UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE ALBACETE

MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MASTER

ANÁLISIS COMPARATIVO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES TIPO ADIF PARA SUSPENSIÓN DE CATENARIAS

Nº de TFM:	*MASTER/0219*
Autor/a:	*Mario Martínez Balibrea*
Tutor/a 1:	*José Joaquin Ortega Parreño*
Tutor/a 2:	*Tomás Navarro Gómez*

Junio, 2026

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis tutores, tanto José Joaquín como a Tomás por la ayuda brindada durante el desarrollo de este trabajo.

También agradecer a mi familia por estar ahí durante esta etapa de estudios y aguantarme en los momentos más duros del master, por apoyarme cuando más lo he necesitado y ser un pilar fundamental en mi día a día.

Por último, no puedo olvidarme de todos los amigos, Los Rials, el Dream Team, los Perhugos y tantos otros que me han hecho ser quien soy. Todos habéis sido un apoyo fundamental, tanto académicamente como en ámbito persona, con los que he compartido tantas horas de estudio, de charlas y momentos que han sido imprescindibles para llegar a donde estoy

ÍNDICE GENERAL

1. DEFINICIÓN 3

1.1 ANTECEDENTES 3

1.2 OBJETO 5

1.3 LÍNEA AÉREA DE CONTACTO 5

1.3.1 Hilo de contacto 5

1.3.2 Sustentador 6

1.3.3 Péndolas 7

1.3.4 Feeder 8

1.3.5 Cable de tierra 8

1.3.6 Ménsulas 9

1.3.7 Postes 11

1.3.8 Cimentaciones 11

1.4 CASOS DE ESTUDIO 12

1.4.1 Vía general 13

1.4.2 Seccionamiento de cantón 14

1.4.3 Punto fijo 16

1.4.4 Aguja aérea 17

2. MÉTODO 20

2.1 HIPÓTESIS DE CÁLCULO 20

2.1.1 Acciones a considerar 20

2.1.2 Cargas debidas al viento 20

2.1.2.1 Cargas sobre los conductores 20

2.1.2.2 Cargas sobre los postes 24

2.1.3 Cargas debidas al hielo 25
2.1.4 Cargas permanentes 26
2.1.4.1 Peso propio 26
2.1.4.2 Esfuerzos radiales 27
2.1.4.3 Esfuerzo radial a causa del punto fijo 28
2.2 SOFTWARE DE CÁLCULO 29
2.2.1 Configuración de obra 29
2.2.2 Modelado de casos 30
2.2.2.1 Condiciones de inestabilidad 36
3. RESULTADOS 38
3.1.1 Resistencia de cálculo del acero 41
3.1.2 Resistencia a pandeo 42
3.1.3 Pandeo Lateral y flexión 51
3.1.4 Tense de los conductores 55
3.1.5 Metodología de cálculo 56
4. CONCLUSIONES 57
5. BIBLIOGRAFÍA 59
ANEXO A 61
A.1 Postes tipo PG1 61
A.2 Postes tipo PG2 63
A.3 Postes tipo Z 64
A.4 Postes tipo ZA 65
A.5 Postes ZBIS 67
A.6 Postes XB 69
A.7 Postes tipo XAV 71

A.8 Postes tipo XLAV 72
ANEXO B 74
B.1 Cargas puntuales sobre los postes incluidos en la NAE 300 74
B.2 Cargas lineales sobre los postes incluidos en la NAE 300 75
B.3 Cargas puntuales sobre los postes incluidos en la NAE 302 77
B.4 Cargas lineales sobre los postes incluidos en la NAE 302 78
ANEXO C 79
ANEXO D 88
ANEXO E 98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Secciones de un hilo de contacto 6
Figura 2 Conjunto de péndola 7
Figura 3 Ménsula utilizada por el Adif 9
Figura 4 Conjunto de ménsula en celosía 10
Figura 5 Conjunto de ménsula tubular 11
Figura 6 Macizos en función de la inclinación del terreno 12
Figura 7 Configuración de vía general en recta 13
Figura 8 Seccionamiento de cantón NAE 300 15
Figura 9 Seccionamiento de cantón NAE 302 16
Figura 10 Esquema de punto fijo sobre un cantón 16
Figura 11 Configuración de un punto fijo 17
Figura 12 Esquema de una aguja aérea tangencial 18
Figura 13 Aguja tangencial NAE 300 19
Figura 14 Aguja tangencial NAE 302 19
Figura 15 Definición de los coeficientes de resistencia aerodinámica para postes de vigas dobles 25
Figura 16 Componentes de α 28
Figura 17 Dirección y sentido de las cargas de viento 30
Figura 18 Tipología de perfiles compatibles con la herramienta de perfiles compuestos de CYPE 3D 31
Figura 19 Tipología de postes incompatibles con la herramienta de perfiles compuestos de CYPE 3D 32
Figura 20 Modelo de un poste compuesto en CYPE 3D y representación de las cargas aplicadas sobre la estructura 33
Figura 21 Ejemplo de dirección y sentido de la carga radial 34
Figura 22 Parámetros geométricos de las ménsulas 35
Figura 23 Direcciones principales de pandeo 36
Figura 24 Postes modelados en CYPE 3D 37
Figura 25 Resultados del estudio de los postes ferroviarios PG1 38

