



Máster Universitario en
Sistemas Ferroviarios

DISEÑO BÁSICO DE LÍNEA AÉREA DE CONTACTO EN ZONA DE AGUJAS

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CURSO: 2019-2020

Máster Universitario en Sistemas Ferroviarios
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA ICAI

Autor: CARLOS TEMPRANO GARROTE

Director/es: JOAQUÍN RAMOS RODRÍGUEZ

TÍTULO: DISEÑO BÁSICO DE LÍNEA AÉREA DE CONTACTO EN ZONA DE AGUJAS

AUTOR: CARLOS TEMPRANO GARROTE

Firma:

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the bottom.

DIRECTOR: JOAQUÍN RAMOS RODRÍGUEZ

Firma:

CODIRECTOR (si procede):

Firma:

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. La historia del transporte ferroviario en Gran Bretaña.....	1
1.2. Estado del Arte.....	3
2. OBJETIVOS.....	5
3. PLANIFICACIÓN DE TAREAS	6
4. CONCEPTOS FERROVIARIOS.....	7
4.1. Tipos de sistemas de alimentación de electricidad.....	7
4.1.2 Catenaria Rígida.....	7
4.1.3 Tercer Carril.....	8
4.1.4 Cuarto Carril.....	9
4.2. Conceptos de la Línea Aérea de Contacto.....	9
4.2.1 Hilo de contacto	9
4.2.2 Hilo sustentador.....	10
4.2.3 Péndolas	10
4.2.4 Ménsulas	11
4.2.5 Descentramiento.....	12
4.2.6 Vano	12
4.2.7 Cantón de compensación.....	12
4.2.8 Feeder de acompañamiento.....	12
4.2.9 Postes y Pórticos.....	12
4.2.9 Agujas Aéreas	13
4.2.10 Seccionamiento eléctrico aislado	17
4.2.11 Aisladores de sección	17
4.2.12 MPA (“Mid Point Anchor”).....	18
4.2.13 Jumpers	19
4.2.14 Desplazamiento horizontal debido a la acción del viento	20
4.2.14.1 Desplazamiento del hilo de contacto debido al viento en vía en curva	21
5. ANÁLISIS DEL TRAMOS A ESTUDIAR.....	23
5.1. Paso inferior	23
6. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS.....	25
6.1. Desviación lateral del Hilo de Contacto debida al viento	25
6.2. Cálculo del esfuerzo radial en el brazo de atirantado.....	28
7. SOLUCIÓN	30
7.1. Solución 1: Aguja cruzada	34

7.2. Solución 2: Brazo de atirantado auxiliar en estructura NSR.....	39
7.3. Solución 3: Movilización de apoyo.....	46
8. PRESUPUESTO	51
8.1. Valoración a solución 1: aguja cruzada.....	51
8.2. Valoración a solución 2: brazo de atirantado en estructura NSR.....	52
8.3. Valoración a solución 3: Relocalización de poste.....	52
9. CONCLUSIONES	53
10. BIBLIOGRAFÍA.....	54
11. ANEXO I.....	55
12. ANEXO II	56

1. INTRODUCCIÓN

El sistema ferroviario de Gran Bretaña es el más antiguo del mundo, sus inicios provienen de caminos fabricados con carriles de madera a partir del año 1560. Con el paso de los años este sistema se fue desarrollando como una pequeña red ferroviaria operada por pequeñas empresas privadas a finales del siglo XVIII. El primer ferrocarril público del mundo fue “Lake Lock Rail Road”, construido cerca de Wakefield con la particularidad de que era de vía estrecha.

1.1. La historia del transporte ferroviario en Gran Bretaña

Los primeros precursores del sistema ferroviario fueron mineros alemanes, crearon un camino de wagonways de madera aislado en Callback en torno a 1560. Posterior a este primer camino de carretas se construyeron más en zonas como Prescott y Nottinghamshire.

En 1671 los raíles se empleaban en Durham para transportar carbón, siendo la primera construcción de este tipo de vías “Tanfield Wagonway”. Este tipo de construcciones se llevaron a cabo entre el siglo XVII y el XVIII. En este sistema una de las principales características fue que las locomotoras eran locomotoras de sangre, estos vagones con ruedas eran arrastrados por caballos, dando lugar a una “composición” formada por los vagones y las locomotoras de sangre.

Continuando con los ferrocarriles con locomotoras de sangre, el primer ferrocarril público para transporte de viajeros fue inaugurado por “Swansea and Mumbles Railway” en Oystermouth en 1807. Fue años antes, en 1802 cuando se fabricó la primera locomotora de vapor para circular sobre rieles, a raíz de ésta, en 1812 se construyó la primera locomotora de vapor con éxito comercial, denominada “Salamanca”, como características principales de esta locomotora mencionar que era de tipo piñón y cremallera, con ruedas dentadas.

Fue en 1813 cuando se produjo el diseño de una locomotora con ruedas acopladas directamente a la vía, originando una mejor tracción que las locomotoras de cremallera y en 1814 George Stephenson mejoró esta locomotora incluyendo ruedas de un solo reborde, so nombró a esta locomotora “Blücher”. Gracias a este diseño se designó a Stephenson como ingeniero principal de la línea entre Stockton y Darlington, fue gracias a Stephenson que se permitió circular con locomotoras de vapor por este trayecto y no con caballos como originalmente se pretendía.

Fue el 27 de septiembre de 1821 cuando se abrió el primer ferrocarril público movido por locomotoras en el mundo con una distancia de 40km de largo y con la locomotora “Locomotion N°1” como nombre.

Años más tarde, en 1830 se inauguró entre Machester y Liverpool lo que será el patrón de los ferrocarriles modernos. Fue el primer ferrocarril interurbano de pasajeros del mundo y el primero con servicios, estaciones terminales y servicios programados como lo que se conoce hoy en día. Estos ferrocarriles se dedicaban al transporte de viajeros y de mercancías.

En 1840 el panorama en Gran Bretaña en cuanto a las líneas ferroviarias, siendo estas pocas y muy dispersas, todo esto cambió una década más tarde, en ese tiempo se había establecido una red ferroviaria completa que nutría gran parte de los núcleos urbanos y poblados. A lo largo del siglo XIX y principios del XX, la mayoría de las compañías pioneras se fusionaron o fueron compradas por competidores, quedando solo un puñado de compañías.

A lo largo del siglo XIX se fue implementando un sistema ferroviario sólido en Gran Bretaña. En el año 1923 (en virtud de la “Railways Act 1921”) había cuatro grandes empresas ferroviarias (conocidas como el “Big Four”) repartidas por zonas geográficas:

- El “Great Western Railway” (GWR)
- El “London, Midland and Scottish Railway” (LMS)

- El “London and North Eastern Railway” (LNER)
- El “Southern Railways” (SR)

La nacionalización del sector se llevó a cabo tras la Segunda Guerra Mundial a raíz de la “Ley de Transporte de 1947”. Fue durante esta Segunda Guerra Mundial cuando las distintas compañías se unieron para operar de forma conjunta en toda la red originando por razones prácticas e ideológicas que el Gobierno decidiese nacionalizar el sector ferroviario.

Durante 1948 y 1997 el transporte ferroviario en Gran Bretaña fue operado por “British Railways”, posteriormente comercializada como “British Rail”. Esta operadora se creó tras la Segunda Guerra Mundial con la nacionalización por parte del Gobierno de las cuatro grandes empresas que operaban de forma privada en la red ferroviaria y duró hasta su privatización completa en 1997. Un dato importante durante este periodo fue el proceso de electrificación y dieselización de las locomotoras en sustitución de las ya existentes de vapor.

Tras esta privatización la responsabilidad de la vía, la señalización y las estaciones se transfirió a “Railtrack” (posteriormente bajo control de “Network Rail”) y los trenes a las compañías operadoras. Todo esto tuvo lugar entre 1994 y 1997, la vía y la infraestructura pasaron a “Railtrack”, la infraestructura a “Telecomms” y “British Rail Telecommunications” se vendieron a “Racal”, que a su vez se vendió a “Global Crossing” y se fusionó con “Thales Group”; el material rodante se transfirió a tres “ROSCOS” (empresas de material rodante) privadas.

El logotipo de la “doble flecha” de British Rail está formado por dos flechas entrelazadas que muestran la dirección del viaje en un ferrocarril de doble vía y fue apodado “la flecha de la indecisión”. En la actualidad se utiliza como símbolo genérico en los carteles de las calles de Gran Bretaña que denotan estaciones ferroviarias.

Años más adelante “British Railways” se separó en regiones que inicialmente era similares a las que delimitaban las 4 grandes compañías privadas del pasado (“Big Four”). Algunas de las regiones que conformó “British Railways” son:

- “Sothern Region”: líneas que formaban el “Southern Railway”
- “Western Region”: líneas que formaban el “Great Western”
- “London Midland Region”: líneas que formaban el “London Midland and Socttish Railway” de Inglaterra y Gales
- “Eastern Region”: líneas que formaban el “London and North Eastern Railway”
- “Scottish Region”: todas las líneas en Escocia

Hoy en día se permanece casi sin cambios desde la privatización en las grandes rutas troncales (“West Coast Main Line”, “East Coast Main Line”, “Great Western Main Line”, “Great Eastern Main Line” y “Midland Main Line”). Con el paso del tiempo los ferrocarriles se han vuelto significativamente más seguros desde la privatización y ahora son de los más seguros a nivel europeo.

Actualmente la red ferroviaria de Gran Bretaña se financia mediante una subvención directa del Gobierno y en parte mediante empresas ferroviarias que pagan tasas de acceso para utilizar la red ferroviaria (canon).

1.2. Estado del Arte

Tras hablar de “Network Rail” (NR), la cual es la gestora de infraestructuras de la red ferroviaria en Inglaterra y en concreto del tramo donde se va a centrar el proyecto se procederá a ir enfocando el sistema de gestión de proyectos y la tecnología que se emplea en Reino Unido.

Las empresas privadas que se encargan de operar el material rodante son los principales clientes de NR, de ellas se obtienen grandes ingresos que se reinvierten en mejoras y en los propios trenes.

La red ferroviaria estratégica en la que se reparte Reino Unido lo conforman 18 tramos con subdivisiones en cada tramo que hacen posible dar servicio al mayor número de personas posible.

Es importante mencionar el proceso de elaboración de proyectos que emplean en Reino Unido, a estos procesos se los denomina procesos GRIP, las siglas significan “Governan for Railway Investment Projects”, es el proceso utilizado por “Network Rail” para administrar desarrollos, mejorar o renovar la red ferroviaria de Reino Unido. GRIP se divide en ocho etapas diseñadas para mitigar y minimizar los posibles riesgos asociados a modificaciones importantes en la infraestructura. Estas etapas son:

- Definición de salida: establece el alcance de la inversión y si la psible renovación da activos
- Viabilidad: defino los objetivos de inversión e identifica las restricciones para garantizar que puedan lograrse tanto económica como estratégicamente
- Selección de opciones: evalúa las opciones potenciales y selecciona la más adecuada para cumplir con los requisitos de los interesados
- Desarrollo de una sola opción: la implementación de la opción seleccionada durante el tercer paso
- Diseño detallado: la creación de un plan de ingeniería detallado que proporciona costos, tiempos, recursos y evaluaciones de riesgos definitivos.
- Prueba y comisión de construcción: el proyecto se completará de acuerdo con las especificaciones acordadas y las pruebas comenzarán para confirmar que todo funciona dentro del resumen de diseño.
- Devolución del plan: la transferencia de responsabilidad del activo del contratista a los operadores
- Cierre del proyecto: los contratos re resuelven mientras se establecen contingencias y garantías antes de que finalmente se realice una evaluación de los beneficios

Mencionar que este enfoque se ha desarrollado basado en la experiencia a lo largo del tiempo de grandes proyectos de infraestructura, sacando las mejores prácticas.

El equipo de Línea Aérea “Overhead Catenary System” (OLE) es el sistema empleado para suministrar energía eléctrica (ya sea en forma de corriente continua o alterna) a un tren, en Reino Unido también se conocen como OHL o OHLE. El término genérico que se suele emplear para denominar la Línea Aérea de Contacto es “Overhead Contact Lines”.

El sistema OLE partió en Reino Unido de una tecnología denominada “Mark 1” (Mk1), desarrollada por “British Rail” y “Balfour Beatty” en torno a 1960, esta tecnología a día de hoy está obsoleta para su uso en diseño, pero ha sido la base de las distintas versiones que han ido sacándose.

“OLE Master Index” (OLEMI) se inició en los años 70 ante la necesidad de abaratar costes en los materiales que se empleaban en los equipos OLE, su diseño se basa en un sistema

modular, donde un solo componente puede realizar diversas tareas en el sistema, dando así mayor versatilidad a las piezas. Dentro de OLEMI tenemos las tecnologías Mark 3, Mark 3a, Mark 4 y Mark 5, así como tablas de conversión métricas para sistemas basados en Mark 1.

Con el paso del tiempo en 1990 se desarrolla la tecnología UK1 con el objetivo de aumentar la velocidad de circulación en la línea “West Coast Main Line”, en un principio fue incompatible con la tecnología OLEMI, pero a día de hoy ambas combinan sus componentes bajo el mismo principio, tecnología modular.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto es la puesta a prueba de los conocimientos ferroviarios adquiridos, principalmente los relacionados con Mecánica de Catenaria, así como la resolución de problemas que vayan surgiendo durante el estudio, el punto más crítico en este proyecto es la zona de agujas que se ha decidido estudiar. Como objetivos principales a modo de hitos destacaremos:

1. Desarrollo de planos conforme a las soluciones adoptadas en la zona de agujas implicada en el proyecto, demostrando que se cumplen los parámetros específicos en la tecnología en cuanto a distancias de seguridad, descentramientos ...
2. Sección transversal (“cross-section”) de alguna de las soluciones adoptadas como método de comprobación de gálibo.
3. Realización de cálculos de la desviación lateral del hilo de contacto producida por el viento.
4. Realización de un presupuesto considerando los elementos más destacables que se sustituyen o se instalan nuevos.

3. PLANIFICACIÓN DE TAREAS

En primera instancia dado que es una tecnología totalmente desconocida se realizará un acopio de documentación referente a la historia del ferrocarril en Reino Unido y la tecnología particular empleada en la zona, así como, un estudio de la misma con el fin de entender las distintas particularidades que afectan a este proyecto.

Acto seguido se procederá a analizar el plano de la zona de agujas implicada en este proyecto, limpiando la información innecesaria que no nos atañe, para posteriormente afrontar las distintas soluciones propuestas más adelante.

Una vez definidas las soluciones se redactan dando forma a las soluciones y finalmente se realiza un presupuesto para cada una de las soluciones valorando materiales y precio estimado de mano de obra.

4. CONCEPTOS FERROVIARIOS

A continuación, se disponen los términos básicos necesarios para entender el proyecto.

4.1. Tipos de sistemas de alimentación de electricidad

4.1.1 Catenaria Flexible

La catenaria flexible es un tipo de línea aérea de contacto con la particularidad de que tanto el Hilo de contacto como el Sustentador (si lo tiene) son cables conductores flexibles. El Hilo de contacto se sustenta paralelo a la vía y con una tensión predeterminada para evitar descompensaciones por temperatura u otros fenómenos (entre ellos la presión ejercida del pantógrafo en el hilo). Dependiendo del tipo de vía puede tener un Cable Sustentador y unas péndolas que optimicen el Hilo de Contacto a unos parámetros deseados de curvatura y rigidez. Entre los componentes particulares de este tipo de catenaria tenemos las ménsulas (que sustentan el hilo en los apoyos y pórticos y aíslan eléctricamente la parte electrificada de la línea ante posibles contactos o peligros eléctricos).



*Ilustración 1 Catenaria Flexible (España) (fotografía:
[http://ferropedia.es/mediawiki/index.php/Archivo:Catenaria en Espa%C3%B1a_CAA.JPG](http://ferropedia.es/mediawiki/index.php/Archivo:Catenaria_en_Espa%C3%B1a_CAA.JPG))*

4.1.2 Catenaria Rígida

La catenaria rígida se basa en rigidizar el Hilo de Contacto (flexible habitualmente) mediante barras rígidas normalmente de aluminio, presenta la ventaja de que no necesita hilo sustentador ni péndolas, por ello es muy empleada en trayectos largos en túnel, por ejemplo, en metropolitanos. A parte del hilo de contacto y las barras rígidas presenta soportes para sujetar las barras cada 10 metros aproximadamente, esto es debido al elevado peso de la composición de hilo y barra.



