para cables para pasos de vía de tres tubos de PE de diámetro 200 mm	116,89	23	2.688,47
Ud.	Suministro y montaje de depósito de recogida de aceite en un centro de autotransformación intermedio	7.675,62	1	7.675,62
m	Tubería enterrada de fundición, de diámetro interior 125 mm	75,72	18,5	1.400,82
m	Arqueta de paso para red de aceite de 60 x 60 cm	353,35	3	1.060,05
Ud.	Edificio ATF	57.961,08	1	57.961,08
Ud.	Edificio prefabricado para un centro de autotransformación intermedio	34.337,98	1	34.337,98
Ud.	Cerramiento prefabricado en ATI para un autotransformador	6.216,76	1	6.216,76
Ud.	Suministro y montaje de cubierta en centro de autotransformación intermedio	8.421,32	1	8.421,32

m ²	Suministro y montaje de pavimento técnico elevado registrable	97,94	91,74	8.985,02
Ud.	Urbanizaciones y accesos ATF	56.514,70	1	56.514,70
Ud.	Suministro e instalación de puerta abatible de 1 hoja de 1,0X2,4 m	559,83	1	559,83
Ud.	Suministro e instalación de cancela de acceso en cerramiento exterior	5.926,84	1	5.926,84
m	Suministro e instalación de vallado perimetral presensorizado	310,85	105,4	32.763,59
m ³	Suministro y extendido de encachado de vasos de transformadores	76,81	11,43	877,94
m ²	Suministro y extendido de encachado de parque exterior	10,98	320,31	3.517,00
m ²	Suministro y colocación de acera perimetral del edificio de control	64,66	70,09	4.532,02
m ²	Suministro y colocación de pavimento de hormigón vibrado	40,79	204,4	8.337,48
Ud.	Alumbrado y fuerza ATF	15.300,54	1	15.300,54
Ud.	Montaje alumbrado y fuerza centro ATF	15.300,54	1	15.300,54
Ud.	Detección de incendios ATF	11.845,81	1	11.845,81
Ud.	Instalación de detección de incendios de ATF	11.845,81	1	11.845,81
Ud.	Detección de incendios ATF	1.176,70	1	1.176,70
Ud.	Instalación de extinción manual de incendios de ATF	1.176,70	1	1.176,70
Ud.	Ventilación y climatización ATF	12.476,85	1	12.476,85
Ud.	Suministro e instalación de equipo de aire tipo split 8,4 kW	2.587,99	3	7.763,97
Ud.	Suministro e instalación de equipo de aire tipo split 6,4 kW	1.450,08	1	1.450,08
Ud.	Instalación de interconexión split	342,79	4	1.371,16
Ud.	Extractor 100 w-2900 m3/h	306,44	2	612,88
Ud.	Termostato ambiente	185,61	2	371,22

Ud.	Sonda temperatura interior	35,54	4	142,16
Ud.	Sonda temperatura exterior	37,72	4	150,88
Ud.	Instalación control climatización y extracción sala media tensión	321,47	1	321,47
Ud.	Instalación y control climatización y extracción sala telemando	80,28	1	80,28
m ²	Compuertas de sobrepresión en tomas de aire exterior	36,77	1,43	52,58
m ²	Rejilla ventilación lamas	126,12	1,27	160,17
Ud.	Sistema de Protección y control ATF	425.429,33	1	425.429,33
Ud.	Suministro y montaje de protecciones de salida catenaria-feeder 55 kV en ATF	24.220,65	4	96.882,60
Ud.	Suministro y montaje de protecciones autotransformador de tracción	11.126,89	4	44.507,56
Ud.	Suministro y montaje de UCP celda 55 kV	12.208,12	10	122.081,20
Ud.	Suministro y montaje UCP celda 36 kV ATF (acometida)	8.874,04	2	17.748,08
Ud.	Suministro y montaje UCP transformador SSAA ATF	8.874,04	4	35.496,16
Ud.	Suministro y montaje UCP cuadro BT SSAA	11.852,12	2	23.704,24
Ud.	Suministro y montaje UCP pórtico salida catenaria-feeder 55 kV	9.147,12	2	18.294,24
Ud.	Ingeniería, pruebas de equipos SICD y redundancia funcional	2.668,61	25	66.715,25
Ud.	Sistema de supervisión central ATF	58.531,46	1	58.531,46
Ud.	Suministro y montaje de unidad central puesto automático (UCPA) principal y redundante (dos armarios)	58.531,46	1	58.531,46