Figura 26 Resultados del estudio de los postes ferroviarios tipo Z 40
Figura 27 Comparación del pandeo entre la MV-103 y el Código Estructural 43
Figura 28 Gráfica comparativa de los comportamientos frente a flexión.....53
Figura 29 Gráfica comparativa de aprovechamientos en postes ZBIS 54
Figura 30 Esquema de tenses de los conductores de la catenaria 55
Figura 31 Máximo aprovechamiento de los postes tipo PG1 79
Figura 32 Máximo aprovechamiento de los postes tipo PG2 80
Figura 33 Máximo aprovechamiento de los postes tipo Z.....81
Figura 34 Máximo aprovechamiento de los postes tipo ZA 82
Figura 35 Máximo aprovechamiento de los postes tipo ZBIS.....83
Figura 36 Máximo aprovechamiento de los postes tipo XB.....84
Figura 37 Máximo aprovechamiento de los postes tipo XR.....85
Figura 38 Máximo aprovechamiento de los postes tipo XAV.....86
Figura 39 Máximo aprovechamiento de los postes tipo XLAV 87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros de la catenaria 13
Tabla 2 Categorías y parámetros del terreno 24
Tabla 3 Sobrecarga de hielo 26
Tabla 4 Factores parciales para las acciones a considerar 29
Tabla 5 Valores característicos de las ménsulas y los conductores 35
Tabla 6 Factor de eficiencia 45
Tabla 7 Parámetros geométricos UPN-220 46
Tabla 8 Propiedades geométricas de las diagonales 49
Tabla 9 Comparación de los tenses en distintas normativas 56
Tabla 10 Máximo aprovechamiento a compresión en los postes tipo PG1 61
Tabla 11 Máximo aprovechamiento a flexión MY sobre los postes tipo PG1 61
Tabla 12 Máximo aprovechamiento a flexión MZ en los postes tipo PG1 62
Tabla 13 Máximo aprovechamiento a combinación de esfuerzos en los postes tipo PG1 . 62
Tabla 14 Máximo aprovechamiento a compresión en los postes tipo PG2 63
Tabla 15 Máximo aprovechamiento a flexión MY en los postes tipo PG2 63
Tabla 16 Máximo aprovechamiento a flexión MZ en los postes tipo PG2 63
Tabla 17 Máximo aprovechamiento a combinación de esfuerzos en los postes tipo PG2 . 64
Tabla 18 Máximo aprovechamiento a compresión en los postes tipo Z 64
Tabla 19 Máximo aprovechamiento a flexión MY en los postes tipo Z 64
Tabla 20 Máximo aprovechamiento a flexión MZ en los postes tipo Z 65
Tabla 21 Máximo aprovechamiento a combinación de esfuerzos en los postes tipo Z 65
Tabla 22 Máximo aprovechamiento a compresión en los postes tipo ZA 65
Tabla 23 Máximo aprovechamiento a flexión MY en los postes tipo ZA 66
Tabla 24 Máximo aprovechamiento a flexión MZ en los postes tipo ZA 66
Tabla 25 Máximo aprovechamiento a combinación de esfuerzos en los postes tipo ZA ... 66
Tabla 26 Máximo aprovechamiento a compresión en los postes tipo ZBIS 67
Tabla 27 Máximo aprovechamiento a flexión MY en los postes tipo ZBIS 67
Tabla 28 Máximo aprovechamiento a flexión MZ en los postes tipo ZBIS 67
Tabla 29 Máximo aprovechamiento a combinación de esfuerzos en los postes tipo ZBIS 67