*Ilustración 2 Catenaria Rígida (Metro MAdrid) (fotografía:
http://ferropedia.es/mediawiki/index.php/Archivo:Julian_Besteiro.JPG)*

4.1.3 Tercer Carril

El tercer carril nació de la necesidad de electrificar trenes en núcleos urbanos repercutiendo en la menor medida posible en el impacto visual y así evitar obstáculos innecesarios en torno a las vías. Se basa en la incorporación de un “tercer carril” desde el que se suministra tensión al tren, el cual capta la energía a través de un patín (en sustitución del pantógrafo de captación que se emplea en catenaria flexible y rígida). La principal desventaja de este sistema es la seguridad de las personas, ya que no se aísla frente a contactos de personas, por lo que deberá señalizarse de forma correcta y cerciorarse de que se impide el contacto de personas con el carril.



*Ilustración 3 Tercer Carril - Metro West Falls Church (fotografía:
[https://es.wikipedia.org/wiki/Tercer_riel_\(alimentaci%C3%B3n\)#/media/Archivo:WMATA_third_rail_at_West_Falls_Church.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Tercer_riel_(alimentaci%C3%B3n)#/media/Archivo:WMATA_third_rail_at_West_Falls_Church.jpg))*

4.1.4 Cuarto Carril

Localizado en medio de las vías de circulación, su objetivo es la conducción de la corriente de retorno, tendremos por tanto 4 carriles, 2 por los que circulan las ruedas de los trenes, un carril de alimentación de corriente y un cuarto carril de retorno de corriente; evitamos así problemas de corrosión y perdura más en el tiempo el sistema. Este método de alimentación actualmente se emplea en metropolitanos como Milán, París o Londres.



Ilustración 4 Cuarto Carril - Metro Londres (fotografía: <https://www.trenvista.net/descubre/mundo-ferroviario/la-electricacion-de-los-ferrocarriles/>)

4.2. Conceptos de la Línea Aérea de Contacto

Con la finalidad de comprender lo mejor posible lo tratado en el proyecto, a continuación, se explican los conceptos que considero importantes:

4.2.1 Hilo de contacto

Es el hilo encargado de suministrar la energía eléctrica al tren a través del pantógrafo, el caso ideal sería que la altura del hilo de contacto fuese siempre constante de cara a favorecer la interacción con el pantógrafo y la captación, pero debido a diversas circunstancias (vía, agentes externos) esta altura varía, aunque se intenta mantener en unos intervalos pequeños de variación. La composición del hilo de contacto y las secciones disponibles varían entre tecnologías, pero lo más habitual son secciones de 107-120-150 mm² de cobre, de aleaciones de cobre (con plata o magnesio). Su forma no es circular, ya que se le realizan dos muescas en la parte superior para poder agarrar el hilo sin impedir la captación continua de energía mediante grifas.

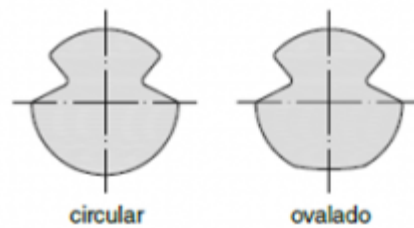


Ilustración 5 Tipos de Hilo de Contacto (fotografía: <https://www.lafarga.es/es/productos-y-mercados/cables-ferroviarios/item/fil-contacte-ranurat>)

4.2.2 Hilo sustentador

Es el hilo sustentador tiene como principal objetivo soportar el hilo de contacto, ayudando a mantener la tensión de éste, dependiendo de la tecnología se emplea un tipo u otro, en Reino Unido se suele emplear un hilo sustentador de acero con un recubrimiento de cobre.

Un elemento particular que se instala en algunas catenarias es el falso sustentador, colocado entre sustentador e hilo de contacto para evitar puntos duros (elásticamente hablando) en los puntos de apoyo que sustentan la catenaria.

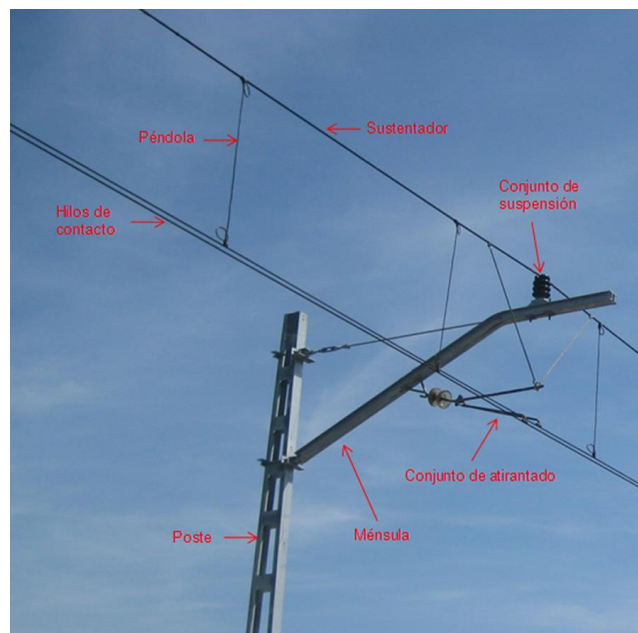


Ilustración 6 Hilo Sustentador (fotografía: http://www.adif.es/es_ES/img/fichas/catenaria3B.jpg)

4.2.3 Péndolas

Las péndolas son los elementos que unen mecánicamente el hilo de contacto y el sustentador manteniéndolos a una distancia establecida, en algunos casos estas péndolas pueden ser equipotenciales, conectando también de forma eléctrica ambos cables (ampliando así la sección de transporte de energía). Suelen estar hechas de bronce y se componen de un hilo de péndola y dos grifas, una superior para el sustentador y una inferior para el hilo de contacto.



Ilustración 7 Péndolas (fotografía: <http://www.mapensa.net/pen/mapen04.jpg>)

4.2.4 Ménsulas

Las ménsulas son las encargadas de soportar la catenaria sobre la vía (cuando es catenaria flexible), éstas pueden ser triangulares o de celosía habitualmente y tienen como función complementaria aislar eléctricamente los apoyos de la catenaria.



Ilustración 8 Ménsula Triangular (fotografía: <http://www.grupoarruti.com/catenaria/velocidad.html>)



Ilustración 9 Ménsula de Celosía (fotografía: http://www.andelsa.es/descargas/PDF_FERROCARRIL.3.pdf)

4.2.5 Descentramiento

Variación horizontal de distancia respecto al eje de vía que tiene dos objetivos principales, disminuir el desgaste del pantógrafo con el hilo de contacto (al ir variando la zona de contacto de la catenaria con el pantógrafo este se desgasta de forma homogénea en todo el patín y no se produce un fenómeno de aserramiento en un punto concreto) y asegurar en recta y sobre todo en curva que el hilo de contacto permanece en los márgenes admisibles de captación del pantógrafo. En tramos rectos se utilizará un descentramiento máximo de 230 mm y en tramos curvos podremos emplear descentramientos de hasta 350 mm.

4.2.6 Vano

Distancia horizontal que hay de apoyo a apoyo consecutivo, ni tiene una distancia definida pero normalmente en función de parámetros como el peso de la catenaria o factores como el hielo y el viento que índice sobre la catenaria. Como valores normales podemos obtener en tramos rectos entre 50 y 64 metros.

4.2.7 Cantón de compensación

La catenaria no es continua, se divide en tramos de aproximadamente 1200 metros, con el fin de contrarrestar el efecto de los cambios de longitud de los conductores producidos por las variaciones de temperatura.

Estos cantones pueden estar o no compensados, y a su vez, los cantones pueden tener compensación automática o con terminación fija, dependiendo de si la tensión del cantón varía con la temperatura o si el hilo normalmente se encuentra a una tensión constante.

En los cantones se instala a mitad del cantón el punto fijo, con el objetivo de evitar desplazamientos del hilo de contacto por la acción del pantógrafo.

4.2.8 Feeder de acompañamiento

Cuando los consumos de corriente son elevados, a parte del Hilo de Contacto y el Sustentador y con el objetivo de poder transportar más corriente se recurre al tendido de cables (normalmente de cobre) que se montan paralelos al Hilo de contacto sobre los apoyos, a este tipo de cables se les denomina feeder de acompañamiento y nos permite aumentar las secciones de sustentador e hilo de contacto sin que todo el peso de ésta recaiga sobre el hilo de contacto y el sustentador, evitando así cables con secciones muy grandes que perjudiquen mecánicamente la composición de la catenaria.

4.2.9 Postes y Pórticos

Son los encargados de soportar la catenaria, así como los elementos auxiliares que la componen, pueden ser metálicos o de hormigón dependiendo de la tecnología, siempre que cumplan con la resistencia a los esfuerzos a los que van a estar expuestos.

Los pórticos son uniones de dos postes mediante una viga (pórtico rígido) o un cable de acero (pórtico funicular) y tienen como función agrupar varias vías de

catenaria, se montan cuando no hay espacio suficiente para montar cada catenaria de forma independiente (un uso muy típico es en estaciones).



Ilustración 10 Pórtico (fotografía: <https://www.eadic.com/elementos-de-sustentacion-para-la-catenaria-c-350/>)



Ilustración 11 Poste (fotografía: <https://www.modelismodeltren.com/catenaria-viessmann-escala-h0/poste-de-catenaria-central-4112-viessmann-escala-h0.html>)

4.2.9 Agujas Aéreas

Las agujas aéreas son instalaciones que se realizan entre las dos catenarias de un desvío, cruzamiento o escape para permitir el paso de las circulaciones de una vía directa a otra o viceversa, sin disconformidad en la alimentación eléctrica.

Inicialmente todas las agujas aéreas se realizaban mediante un montaje tal que, aun permitiendo el paso de los trenes por vía directa a elevada velocidad, el pantógrafo rozaba al pasar por la aguja, tanto la catenaria de vía directa como la catenaria de vía desviada y, por

tanto, se producía un cambio puntual en la homogeneidad de la línea, a estas agujas se las denominaba agujas cruzadas. Para evitar estos inconvenientes y conseguir uniformidad de la catenaria se desarrolló un montaje de aguja aérea tangencial que permite que el pantógrafo de los trenes que circulan por vía directa no roce con la catenaria de vía desviada. De forma global, las agujas cruzadas se caracterizan porque las catenarias correspondientes tanto a la vía directa como a la vía desviada se cruzan y en las tangenciales no.

Durante el proyecto las agujas van a tener una importancia primordial, ya que la problemática que nos encontramos en estos tramos es de gran interés y, concretamente para este proyecto, objeto de estudio.



Ilustración 12 Zona de Agujas Tangenciales objeto de estudio (perfil 13-11A)

A la hora de proceder en estas áreas se necesitan una serie de medidas para asegurar una buena captación y evitar en la medida de lo posible discontinuidades elásticas en la catenaria, evitando así posibles riesgos de desconexión del pantógrafo.

En las agujas tangenciales existe un punto en el que el Hilo de Contacto de la vía directa y la desviada entran en contacto con el pantógrafo (con el objetivo de mantener esta continuidad eléctrica de la que hablamos) durante un breve periodo de tiempo, por tanto, para este tipo de casuísticas es muy importante una correcta geometría de línea aérea de contacto, permitiendo así la conexión continua del tren y las distancias de seguridad con las partes mecánicas.

La “fit free area” es la zona ficticia en las que se asegura una transición segura entre los hilos de contacto. En esta área no puede haber abrazaderas, pero si pueden ubicarse péndolas.

Para ampliar información acerca de esto he acudido al “Libro Verde de Siemens” y a “Overhead Line Electrification for Railways”, donde indica que para la tecnología que estamos empleando en esta línea (UK1) los hilos de contacto simplemente tienen que estar fuera de la

“feet free area” y el punto donde el pantógrafo está en contacto con ambos hilos se dará entre los centros de cada vía (directa y desviada).

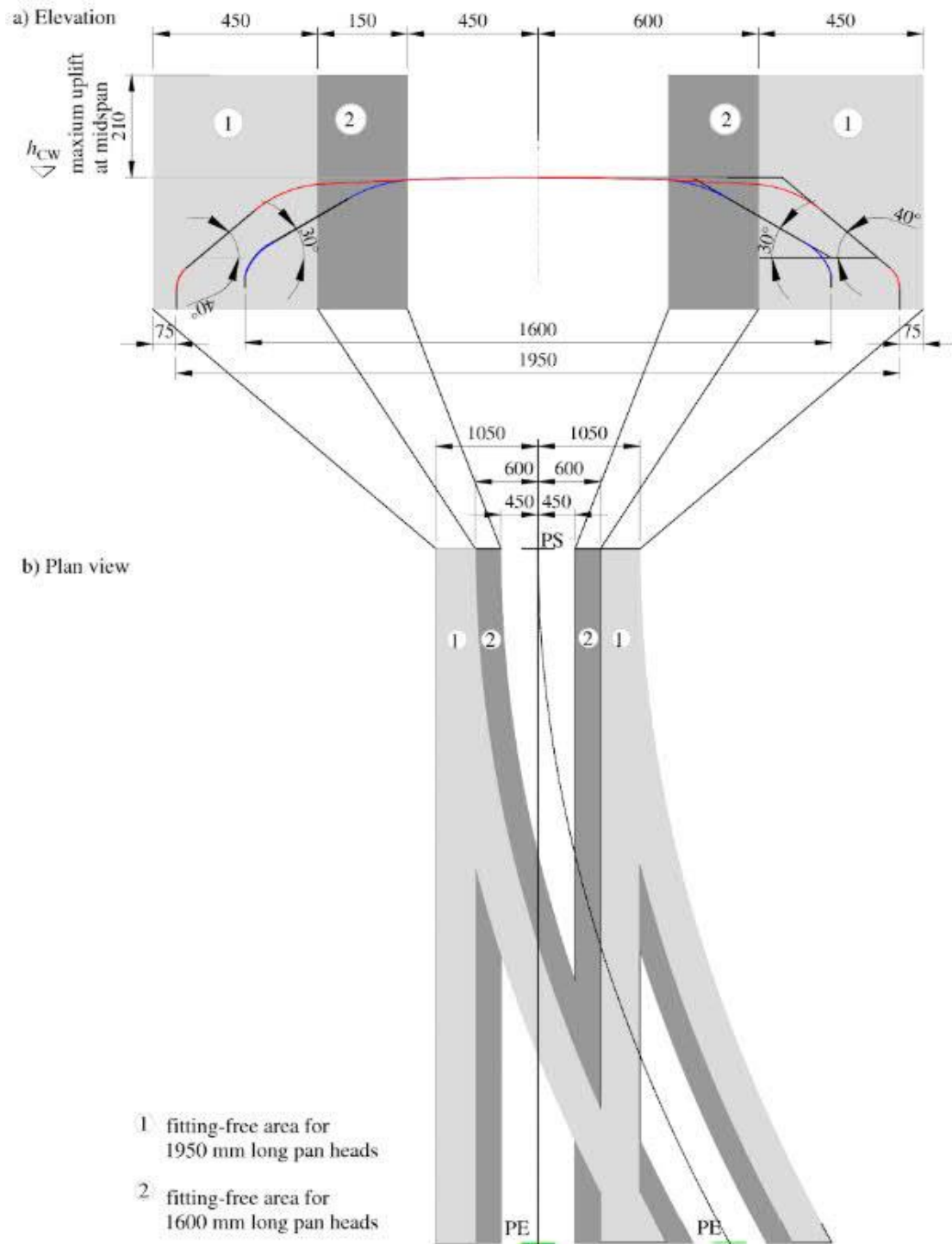


Ilustración 13 Fit Free Area (fotografía: "Líneas de contacto para ferrocarriles electrificados")