LAC (elementos que solamente se encuentran en el sistema de 2x25)				
Ud.	Resumen	Precio	Medición	Importe
Ud.	LAC	4.031.981,00	1	4.031.981,00

km	Suministro y montaje de feeder negativo aislado 36/66kV , en poste y 1x300mm ² Al de sección, 1 conductor , trabajo diurno sin corte de tensión	40.319,81	100	4.031.981,00
----	--	-----------	-----	--------------

Se van a mostrar a continuación los precios principales de las instalaciones del sistema de 2x25:

Resumen	Precio (€)	Medición	Importe (€)
LAT 2x25 (220 kV)	5.040.733,40	1	5.040.733,40
SE1	10 km x 252.036,67€/km =2.520.366,70	1	
SE2	10 km x 252.036,67€/km =2.520.366,70	1	
SUBESTACION	5.617.477,28	1	5.617.477,28
SE1	2.808.738,64	1	
SE2	2.808.738,64	1	
ATI/ATF	8.833.918,20	1	8.833.918,20
ATI 1.1	1.181.280,14	1	
ATI 1.2	1.181.280,14	1	
ATI 1.3	1.181.280,14	1	
ATI 2.1	1.181.280,14	1	
ATI 2.2	1.181.280,14	1	
ATI 2.3	1.181.280,14	1	
ATF 1.4	1.746.237,36	1	
LAC	4.031.981,00	1	4.031.981,00
TOTAL			23.524.109,88

8.3.3 COMPARATIVA DE PRESUPUESTOS Y ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN ÓPTIMA (APORTACIONES)

Tal como se aprecia en los dos presupuestos, la diferencia en coste para la solución de 2x25 es más cara que la solución de 1x25. En este caso particular se obtiene una diferencia en coste de 3,75 M€.

Ahora bien, no se debe generalizar y considerar que siempre es más cara la solución de 2x25, ya que en esta solución se han supuesto 10 km de acometida de media para cada una de las acometidas desde las SERT a las SET, lo que es habitual en redes de transporte de energía malladas.

Por tanto, en países con redes de transporte malladas, se justificaría el empleo del sistema de 2x25 por las mejoras técnicas que plantea, pero no por los menores costes, ya que es una instalación más compleja que racionalmente, y como técnicos ya nos hacía vislumbrar que tendría un coste mayor.

La duda, surge en el caso de países con redes de transporte poco malladas en las cuales las potencias de las líneas existentes próximas a la traza ferroviaria no fuera suficiente y requirieran la ejecución de nuevas líneas de transporte. En el caso del ejemplo, solamente con que una de las acometidas a las SET del sistema de 1x25 fuera de 30 km (una situación no tan descabellada en países de grandes dimensiones y con extensiones importantes de terreno sin poblaciones) bastaría para que la solución desde el punto de vista económico se decantara del lado del sistema de 2x25, como se puede ver en las siguientes tablas:

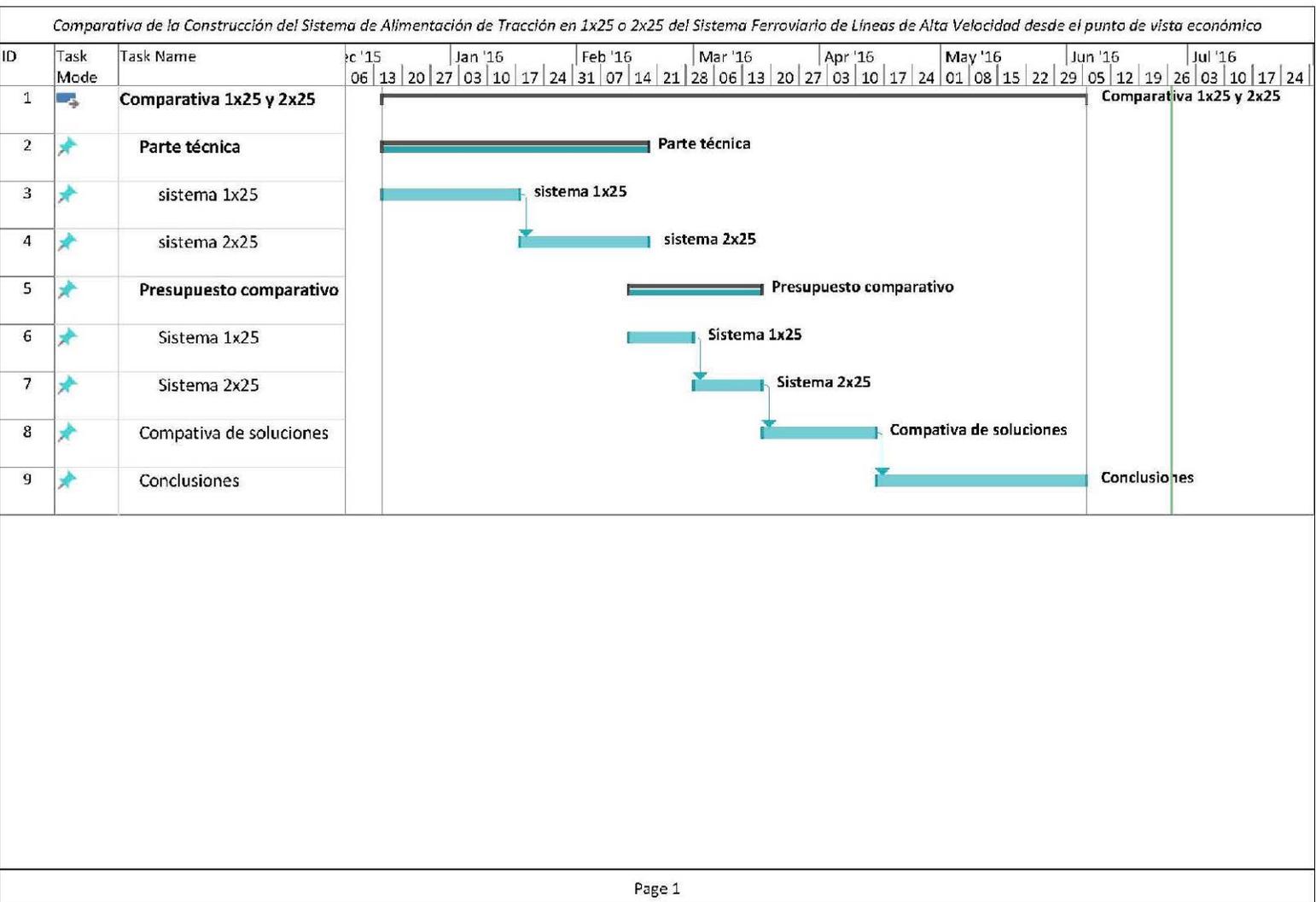
SISTEMA 1X25			
Resumen	Precio	Medición	Importe
LAT 1x25 (220 kV)	17.642.566,90	1	17.642.566,90
SE0	10 km x 252.036,67€/km =2.520.366,70	1	
SE1	30 km x 252.036,67€/km =7.561.100,10	1	
SE2	10 km x 252.036,67€/km =2.520.366,70	1	
SE3	10 km x 252.036,67€/km =2.520.366,70	1	
SE4	10 km x 252.036,67€/km =2.520.366,70	1	
SUBESTACION	7.165.485,20	1	7.165.485,20
SE0	1.433.097,04	1	
SE1	1.433.097,04	1	
SE2	1.433.097,04	1	
SE3	1.433.097,04	1	
SE4	1.433.097,04	1	
TOTAL			24.808.052,10

SISTEMA 2X25			
Resumen	Precio (€)	Medición	Importe (€)
LAT 2x25 (220 kV)	5.040.733,40	1	5.040.733,40
SE1	10 km x 252.036,67€/km =2.520.366,70	1	
SE2	10 km x 252.036,67€/km =2.520.366,70	1	
SUBESTACION	5.617.477,28	1	5.617.477,28
SE1	2.808.738,64	1	
SE2	2.808.738,64	1	
ATI/ATF	8.833.918,20	1	8.833.918,20
ATI 1.1	1.181.280,14	1	
ATI 1.2	1.181.280,14	1	
ATI 1.3	1.181.280,14	1	
ATI 2.1	1.181.280,14	1	
ATI 2.2	1.181.280,14	1	
ATI 2.3	1.181.280,14	1	
ATF 1.4	1.746.237,36	1	
LAC	4.031.981,00	1	4.031.981,00
TOTAL			23.524.109,80

Por tanto, una situación de una red no tan mallada haría que la solución del sistema de 2x25, técnica y económicamente fuera mejor que la solución con el sistema de 1x25.