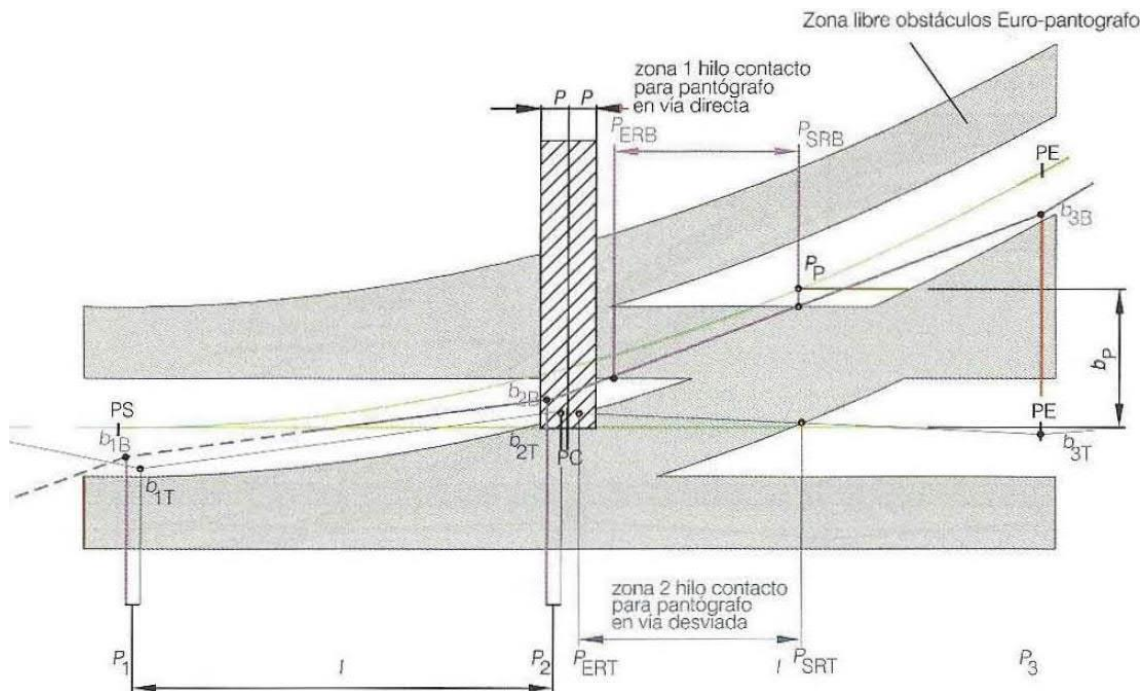


Ilustración 14 Posición de los hilos de contacto con respecto a los centros de vía (fotografía: "Líneas de contacto para ferrocarriles electrificados")

La parte más importante a la hora de definir la disposición que deben de tener los hilos de contacto en agujas, ya sean tangenciales o cruzadas es:

- Cuando el Hilo de Contacto de la vía directa contacte con la zona libre de obstáculos y con el carril de la vía desviada este deberá encontrarse entre los dos ejes de las vías (directa y desviada), de la misma forma con el Hilo de Contacto de la vía desviada, cuando corte la zona libre de obstáculos y el carril de la vía directa deberá encontrarse entre los dos ejes de las vías (directa y desviada).

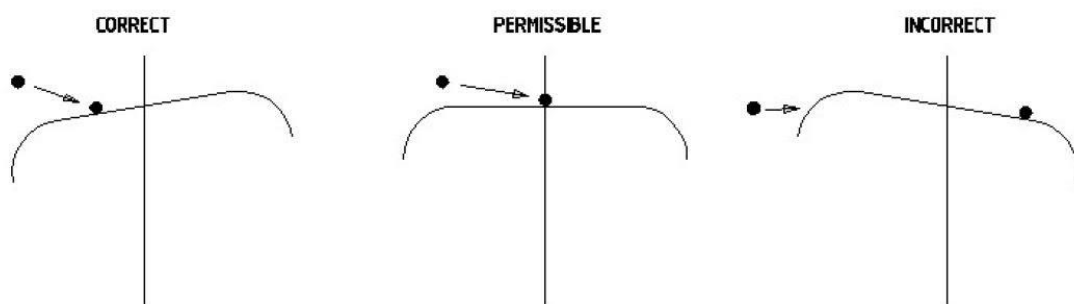


Ilustración 15 Tipos de transición del pantógrafo en agujas aéreas (fotografía: "Líneas de contacto para ferrocarriles electrificados")

Esta última ilustración hace referencia a las formas que tenemos de realizar la transición del pantógrafo a lo largo de la aguja, siendo el "correcto" el mejor de los casos para tener un buen funcionamiento y captación, y siendo el "permitido" otra opción aceptable, pero en ningún caso realizaremos una transición como se indica en la ilustración "incorrecta".

4.2.10 Seccionamiento eléctrico aislado

Las secciones eléctricas aisladas son necesarias para separar la línea aérea de contacto en diferentes secciones eléctricas o circuitos. En caso de estaciones y trayectos con velocidades aproximadas de hasta 160km/h se suelen utilizar aisladores de sección, estos provocan una discontinuidad en la elasticidad de la línea, por eso su uso para velocidades medias y no altas.

Para líneas principales con velocidades superiores a 160km/h se utilizan seccionamientos de lámina de aire debido a que si empleamos aisladores de sección la calidad de captación por esa discontinuidad elástica que mencionábamos es mala, produciéndose esfuerzos catenaria-pantógrafo elevados.

4.2.11 Aisladores de sección

Los aisladores de sección, como mencionamos en otros apartados, se emplean para separar eléctricamente los distintos tramos en que dividimos la catenaria a lo largo del un mismo recorrido. Para el esquema de línea principal, los aisladores de sección se permiten en cruces, bucles y apartaderos, debido a su bajo rendimiento a nivel de captación en velocidades altas.

En función de si las velocidades son altas o bajas emplearemos 2 tipos de seccionador:

- Para velocidades relativamente bajas se instalan aisladores de sección pesados y direccionales (se debe configurar la dirección dominante del tráfico)



Ilustración 16 Aislador de sección pesado

- Para velocidades altas estos aisladores de sección serían más ligeros y se emplean aisladores de microesferas de cerámica, para el caso del ferrocarril pesado del Reino Unido, se deben utilizar sistemas integrados de alta velocidad para los equipos nuevos y modificados.



Ilustración 17 Aislador de sección ligero (AV)

Se debe tener en cuenta los posibles problemas que dan este tipo de aisladores como puede ser el peso del propio aislador sobre la catenaria y la repercusión sobre el hilo de contacto y el pendolado. En nuestro tramo tenemos aisladores de sección en la aguja aérea mencionada anteriormente.

4.2.12 MPA (“Mid Point Anchor”)

Los anclajes de punto fijo se instalan en torno al punto medio del cantón para lograr la contención de la catenaria. Existen tres métodos estándar para proporcionar un punto fijo:

- Una sola ménsula en voladizo con sus respectivos cables de anclaje que van desde el punto fijo hasta los apoyos anterior y posterior a este.
- Una consecución de abrazaderas en sucesivos “headspans” (suelen ser 5 estructuras habitualmente)
- Con terminación directa de la catenaria en un dintel (aisladores y jumpers incluidos)



Ilustración 18 Mid Point Anchor en dintel del perfil 13-14D

4.2.13 Jumpers

Los “jumpers” se dividen en dos tipos en función de para que los queramos emplear:

Jumpers equipotenciales

Estos jumpers equipotenciales son puentes que se colocan en lugares donde queremos equilibrar tensiones entre 2 o más elementos de OLE. Se deben proporcionar puentes equipotenciales a intervalos regulares a lo largo de un hilo de contacto para igualar las tensiones entre catenaria e hilo, cuando tenemos un cruceamiento de cables o varios cables se encuentran próximos y se necesita que estén a la misma tensión o en los solapamientos aislados con el fin de igualar los potenciales.

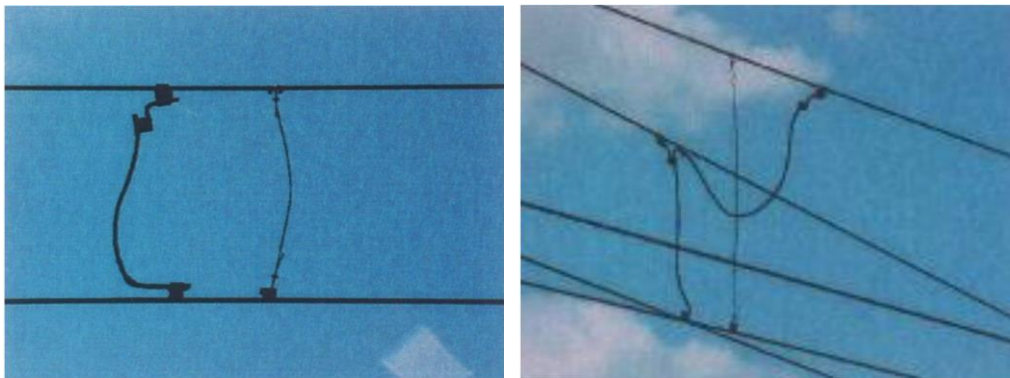


Ilustración 19 Jumpers equipotenciales entre hilo de contacto y sustentador (izquierda) y entre cables (derecha)

Puentes de corriente

Los puentes de corriente se emplean en localizaciones donde dos o más cables convergen y se espera que la corriente de tracción fluya de uno a otro bajo operación normal. Los podremos encontrar en solapamientos que no se encuentren aislados o en bifurcaciones de cable en desvíos.

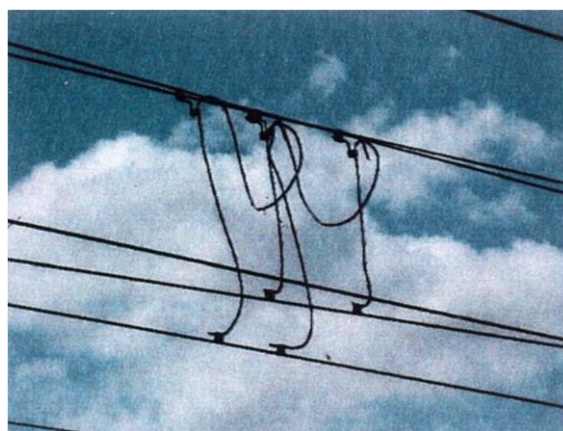


Ilustración 20 Puente de corriente

4.2.14 Desplazamiento horizontal debido a la acción del viento

Debido a la fuerza que el viento ejerce sobre los hilos y conductores de la línea aérea de contacto se producen desplazamientos horizontales, los cuales son directamente proporcionales a la fuerza ejercida por el viento e inversamente proporcional a la tensión mecánica a la que están sometidos los conductores. Estos desplazamientos pueden llegar a ser peligrosos, están limitados por la zona de trabajo de la mesilla del pantógrafo, ya que si sobrepasamos estos límites provocaremos un efecto denominado *descarrilamiento del pantógrafo*.

Por todo esto anteriormente explicado es muy importante llevar a cabo un buen diseño y posterior instalación de la catenaria para evitar problemas en el futuro.

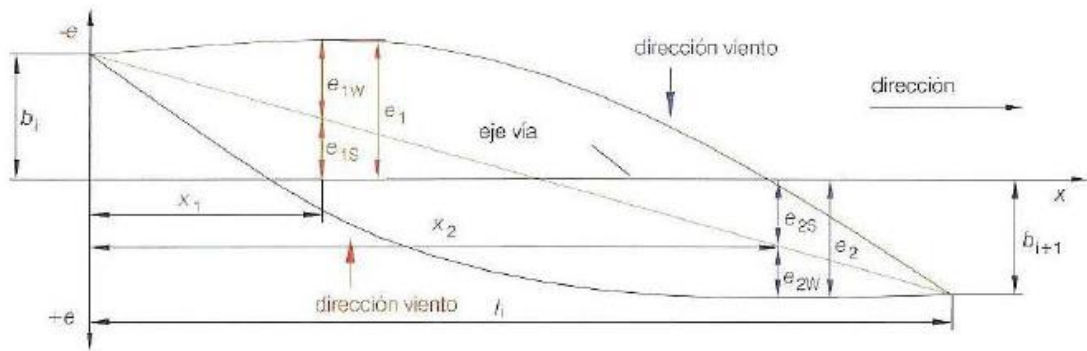


Ilustración 21 Desplazamiento de una línea de contacto descentrada, en un tramo recto de la vía, por acción del viento

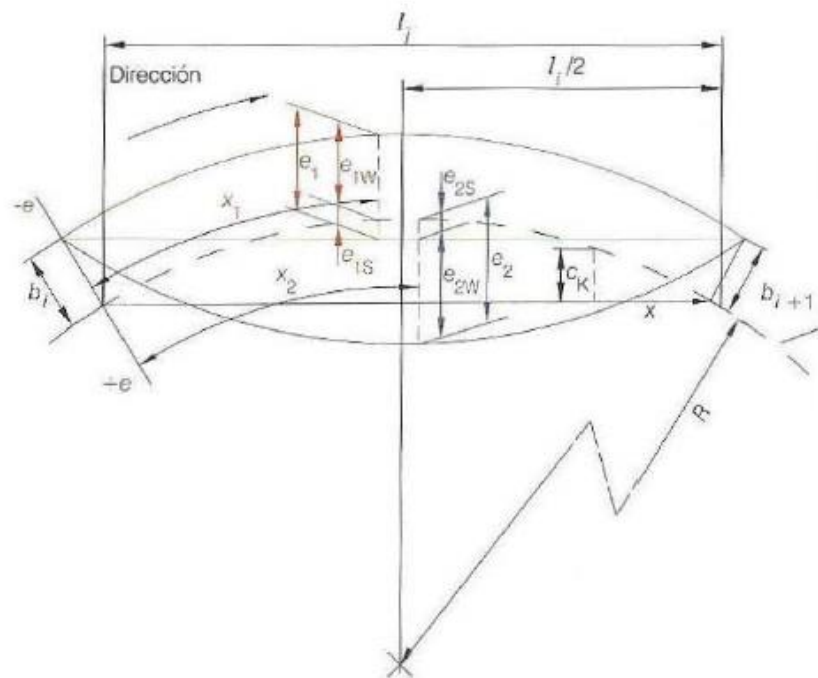


Ilustración 22 Desplazamiento de una línea de contacto descentrada, en un tramo curvo de la vía, por acción del viento

4.2.14.1 Desplazamiento del hilo de contacto debido al viento en vía en curva

Cuando se pretende calcular el desplazamiento del hilo de contacto bajo la acción del viento) es necesario distinguir si el viento sopla desde dentro o desde fuera de la curva. Análogamente, a (5. 37) y (5.68) el desplazamiento lateral del hilo de contacto cuando se le somete a la carga del viento, viene expresado por la ecuación:

$$e_w(x) = \pm F'_w x (x-l_i) / (2H)$$

El signo positivo se aplica cuando el viento sopla desde dentro de la curva y el negativo cuando sopla desde fuera de la curva. En general, el desplazamiento del hilo de contacto e respecto del eje de vía vale:

$$e = e_s + e_w$$

$$e(x) = [c_s(x) - c_r(x)] + e_w(x)$$

Cuando el viento sopla desde fuera de la curva, el desplazamiento del hilo de contacto con respecto al eje de vía vale:

$$e_2 = e_{2s} + e_{2w}$$

$$e_2(x_2) = c_s(x_2) - c_r(x_2) - e_{2w}(x_2) = ((b_{i+1} - b_i) x_2/l_i) + b_i - x_2(x_2 - l_i) * (1/2R + F'_w/2H)$$

Para conocer en qué punto se produce el desplazamiento lateral máximo, se aplica la condición $d(e_{wa})/dx = 0$:

$$x_2 = l_i/2 + (b_{i+1} - b_i) / [l_i (1/R + F'_w/H)]$$

Por lo tanto, el máximo desplazamiento lateral del hilo de contacto bajo la acción de la carga del viento se obtiene sustituyendo el valor de x por el obtenido en la ecuación anterior:

$$e_{2,máx} = (1/R + F'_w/H) l_i^2/8 + (b_i + b_{i+1})/2 + (b_{i+1} - b_i)^2 / [2l_i^2 (1/R + F'_w/H)]$$

Cuando el viento sopla desde dentro de la curva (observar cómo esto provoca que el parámetro de acción del viento e_{1w} sume en vez de restar), el desplazamiento del hilo de contacto con respecto al eje de vía vale:

$$e_1 = e_{1s} + e_{1w}$$

$$e_1(x_1) = c_s(x_2) - c_r(x_2) + e_{1w}(x_1) = ((b_{i+1} - b_i) x_1/l_i) + b_i - x_1(x_1 - l_i) * (1/2R + F'_w/2H)$$

$$x_1 = l_i/2 + (b_{i+1} - b_i) / [l_i (1/R - F'_w/H)]$$

$$e_{1,máx} = (1/R - F'_w/H) l_i^2/8 + (b_i + b_{i+1})/2 + (b_{i+1} - b_i)^2 / [2l_i^2 (1/R - F'_w/H)]$$

Como conclusión final podemos observar que cuando el viento sopla desde el exterior de la curva, el desplazamiento máximo del hilo de contacto por el viento es mayor ($e_{2,máx}$ es mayor que $e_{1,máx}$).