Además en el caso tratado la línea de acometida es de 220 kV, por lo que si se tratara de líneas de 400 kV, la diferencia sería mayor al ser el coste de las mismas más elevado que las de 220 kV. En este estudio se ha considerado la línea de 220 kV porque es un caso más favorable para el sistema de 1x25, ya que obligaría a que las líneas de acometida fueran de mayor longitud para que la solución se decantara del lado del sistema de 2x25. De todas formas, al hacer el análisis, se descubre que no hace falta incluir líneas de acometida de mucha longitud para que el coste sea mayor en el sistema de 1x25 frente al de 2x25, a igualdad de tensión de alimentación.

9 PLANIFICACIÓN



10 CONCLUSIONES

Por tanto, las conclusiones que se extraen de este Trabajo Fin de Máster, es que a la hora de plantear el sistema de 1x25 o de 2x25, no se puede quedar el estudio en solamente la infraestructura ferroviaria, sino que se deben tener muy en cuenta las instalaciones existentes en el país en el que se vaya a implantar y el grado de desarrollo de las mismas. No se puede considerar como el trazado de una carretera o una autopista que se puede ejecutar teniendo menos en cuenta las instalaciones existentes y planificando solamente las posibilidades de demanda a futuro y el crecimiento poblacional.

El sistema ferroviario que se vaya a implantar, si es electrificado, implica un estudio en profundidad de todas las instalaciones existentes del país, incluyendo las centrales de producción de energía y la posibilidad de generación de energía para dar cobertura a la nueva demanda, además del crecimiento poblacional, y el uso en explotación que se vaya a realizar de las instalaciones. Esta información, no es algo que esté al alcance de todo el mundo y en muchos casos es considerado información estratégica y sensible, por lo que a nivel internacional no es fácil hacer un análisis y determinar la solución óptima sin el apoyo y la implicación completa de las autoridades de ese país.

Parte de la labor de un ingeniero de sistemas ferroviarios es el hacer comprender a las autoridades de cada país en el ámbito internacional, e incluso en el ámbito local, las particularidades y las complicaciones que supone la instalación y el empleo de un sistema de 1x25 de 2x25 en corriente alterna e incluso el empleo de sistemas de alimentación en corriente continua. Esta componente didáctica es una parte muy importante en la labor de un ingeniero que pocas veces es conocida y que se considera inherente a los conocimientos de las instalaciones desde el punto de vista técnico, pero que en muchos casos no es cuidada adecuadamente, acabando con diversos proyectos antes incluso de que hayan podido nacer. Por tanto, se recomienda encarecidamente, cuidar y potenciar esta faceta didáctica que a lo largo de la carrera profesional de cualquier ingeniero puede suponer un plus e incluso la diferencia a la hora de evolucionar y progresar.

11 BIBLIOGRAFÍA

1. *“Cuadros de precios de ADIF de Alta Velocidad del año 2011”*.
2. *“Diseño óptimo de la electrificación de ferrocarriles de alta velocidad”*. Tesis para la obtención del grado de Doctor. E.T.S. de Ingeniería (ICAI) de la Universidad Pontificia de Comillas. Autor; Eduardo Pilo de la Fuente. Fecha 2003.
3. *“La electrificación en la Alta Velocidad”*. Gestor de Infraestructuras Ferroviarias (GIF), Dirección de Explotación. Edición 2.0 de 17 de Noviembre de 2002.
4. *“Validación del dimensionamiento de la línea de ferrocarril Orense-Santiago de Compostela”*. Master Universitario en Sistemas Ferroviarios. E.T.S. de Ingeniería (ICAI) de la Universidad Pontificia de Comillas. Autor; Eduardo Pilo de la Fuente. Fecha 25 de febrero de 2014.