A continuación, se incluye un listado con el significado de cada uno de los parámetros empleados en las fórmulas:

- e_w → posición del hilo de contacto
- F'_w → carga del viento por unidad de longitud
- l_i → longitud del vano en metros
- H → Tensión del hilo de contacto
- R → Radio de curvatura
- b_{i+1} → Descentramiento posterior
- b_i → Descentramiento anterior

Se ha realizado una hoja de cálculo (*Excel Desplazamiento Horizontal*) con estos parámetros de cara a la comprobación de que las soluciones adoptadas para el presente proyecto, se presentará el proceso de creación en el apartado de **6. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS**.

5. ANÁLISIS DEL TRAMOS A ESTUDIAR

El tramo objeto del estudio que estamos realizando se encuentra en Reino Unido como hemos comentado anteriormente, concretamente en las inmediaciones de la estación Gidea Park de Romford.



*Ilustración 23 Gidea Park Railway Station (fotografía:
https://en.wikipedia.org/wiki/Gidea_Park_railway_station#/media/File:Gidea_Park_Railway_Station.jpg)*

En este tramo tenemos una serie de particularidades:

5.1. Paso inferior

En este tramo tenemos un paso inferior antes de entrar en la estación, la característica a tener en cuenta en estas zonas es el aislamiento eléctrico, hay que mantener unas distancias mínimas para asegurar que todas las partes eléctricas están lo suficientemente separadas de las zonas no electrificadas.

Se denomina paso inferior ya que es una obra realizada en un elemento artificial que salva un cruce, es inferior porque el tren pasa por debajo del paso.



Ilustración 24 Paso inferior visto desde apoyo 13-15

6. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

A continuación procedemos a mostrar los dos apartados principales de cálculos que se han tenido que realizar durante el proceso de realización del trabajo:

6.1. Desviación lateral del Hilo de Contacto debida al viento

Para el proyecto que nos atañe uno de los elementos a tener en cuenta ya que vamos a ajustar los Hilos de Contacto y en algunos casos las distancias a las que van a quedar serán relativamente ajustadas, lo que nos interesa es calcular esos intervalos en los que nos vamos a poder mover considerando el desplazamiento que puede producir el viento sobre la catenaria.

Para ello se ha explicado el fundamento teórico en el apartado **4.2.14 Desplazamiento horizontal debido a la acción del viento** los cálculos que se han ido realizando para la creación de la hoja de cálculo.

Dentro de la hoja de cálculo tenemos una serie de dato de entrada los cuales hemos sombreado de **color naranja**, el resto de los elementos están formulados según la **Norma UNE-50119** y el libro **Líneas de contacto para ferrocarriles electrificados (Kießling / Puschmann / Schmieder / Vega)**.

Entre los parámetros definibles están:

- **Longitud del pantógrafo:** por defecto se definen los 1950mm y los 1600mm del euro pantógrafo. Este valor será el encargado de limitar la desviación lateral máxima (que será una cuarta parte de la longitud nominal del pantógrafo).
- **Velocidad del viento de referencia:** se ha elegido 29 m/s como indican en la Norma UNE-50119, pero se puede seleccionar cualquier otro valor si la normativa nacional así lo requiere
- **Temperatura:** se define en esta casilla el valor de temperatura más restrictivo, por defecto hemos seleccionado -15°C.
- **Altitud:** dependiendo del punto en el que nos encontremos estaremos a una altura u otra, la localización de la vía a estudiar está a aproximadamente 140m sobre el nivel del mar.
- **Sección del conductor:** según el proyecto de estudio será 136,85mm²
- **Longitudes del vano anterior y posterior al vano de estudio:** según el plano de estudio tenemos un vano de 43m y uno de 35m (el anterior)
- **Descentramiento anterior y descentramiento posterior:** al igual que los vanos anterior y posterior, a definir en función de la solución.
- **Radio de Curvatura:** si no tenemos tramo en curva definimos un radio de curvatura excesivamente grande para que no afecte de forma destacable al cálculo
- **Longitud del vano:** distancia de apoyo a apoyo
- **Tensión del Hilo de Contacto:** al igual que la sección, la tensión en esta catenaria del Hilo de Contacto es 11,90 kN.

DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DEL HILO D					
ORDEN	SÍMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	DATOS	UNIDADES	
1		LONGITUD DEL PANTÓGRAFO	1600	mm	
2		DESVIACIÓN LATERAL MÁXIMA ADMISIBLE	400	mm	ETI E
3	q_k	PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO	1175,94	N/m ²	
3.1	G_q	FACTOR DE RESPUESTA DE LAS RÁFAGAS	2,05		
3.2	G_t	FACTOR DEL TERRENO	1		
3.3	V_R	VELOCIDAD DEL VIENTO DE REFERENCIA	29	m/s	NOR
3.4	ρ	DENSIDAD DEL AIRE	1,364	kg/m ³	
3.5	T	TEMPERATURA (CELSIUS)	-15,00	°c	
3.6	T	TEMPERATURA (KELVIN)	258,00	K	
3.7	H	ALTITUD	20	m	
4	Q_{WC}	FUERZA DEL VIENTO SOBRE CONDUCTORES	445,12	N/m	NOR
4.1	G_C	FACTOR DE RESPUESTA ESTRUCTURAL	0,75		
4.2		SECCIÓN DEL CONDUCTOR	150	mm ²	
4.3	d	DIÁMETRO DEL CONDUCTOR	0,01442	m	
4.4	C_C	COEFICIENTE DE RESISTENCIA AERODINÁMICA	1		NOR
4.5	L_1	LONGITUD DEL VANO ANTERIOR	40	m	
4.6	L_2	LONGITUD DEL VANO POSTERIOR	30	m	
4.7	ϕ	ÁNGULO DE INCIDENCIA DE LA DIRECCIÓN CRÍTICA DEL VIENTO	0	°	NOR
5	F'_W	FUERZAS DEL VIENTO EN ESTRUCTURAS	12,72	N/m	LIBR
6	$e_{W_a, \max}$	DESVIACIÓN LATERAL MÁXIMA EN EL EXTERIOR DE LA CURVA	58,20	mm	LIBR
6.1	$x_{W_a, \max}$	PUNTO DEL VANO DONDE SE PRODUCE EL VALOR MÁXIMO DE LA DESVIACIÓN LATERAL EN EL EXTERIOR DE LA CURVA	17,92	m	LIBR
6.2	b_i	DESCENTRAMIENTO ANTERIOR	-0,23	m	
6.3	b_{i+1}	DESCENTRAMIENTO POSTERIOR	-0,085	m	
6.4	R	RADIO DE CURVATURA DEL VANO	100000	m	
6.5	l_i	LONGITUD DEL VANO	25	m	LIBR
6.6	T_{HC}	TENSIÓN DEL HILO	12000	N	
7	$e_{W_i, \max}$	DESVIACIÓN LATERAL MÁXIMA EN EL EXTERIOR DE LA CURVA	255,54	mm	LIBR
7.1	$x_{W_i, \max}$	PUNTO DEL VANO DONDE SE PRODUCE EL VALOR MÁXIMO DE LA DESVIACIÓN LATERAL EN EL EXTERIOR DE LA CURVA	6,98	m	LIBR

Ilustración 25 Datos de entrada, salida y constantes del cálculo de la desviación horizontal del hilo de contacto debido al viento

Como se puede comprobar, a parte de estos elementos coloreados en naranja tenemos dos parámetros, concretamente el resultado final de las desviaciones laterales los cuales en función de si superan o no las desviaciones máximas admisibles se colorean en verde en caso afirmativo y en rojo en caso negativo.

Como resultado final se muestra una gráfica con la teórica disposición del Hilo de Contacto en función de si el viento sopla hacia el interior de la curva o hacia el exterior de la curva, así como una tabla con el desplazamiento teórico que habría en cada punto del vano en cuestión:

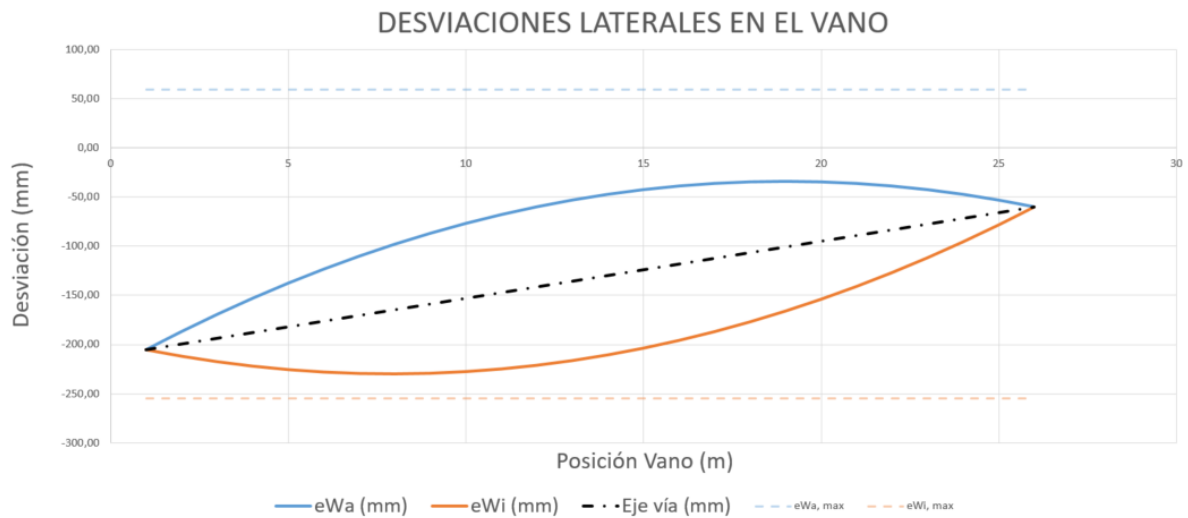


Ilustración 26 Desviación horizontal del Hilo de contacto debido al viento

TABLA DESVIACIONES A LO LARGO DEL VANO			
x (m)	e_{Wa} (mm)	e_{Wi} (mm)	Eje vía (mm)
0	-205,00	-205,00	-205,000
1	-186,54	-211,62	-199,200
2	-169,14	-217,20	-193,400
3	-152,80	-221,74	-187,600
4	-137,50	-225,26	-181,800
5	-123,27	-227,73	-176,000
6	-110,08	-229,18	-170,200
7	-97,96	-229,58	-164,400
8	-86,88	-228,96	-158,600
9	-76,86	-227,30	-152,800
10	-67,90	-224,60	-147,000
11	-59,99	-220,87	-141,200
12	-53,14	-216,10	-135,400
13	-47,34	-210,30	-129,600
14	-42,59	-203,47	-123,800
15	-38,90	-195,60	-118,000
16	-36,26	-186,70	-112,200
17	-34,68	-176,76	-106,400
18	-34,16	-165,78	-100,600
19	-34,68	-153,78	-94,800
20	-36,27	-140,73	-89,000
21	-38,90	-126,66	-83,200
22	-42,60	-111,54	-77,400
23	-47,34	-95,40	-71,600
24	-53,14	-78,22	-65,800
25	-60,00	-60,00	-60,000

Ilustración 27 Tabla con desplazamiento horizontal en cada punto del vano

Si en la tabla saliese algo **coloreado en rojo** indicaría en que puntos del vano se está incumpliendo el máximo de desviación horizontal admisible.

Se incluyen a parte dentro de la hoja de cálculo una columna con REFERENCIAS (donde vienen indicadas las referencias de donde se han ido sacando los valores y las fórmulas elegidos) y otra con OBSERVACIONES (con distintas explicaciones o notas para facilitar la comprensión de los cálculos).

6.2. Cálculo del esfuerzo radial en el brazo de atirantado

Como se indicará posteriormente en una de las soluciones que hemos elegido como alternativa para eliminar la problemática de la zona de agujas, una de las soluciones sería la instalación de un brazo de atirantado sobre una de las estructuras que hay a modo de pórtico entre los puntos de aguja. En el apartado de **7. SOLUCIONES** se entrará más en detalle acerca de las distintas soluciones que hemos adoptado.

Para adoptar esta solución hay que tener una serie de cosas en cuenta, como son:

- El gálibo eléctrico del material rodante
- El ángulo del brazo debido al gálibo
- El esfuerzo radial al que hay que someter el Hilo de Contacto para obtener el descentramiento deseado en ese punto

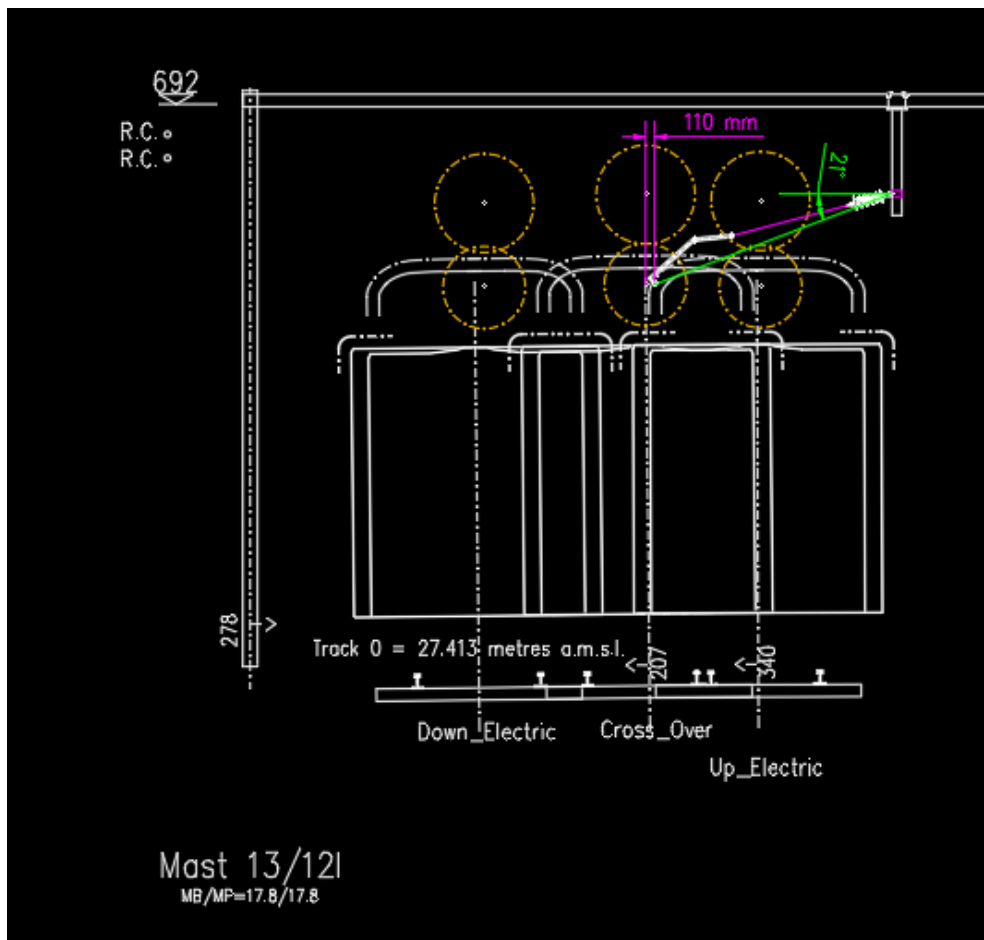


Ilustración 28 Brazo de atirantado instalado en la estructura NSR

El proceso que se ha seguido para la obtención del esfuerzo radial ha sido: Desde AutoCAD se ha establecido una posición óptima respetando el gálibo eléctrico del material rodante que circula por la vía que nos interesa, una vez se consigue esto obtenemos el ángulo en el que tendremos que colocar el brazo de atirantado en la estructura NSR para poder cumplir el objetivo del descentramiento que deseamos darle al hilo para esta solución.

El siguiente paso es el cálculo de la fuerza vertical a la que va a estar sometido el brazo de atirantado, este cálculo sencillo se realiza contemplando el peso del Hilo de Contacto de aproximadamente medio vano sumado al peso de la primera péndola.

$$F_v = ([P_{HC} \times L_{HCP}] + P_{péndola}) \times g = 54,88 \text{ N}$$

F_v: fuerza vertical

P_{HC}: peso del hilo de contacto, para este caso dado que el hilo de contacto tiene una sección de 136,85 mm², el peso será de 1,07 kg/m

L_{HCP}: Longitud de peso soportado por la péndola de Hilo de Contacto, suelen ser aproximadamente 5m

P_{péndola}: peso de una péndola, aproximadamente dada la sección de una péndola y la longitud que suele tener un cable de péndola y sus grifas consideramos 0,25kg

g: aceleración de la gravedad, 9,8 m/s²

Una vez se han dado valores en la fórmula a la fuerza vertical obtenemos el valor de 54,88 N. El siguiente paso es establecer una relación sencilla para hallar la fuerza radial resultante:

$$F_r = F_v \times \tan(\alpha) = 21,07 \text{ N}$$

F_r: fuerza radial en N

F_v: fuerza vertical obtenida anteriormente (54,88 N)

α: ángulo formado por el brazo de atirantado (21°)

7. SOLUCIÓN

Como hemos comentado anteriormente, nos encontramos concretamente en un tramo de agujas, donde la problemática que se presenta tras la nueva colocación de las agujas es corregir la colocación de los Hilos de Contacto de la vía directa y la desviada para que cumple como se indica en el apartado **4.2.9 Agujas aéreas**: *“Cuando el Hilo de Contacto de la vía directa contacte con la zona libre de obstáculos y con el carril de la vía desviada este deberá encontrarse entre los dos ejes de las vías (directa y desviada), de la misma forma con el Hilo de Contacto de la vía desviada, cuando corte la zona libre de obstáculos y el carril de la vía directa deberá encontrarse entre los dos ejes de las vías (directa y desviada)”*.

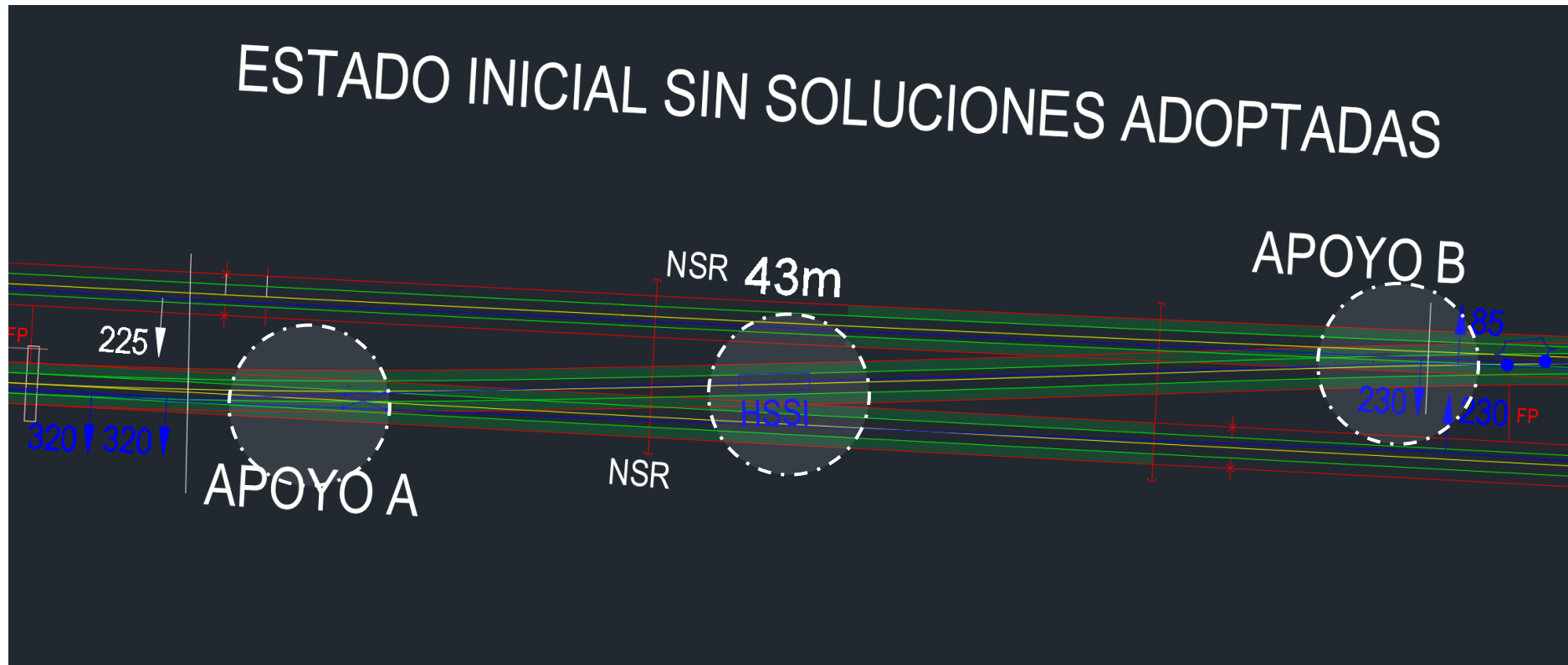


Ilustración 29 Estado inicial de la vía

De aquí en adelante para las imágenes que se mostraran de los planos se mencionará una leyenda de colores:

- **Amarillo**: ejes vía
- **Rojos**: carriles de vía
- **Verde sombreado**: zona libre de obstáculos
- **Azul oscuro**: colocación del hilo de contacto
- **HSSI**: aislador de sección

Como marcamos en la imagen tenemos 3 puntos principales de conflicto, por un lado las agujas de los apoyos A y B, y por otro lado cerciorarnos de que dando una solución fiable el aislador de sección no se encuentra desviado más de 100mm respecto del eje de vía desviada. De hecho ampliando las zonas de agujas observamos los puntos que deben de cumplir con el criterio de que al entrar y salir en la zona libre de obstáculos (sombreadas en verde) el hilo de contacto debe encontrarse entre los dos ejes de vía:

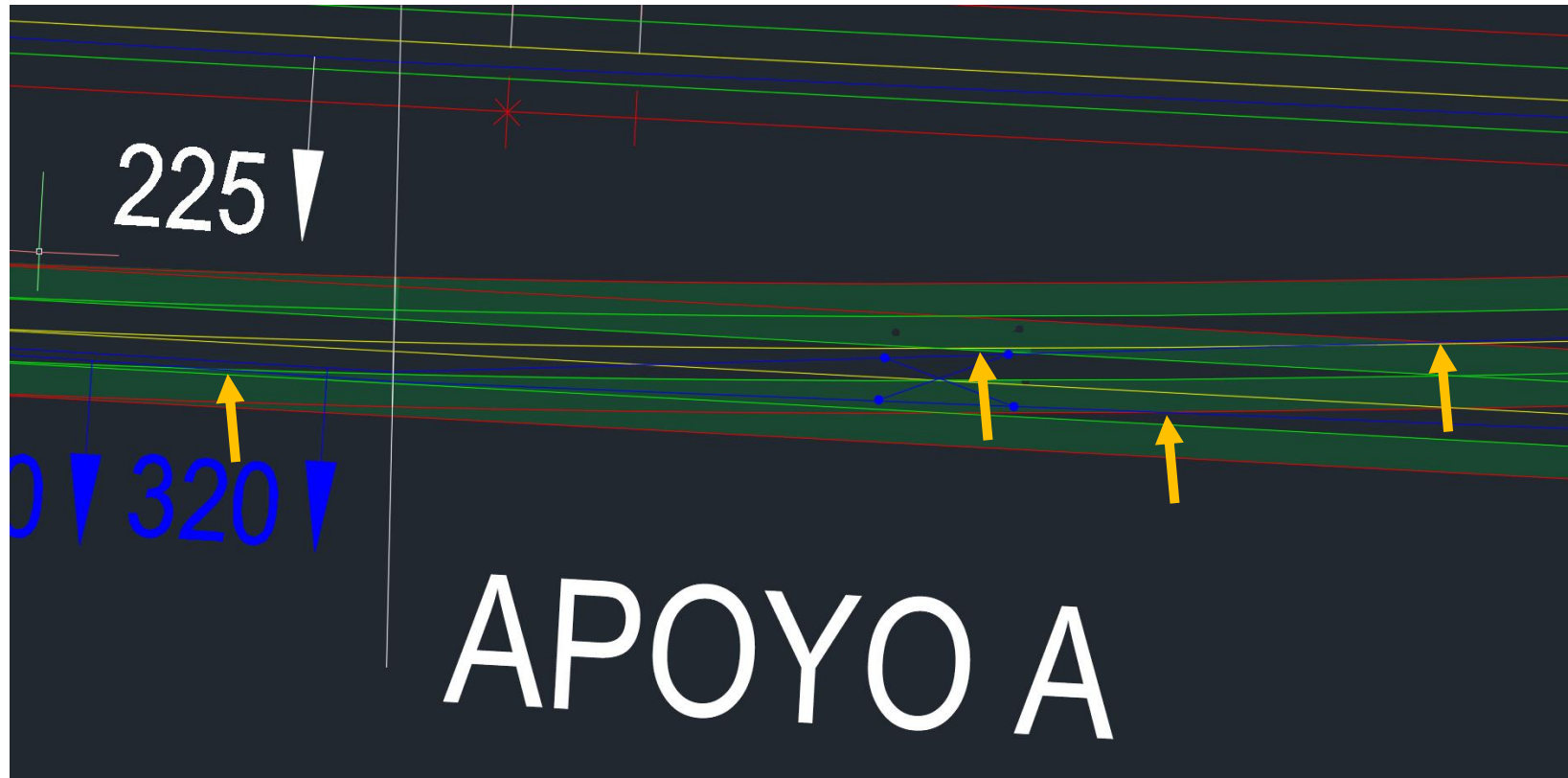


Ilustración 30 Estado inicial Aguja Apoyo A

Con flechas indicamos los puntos de corte de los hilos de contacto con la entrada y salida de las zonas libres de obstáculos para observar que algunos de ellos se encuentran fuera de los límites que establecen los ejes.

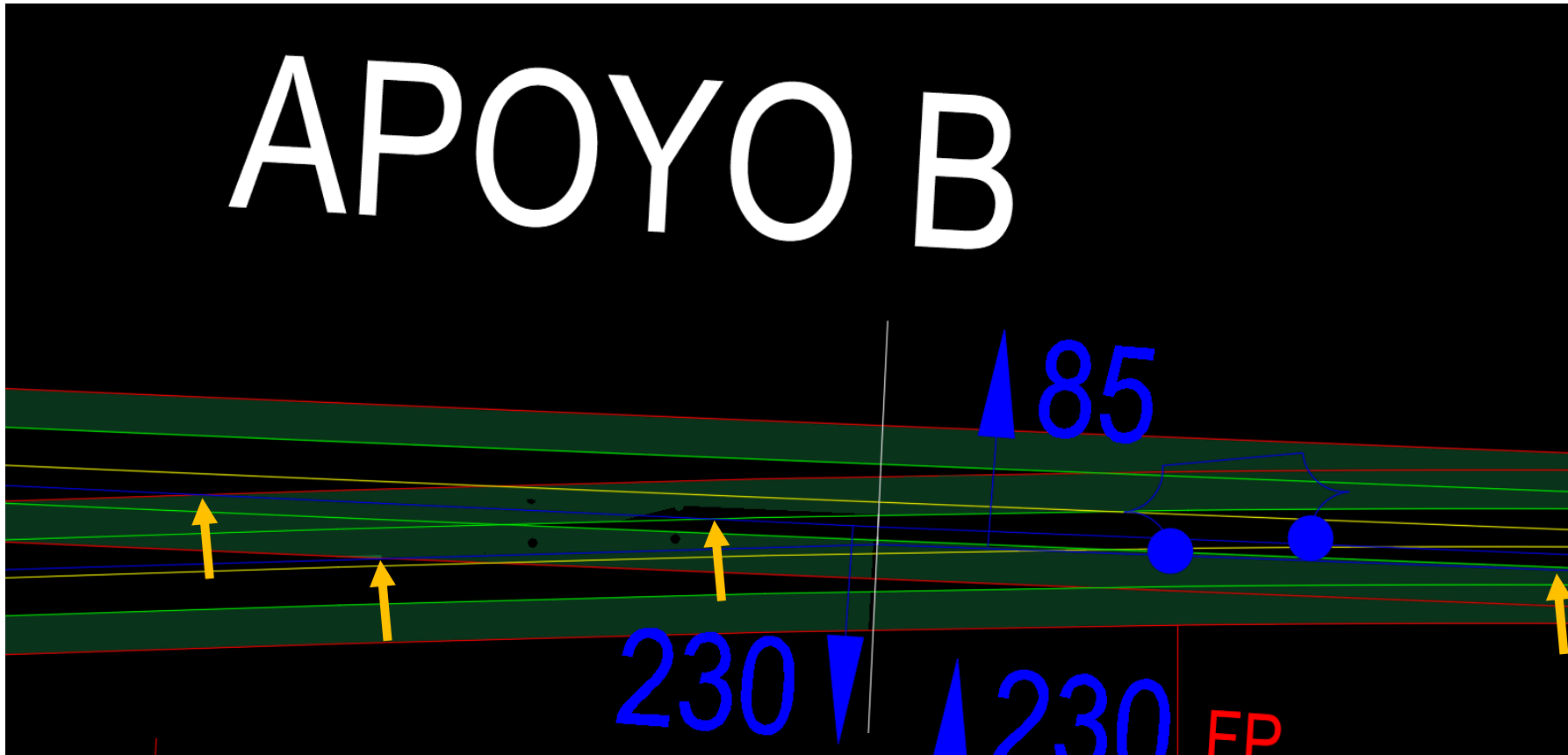


Ilustración 31 Estado inicial de la aguja del Apoyo B

En base a los datos iniciales se han tomado varias soluciones alternativas, ordenadas de más eficiente a menos:

7.1. Solución 1: Aguja cruzada

Viendo el plano ncial del que partimos y modificando los descentramientos se ha intentado llegar a una solución donde se cumplan los criterios de las zonas de agujas sin realizar trabajos innecesarios y siempre buscando la solución más económica cumpliendo con los criterios de fiabilidad y con la norma inglesa. Se ha llegado a la conclusión de que, ya que con una aguja tangencial y simplemente jugando con los descentramientos resultaba imposible optimizar la nueva posición de la aguja en cuestión, recurriendo a la norma NR/L2/ELP/27715 Module 2 “Allocation Design Principles” en el apartado de crossovers:

“Se deberán emplear siempre agujas tangenciales, a menos que se requiera de una aguja cruzada”

8 Crossovers / Turnouts

8.1 General

■ Tangential wiring should be used where practicable. Crossed contact wiring may be used if required.

Viendo que la norma nos permite cambiar una aguja tangencial a cruzada hemos optado por hacerlo, ya que a nivel de material el cambio que va a suponer es reducido, habría que instalar simplemente un elemento encargado de asegurar la distancia entre los hilos en el punto de cruzamiento de la directa con la desviada y a nivel de mano de obra simplemente tendremos unas horas de trabajo en corte.

Es muy importante destacar para esta solución y las siguientes que esta línea es gestionada por una empresa privada, por lo que los costes de los posibles cortes de circulación que se tuviesen que hacer correrían a cuenta de la empresa encargada de realizar las modificaciones a la catenaria (nosotros en este caso), por lo que vamos a buscar la solución que implique el menor tiempo posible de mano de obra con corte, sería el caso de la aguja cruzada como comentamos.

A continuación, mostramos la solución adoptada sustituyendo la aguja tangencial del Apoyo A por una aguja cruzada y habiendo ajustado los descentramientos en valores admisibles según norma 27715 (230mm en recta o 350mm en curva).

SOLUCIÓN 1: AGUJA CRUZADA

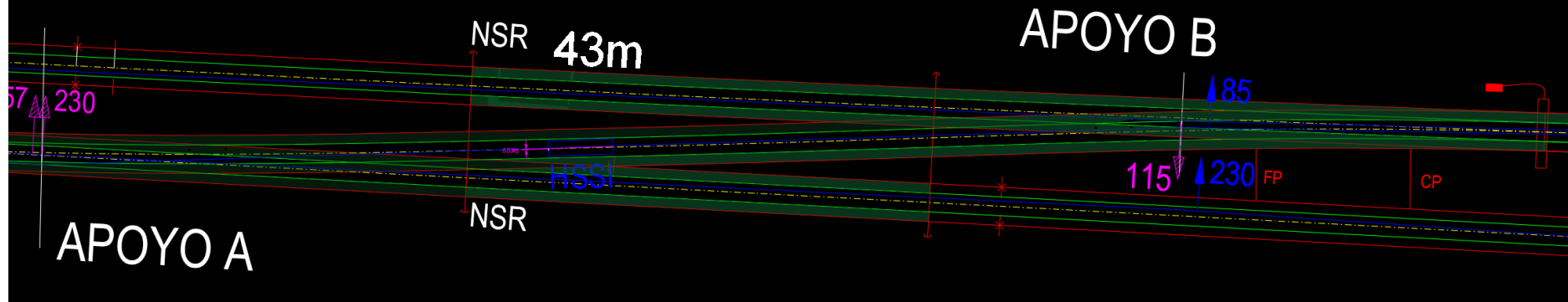


Ilustración 32 Solución 1

Analizando los puntos clave de conflicto:



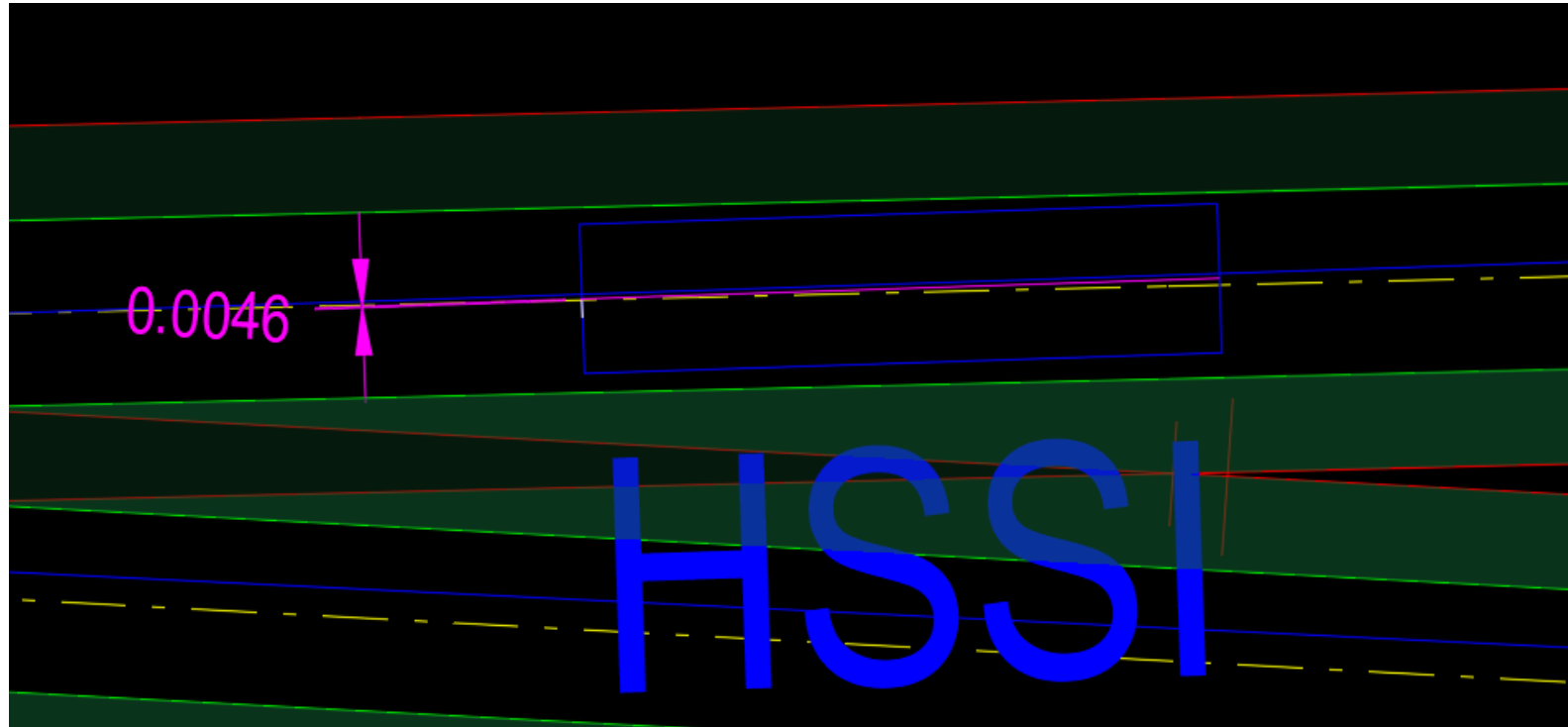


Ilustración 34 Descentramiento del aislador de sección respecto del eje de la desviada



Ilustración 35 Estado final de los Hilos de Contacto en Apoyo B

7.2. Solución 2: Brazo de atirantado auxiliar en estructura NSR

Como segunda solución se plantea incluir en la estructura a modo de pórtico NSR un brazo de atirantado con el objetivo de corregir el descentramiento del hilo de contacto de la vía desviada para que cumple con las condiciones de la aguja, para ello se ha diseñado la disposición de ese brazo haciendo uso de una cross section (la del apoyo en cuestión) para el diseño, respetando que el bazo no entre en contacto en ningún momento con el gálibo eléctrico del pantógrafo.

Se indica el cálculo realizado para la obtención de la relación entre la fuerza vertical, la fuerza radial y el ángulo del brazo de atirantado en el apartado **6. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS.**

Una vez definido el descentramiento (tanto del nuevo brazo de atirantado como de los otros apoyos que influyen) que le queremos dar al Hilo de Contacto para asegurarnos que cumplimos los criterios necesarios para las agujas solo nos queda valorar económicamente los trabajos, esto vendrá indicado en el apartado **8. PRESUPUESTO.**



Ilustración 36 Solución 2

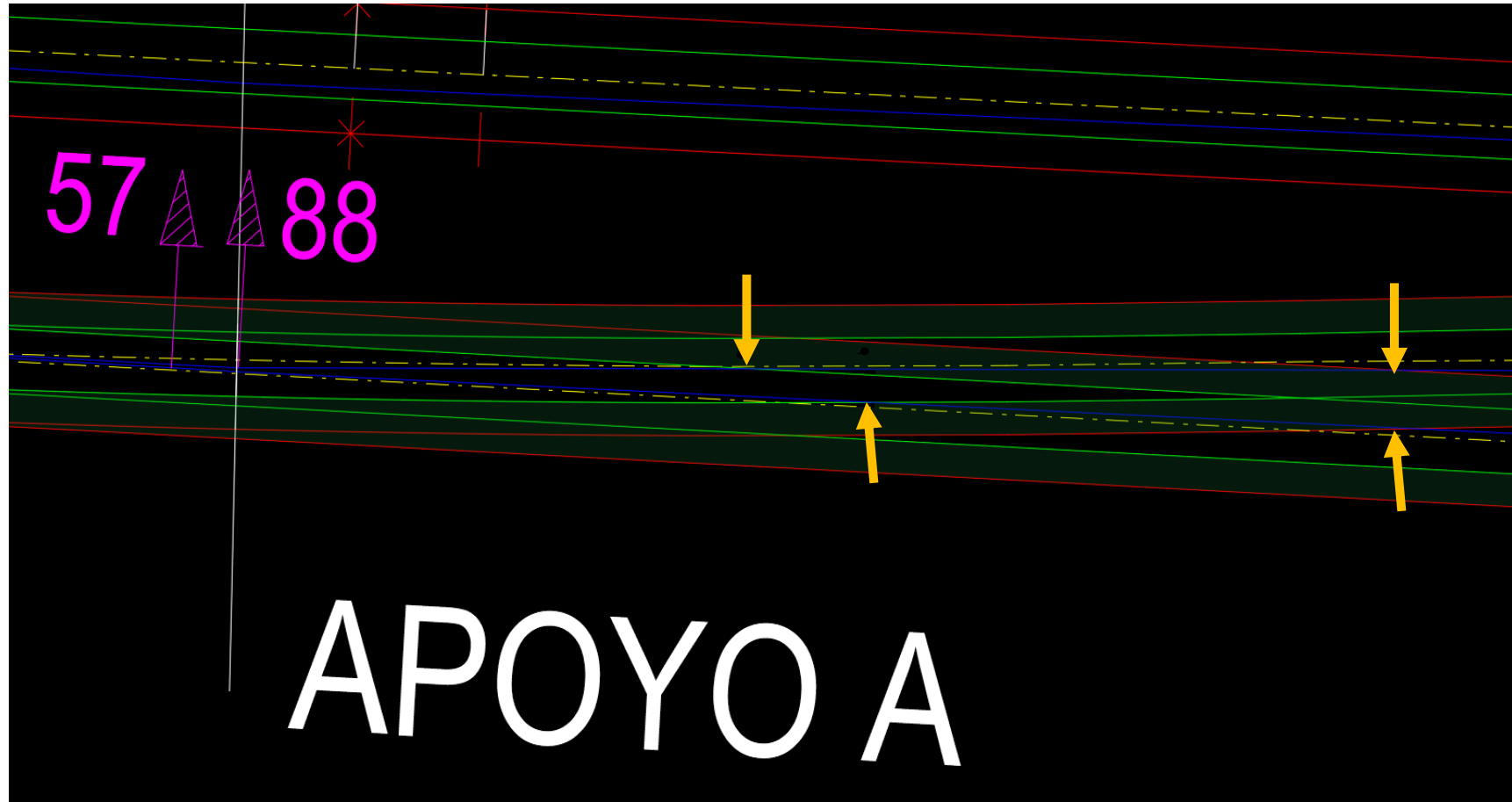


Ilustración 37 Estado final de los Hilos de contacto en el Apoyo A

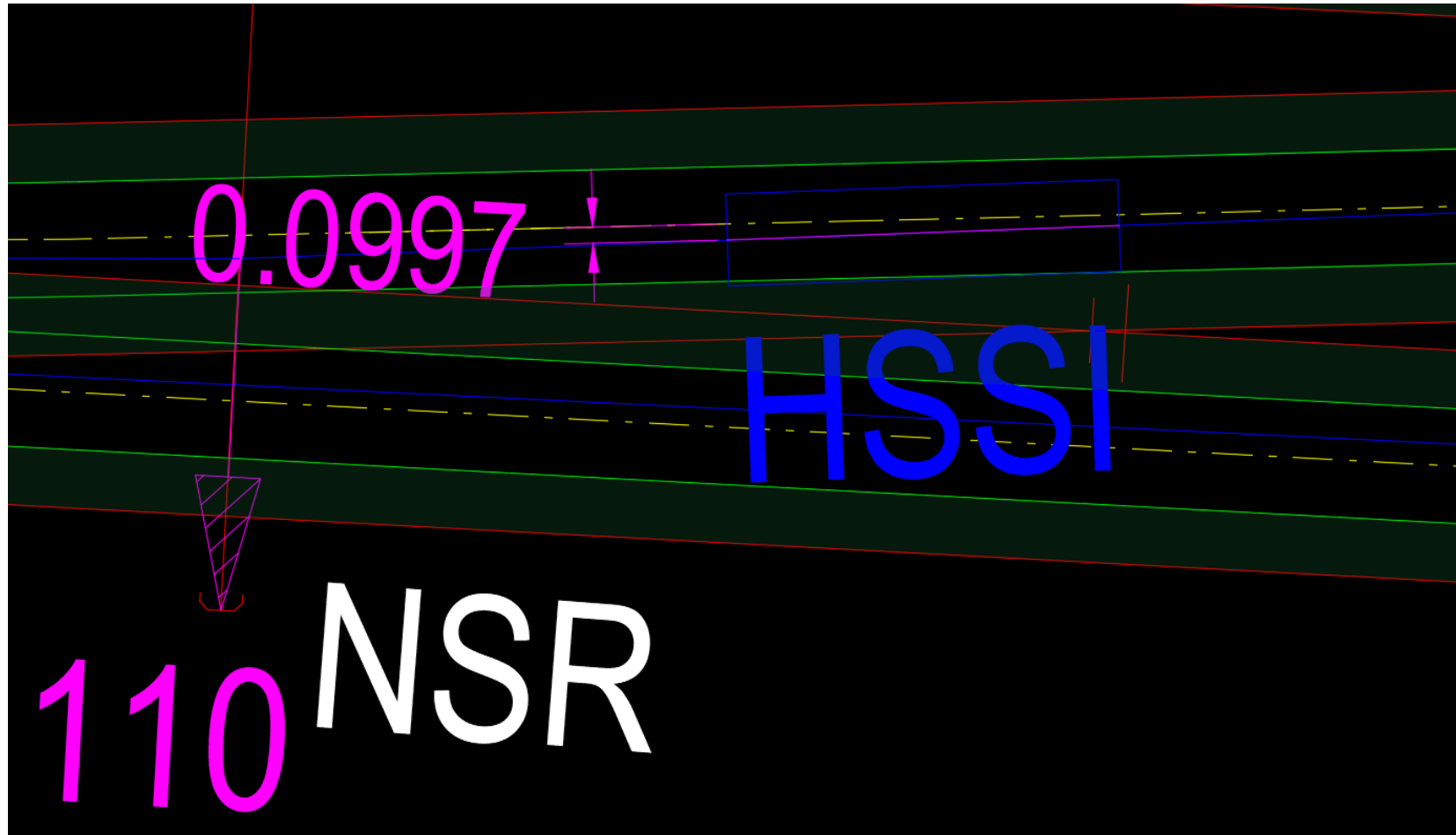


Ilustración 38 Desviación del aislador de sección en la Solución 2

Se aprecia que por un lado en la estructura NSR se ha colocado el brazo de atirantado desviando la trayectoria del Hilo de contacto con un descentramiento de 110mm y por otro lado el cumplimiento de los 100mm de límite de descentramiento del aislador de sección respecto del eje de vía desviada.

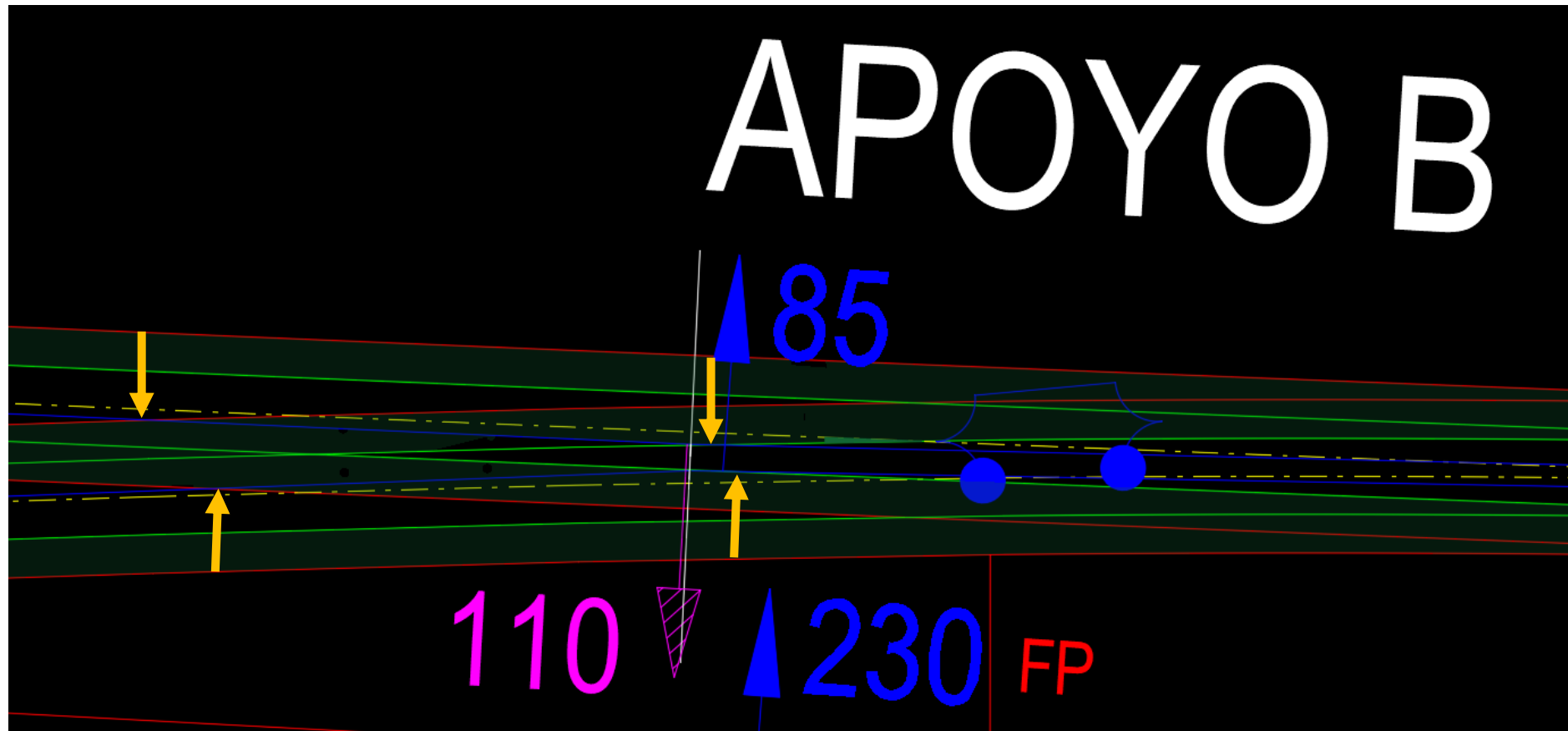


Ilustración 39 Estado final de los Hilos de Contacto en el Apoyo B

En **magenta** se muestra el descentramiento que se ha corregido para el hilo de contacto de la vía directa con el objetivo de cumplir los criterios.

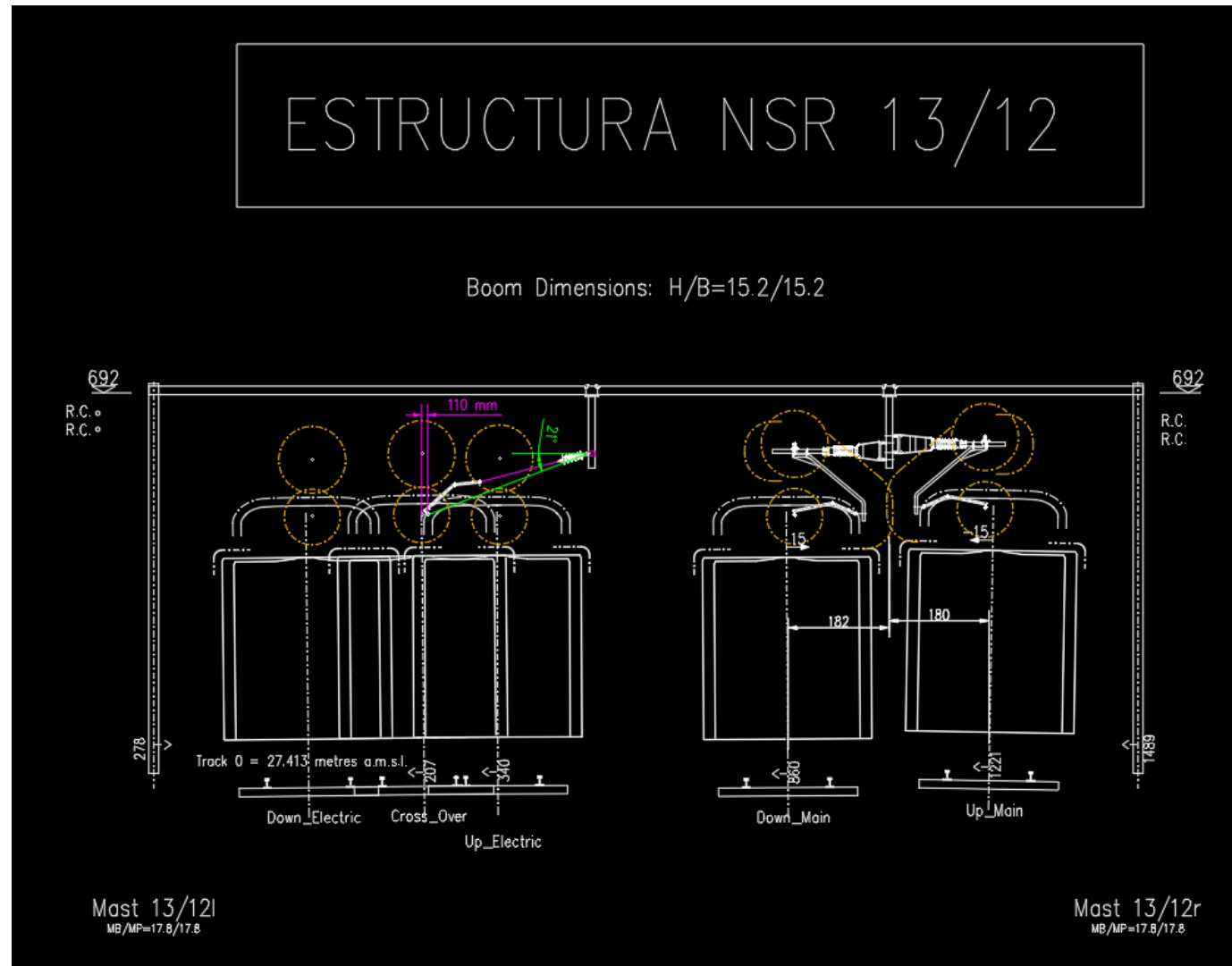


Ilustración 40 Estado final de estructura NSR en Solución 2 con nuevo brazo de atirantado instalado

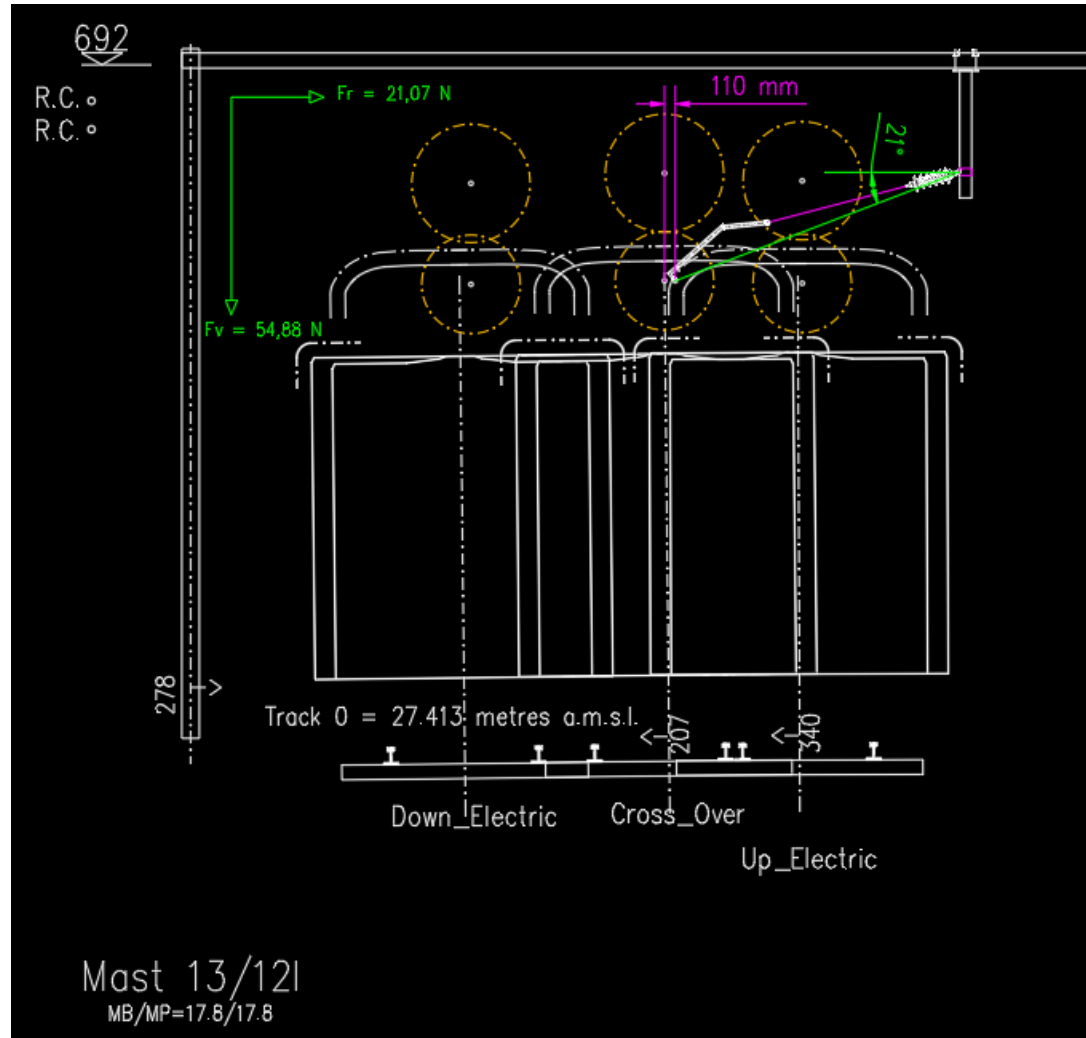


Ilustración 41 Soluciones al cálculo de los esfuerzos radiales y verticales en el brazo de atirantado

7.3. Solución 3: Movilización de apoyo

En última instancia y en el supuesto de que por algún motivo las otras dos soluciones aportadas, las cuales son las más viables técnica y económicamente, se pasaría a una solución obvia pero costosa, que sería mover directamente el Apoyo A de la aguja unos metros para poder cumplir así con los criterios de posición de los Hilos de Contacto de vía directa y desviada. Esta solución es la más cara y la que tiene menos sentido ya que implicaría muchas más horas de trabajo que las anteriores, no obstante, indicaremos la valoración económica en el apartado **8. PRESUPUESTO** junto con las otras 2 soluciones.

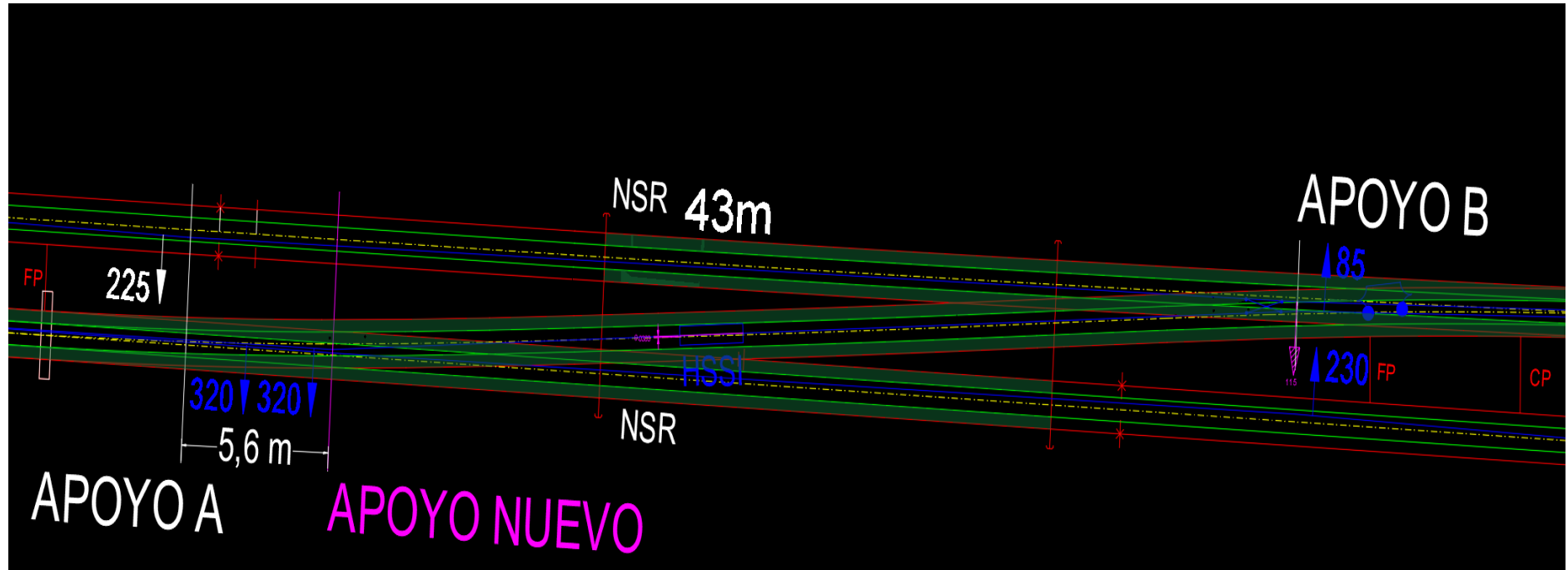


Ilustración 42 Solución 3

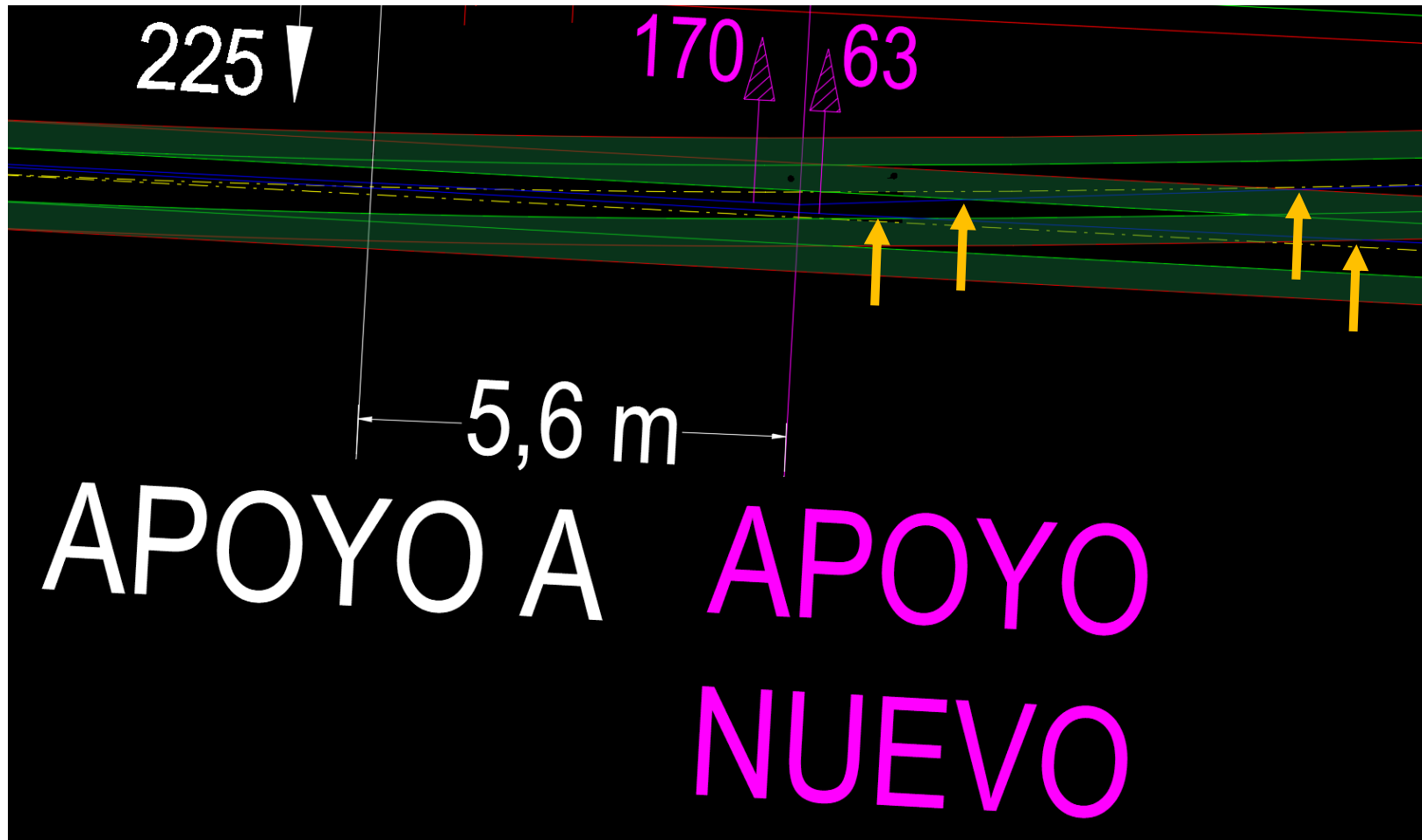


Ilustración 43 Estado de los Hilos de Contacto en la Solución 3

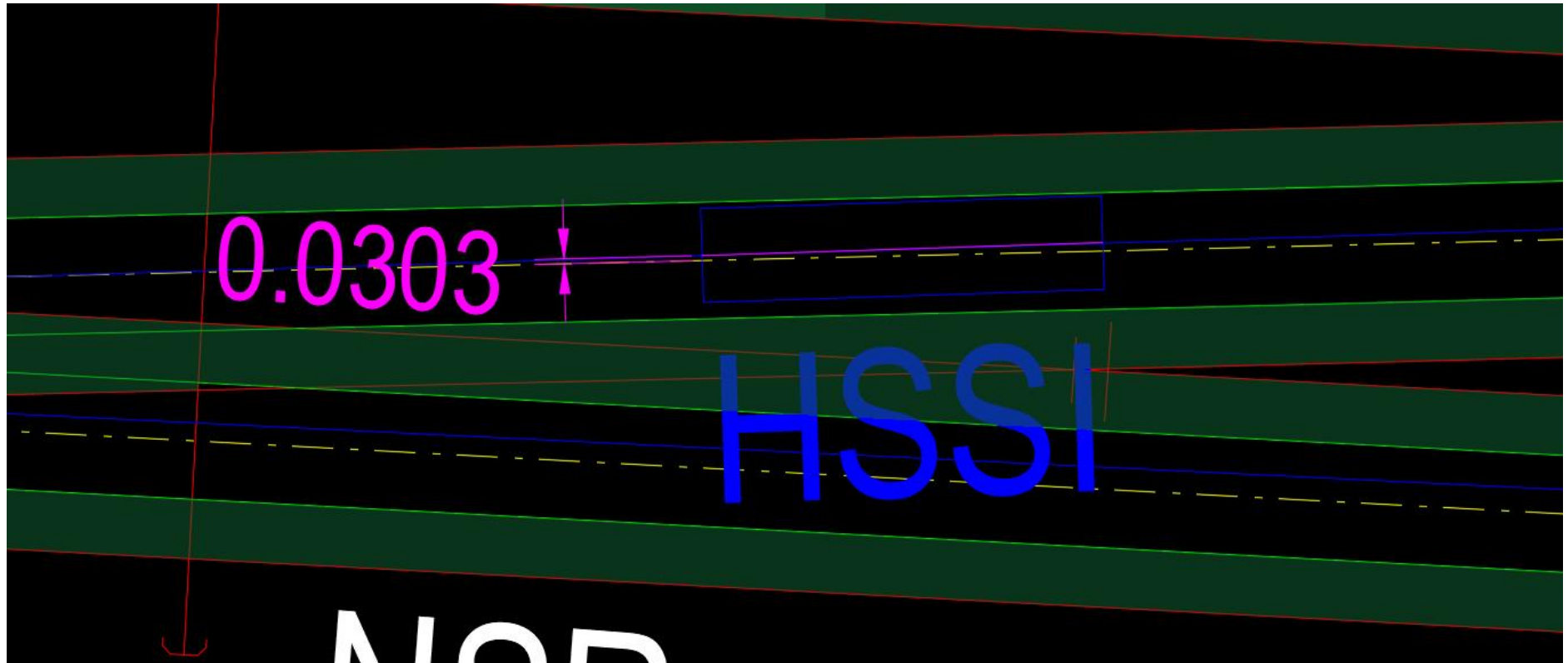


Ilustración 44 Estado del aislador de sección en la Solución 3

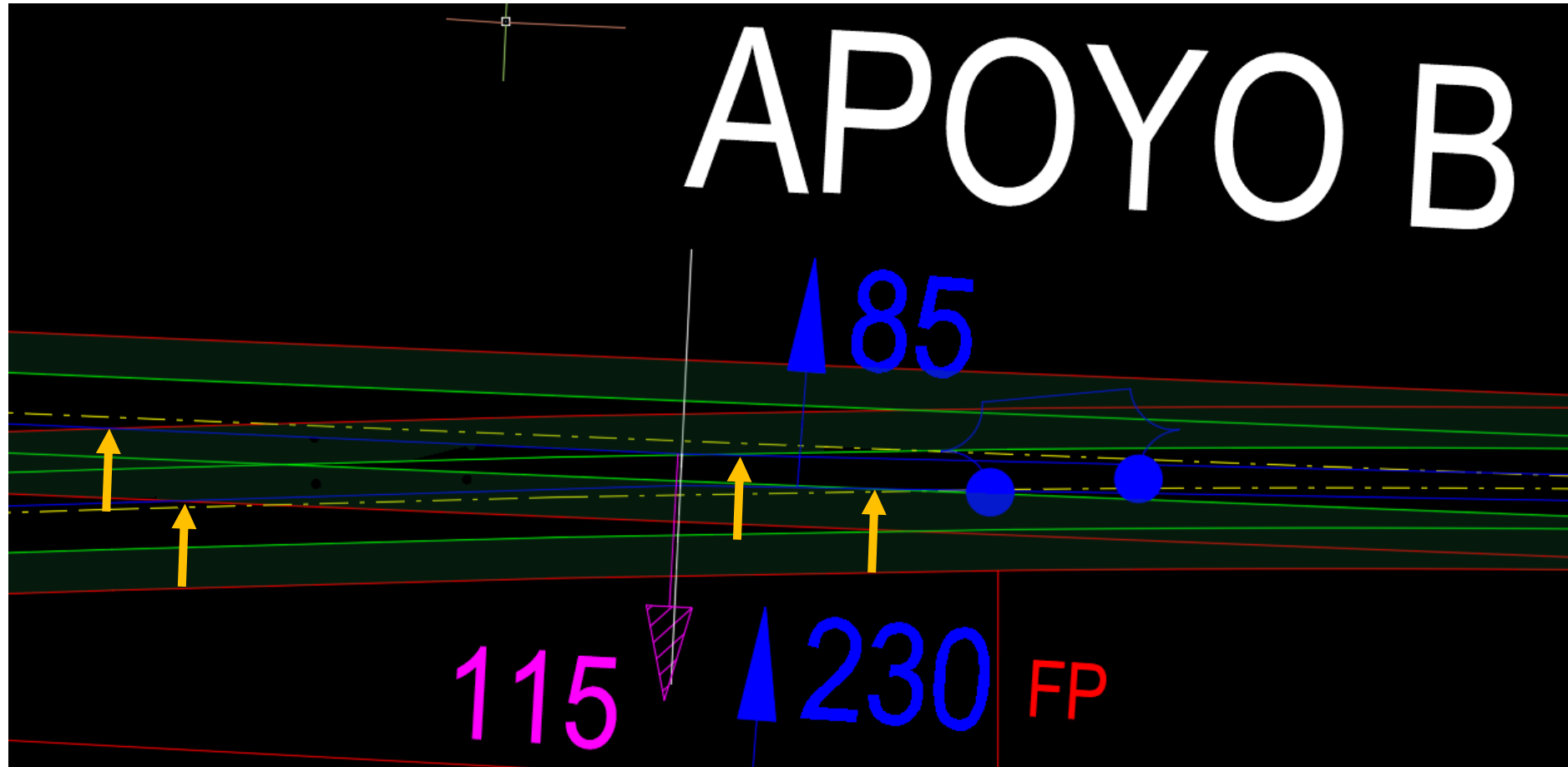


Ilustración 45 Estado de los Hilos de contacto en la Solución 3

8. PRESUPUESTO

De cara a la elección de la mejor solución para afrontar la adecuación de la zona de agujas referente a este proyecto se ha valorado el coste económico de las distintas suposiciones, a continuación, se desglosa cada una de las consideraciones que se han tenido en cuenta para la valoración económica.

Se van a considerar 2 tipos de brigadas compuestas por 3 o 4 trabajadores en función de la actividad que vayamos a efectuar con el siguiente desglose:

BC3						
Brigada de trabajo para Línea Aerea de Contacto con Camión de vía y 3 operarios						
COD	CANTIDAD	Ud.	DESCRIPCIÓN	PRECIO	TOTAL	
MOFC	9	h	CONDUCTOR	23,42	210,78 €	
MOF1	9	h	OFICIAL 1ª	26,67 €	240,03 €	
MOF2	9	h	OFICIAL 2º	23,04 €	207,36 €	
FURG	8	h	FURGONETA PEQUEÑA	1,70 €	13,60 €	
COMB	40	l	GASOIL	1,35 €	54,00 €	
CVIA	8	h	CAMIÓN DE VÍA	9,94 €	79,52 €	
PLAT	0	h	PLATAFORMA VÍA PORTABOBINAS	2,27 €	0,00 €	
Horas Mano de Obra		27,00 h	Clase Mano de Obra		658,17 €	
Horas Maquinaria		16,00 h	Clase Maquinaria		147,12 €	
TOTAL		43,00 h	TOTAL		805,29 €	
BC4						
Brigada de trabajo para Línea Aerea de Contacto con Camión de vía y 4 operarios						
COD	CANTIDAD	Ud.	DESCRIPCIÓN	PRECIO	TOTAL	
MOFC	9	h	CONDUCTOR	23,42	210,78 €	
MOF1	18	h	OFICIAL 1ª	26,67 €	480,06 €	
MOF2	9	h	OFICIAL 2º	23,04 €	207,36 €	
FURG	8	h	FURGONETA PEQUEÑA	1,70 €	13,60 €	
COMB	40	l	GASOIL	1,35 €	54,00 €	
CVIA	8	h	CAMIÓN DE VÍA	9,94 €	79,52 €	
PLAT	0	h	PLATAFORMA VÍA PORTABOBINAS	2,27 €	0,00 €	
Horas Mano de Obra		36,00 h	Clase Mano de Obra		898,20 €	
Horas Maquinaria		16,00 h	Clase Maquinaria		147,12 €	
TOTAL		52,00 h	TOTAL		1.045,32 €	

Se indica una estimación de las horas que realiza cada operario, así como el coste hora al que saldría tanto los operarios como los vehículos que emplearíamos. La brigada BC4 se emplearía en el supuesto de que tuviésemos que cambiar el apoyo (Solución 3), y la BC3 se empleará para las otras dos soluciones (Solución 1 y Solución 2).

8.1. Valoración a solución 1: aguja cruzada

Se ha decidido valorar por un lado el coste material y por otro lo que sería el coste de mano de obra, todo ello se recoge en una unidad que mostramos a continuación como desglose:

SOLUCIÓN 1: CAMBIO DE AGUJA TANGENCIAL A AGUJA CRUZADA					COSTE TOTAL = 578,70 €	
MATERIALES	CANTIDAD	UNIDADES	COSTE MATERIAL	TIPO DE BRIGADA	COSTE DE BRIGADA	RENDIMIENTO (DÍAS)
MATERIAL AGUJA CRUZADA	1	UD	15,00 €	BC3	805,29 €	0,7
COSTE TOTAL MAT =			15,00 €	COSTE TOTAL MO =		563,70 €

Se ha considerado una brigada de 3 personas BC3 y un tiempo estimado de 0,7 días teniendo en cuenta que la instalación se realizaría en horario de cortes donde disponemos de menos tiempo para actuar.

8.2. Valoración a solución 2: brazo de atirantado en estructura NSR

Se ha decidido valorar por un lado el coste material y por otro lo que sería el coste de mano de obra, todo ello se recoge en una unidad que mostramos a continuación como desglose:

SOLUCIÓN 2: INSTALACIÓN DE BRAZO DE ATIRANTADO EN ESTRUCTURA NSR					COSTE TOTAL = 1.174,08 €	
MATERIALES	CANTIDAD	UNIDADES	COSTE MATERIAL	TIPO DE BRIGADA	COSTE DE BRIGADA	RENDIMIENTO (DÍAS)
TUBO DE BRAZO DE ATIRANTADO	1	UD	13,50 €	BC3	805,29 €	1,3
BRAZO DE ATIRANTADO	1	UD	8,70 €			
AISLADOR POLIMÉRICO	1	UD	25,00 €			
SILLETA Y SUJECCIONES	1	UD	80,00 €			
			COSTE TOTAL MAT = 127,20 €			COSTE TOTAL MO = 1.046,88 €

Se ha considerado una brigada de 3 personas BC3 y un tiempo estimado de 1,3 días teniendo en cuenta que la instalación se realizaría en horario de cortes donde disponemos de menos tiempo para actuar.

8.3. Valoración a solución 3: Relocalización de poste

Se ha decidido valorar por un lado el coste material y por otro lo que sería el coste de mano de obra, todo ello se recoge en una unidad que mostramos a continuación como desglose:

SOLUCIÓN 3: RELOCALIZACIÓN DE POSTE					COSTE TOTAL = 4.173,30 €	
MATERIALES	CANTIDAD	UNIDADES	COSTE MATERIAL	TIPO DE BRIGADA	COSTE DE BRIGADA	RENDIMIENTO (DÍAS)
DESMONTAJE DE POSTE	1	UD	- €	BC4	1.045,32 €	2,5
CIMENTACIÓN	1	UD	800,00 €			
MONTAJE DE POSTE	1	UD	750,00 €			
PEQUEÑO MATERIAL	1	Conj	10,00 €			
			COSTE TOTAL MAT = 1.560,00 €			COSTE TOTAL MO = 2.613,30 €

Se ha considerado una brigada de 4 personas BC4 y un tiempo estimado de 1,5 días teniendo en cuenta que la instalación se realizaría en horario de cortes donde disponemos de menos tiempo para actuar.

9. CONCLUSIONES

Como puede observarse según los estudios técnicos y económicos la solución más rentable es la opción de convertir la aguja tangencial en aguja cruzada, ya que implica el menor número de cambios en cuanto a elementos que componen esa sección de la catenaria y el menor tiempo de ejecución de la actuación.

Una buena opción es la de la instalación del brazo de atirantado en la estructura NSR pero con bien indicamos, estaríamos entrando en una estructura definida inicialmente como restrictiva a la hora de instalar elementos en ella y el coste de la actuación sería superior al de la aguja cruzada.

Por último, se menciona la opción de movilizar un apoyo para corregir la localización de los hilos de contacto pero teniendo en cuenta que sería la última opción, por costes y logística.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Diseño básico y detalle para una renovación de catenaria en la GEML del Reino Unido”. Fernando Pascual Gómez
- [2] “Tecnología de Catenaria”. Jesús Montesinos Ortuño
- [3] “Líneas de contacto para ferrocarriles electrificados”. Kiessling / Puschmann / Schmieder / Vega (SIEMENS)
- [4] Norma UNE-EN 50119. “Aplicaciones ferroviarias. Instalaciones fijas. Líneas de contacto para tracción eléctrica”
- [5] Norma NR/L2/ELP/27715 Module 2: “Allocation Design Principles”
- [6] “Overhead Line Electrification for Railways”. Garry Keenor

11. ANEXO I

Se adjunta junto con la memoria una hoja de cálculo Excel “DESPLAZAMIENTO HC POR VIENTO”.

12. ANEXO II

Se adjuntan planos de las 3 soluciones aportadas “PLANOS TFM” y de la cross section del brazo de atirantado instalado en la Solución 2 “CROSS SECTION TFM”.