Tabla 30 Máximo aprovechamiento a compresión en la hipótesis más favorable.....68
Tabla 31 Máximo aprovechamiento a flexión MY en la hipótesis más favorable.....68
Tabla 32 Máximo aprovechamiento a combinación de esfuerzos en la hipótesis más favorable.....68
Tabla 33 Máximo aprovechamiento a compresión en los postes tipo XB.....69
Tabla 34 Máximo aprovechamiento a flexión MY en los postes tipo XB.....69
Tabla 35 Máximo aprovechamiento a flexión MZ en los postes tipo XB 69
Tabla 36 Máximo aprovechamiento a combinación de esfuerzos en los postes tipo XB....69
Tabla 37 Máximo aprovechamiento a compresión en los postes tipo XR.....70
Tabla 38 Máximo aprovechamiento a flexión MY en los postes tipo XR.....70
Tabla 39 Máximo aprovechamiento a flexión MZ en los postes tipo XR 70
Tabla 40 Máximo aprovechamiento a combinación de esfuerzos en los postes tipo XR...71
Tabla 41 Máximo aprovechamiento a compresión en los postes tipo XAV.....71
Tabla 42 Máximo aprovechamiento a flexión MY en los postes tipo XAV.....71
Tabla 43 Máximo aprovechamiento a flexión MZ en los postes tipo XAV 72
Tabla 44 Máximo aprovechamiento a combinación de esfuerzos en los postes tipo XAV 72
Tabla 45 Máximo aprovechamiento a compresión en los postes tipo XLAV 72
Tabla 46 Máximo aprovechamiento a flexión MY en los postes tipo XLAV 73
Tabla 47 Máximo aprovechamiento a flexión MZ en los postes tipo XLAV.....73
Tabla 48 Máximo aprovechamiento a combinación de esfuerzos en los postes tipo XLAV 73
Tabla 49 Cargas puntuales sobre los postes incluidos en la NAE 300 en recta.....74
Tabla 50 Cargas puntuales sobre los postes incluidos en la NAE 300 en seccionamiento.74
Tabla 51 Cargas puntuales sobre los postes incluidos en la NAE 300 en recta.....75
Tabla 52 Cargas lineales sobre los postes incluidos en la NAE 300 75
Tabla 53 Cargas puntuales sobre los postes incluidos en la NAE 302 en recta.....77
Tabla 54 Cargas puntuales sobre los postes incluidos en la NAE 302 en seccionamiento.77
Tabla 55 Cargas puntuales sobre los postes incluidos en la NAE 302 en recta.....78
Tabla 56 Cargas lineales sobre los postes incluidos en la NAE 302 78

ÍNDICE DE FÓRMULAS

(1) Dilatación térmica de la catenaraia 14
(2) Carga de viento sobre los conductores 21
(3) Presión dinámica pico 21
(4) Intensidad de la turbulencia 22
(5) Componente turbulenta 22
(6) Factor del terreno 22
(7) Velocidad básica del viento 23
(8) Valor medio del viento 23
(9) Factor de rugosidad 23
(10) Carga de viento sobre los postes 24
(11) Carga de hielo sobre los conductores 26
(12) Peso propio de los conductores 26
(13) Componente horizontal del esfuerzo radial 27
(14) Esfuerzo radial causado por el punto fijo 28
(15) Resistencia de cálculo del acero 41
(16) Comprobación a pandeo 42
(17) Esbeltez ideal 43
(18) Inercia eficaz 44
(19) Radio de giro eficaz 44
(20) Esbeltez geométrica 45
(21) Teorema de Steiner 45
(22) Esbeltez complemntearia (perfil empresillado) 47
(23) Esbeltez complmentaria (montantes y diagonales) 48

Resumen

Este proyecto realizará el estudio de distintos elementos estructurales presentes en la normativa redactada por Adif. Para alcanzar dichos resultados, en primer lugar, se recopilarán los casos de proyectos existentes con el fin de obtener una base sólida de partida. A continuación, se explicarán los casos seleccionados y su tipología, para posteriormente, modelar los elementos en las distintas condiciones mediante software de cálculo con el objetivo de realizar un compendio de los informes extraídos de las simulaciones para desarrollar finalmente un proceso de estudio y comparación de resultados.

En función de los resultados obtenidos se analizarán las normativas vigentes y contemporáneas a los postes para contextualizar los resultados obtenidos buscando comprobar si las estructuras se encuentran ajustadas a la normativa actual.

1. DEFINICIÓN

1.1 ANTECEDENTES

En España, Adif (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias) es la entidad pública encargada de la construcción y explotación de las líneas de ferrocarril desde el año 2005. Por tanto, es el actor encargado de desarrollar la normativa que regula dichas infraestructuras. Las diferentes estructuras ferroviarias tales como postes, pórticos o semipórticos de catenaria, pese a los cambios sufridos en la normativa nacional a lo largo de estos años en lo que se refiere tanto en la metodología de cálculo de cargas como del cálculo propiamente estructural, no han sufrido la lógica actualización. Es por ello que existen situaciones en las que un poste aun trabajando acorde con la función con la que fue diseñado originalmente, no cumpla con las exigencias y condiciones de cálculo en la actualidad, pudiéndose optimizar el mismo para un mejor aprovechamiento.

A partir de esta problemática surge la motivación para realizar, en colaboración con la empresa Electrificación y estudios ferroviarios S.L. (e2f), un análisis comparativo de las principales tipologías de postes empleados en la red ferroviaria que facilite el desarrollo de proyectos de diseño.

El comercio y el transporte de pasajeros han sido piedras angulares del desarrollo tecnológico y humano. Durante gran parte de nuestra historia, estos sectores, han dependido de métodos de transporte que pueden clasificarse en 2 grupos en función de la fuente de energía utilizada para permitir dicha movilidad. El primer bloque, serían aquellos impulsados mediante tracción animal o humana, en segundo lugar, se encontrarían aquellos métodos de transporte que dependen de elementos naturales como son el viento, corrientes fluviales o la gravedad. Pese a ser funcionales, estos métodos estaban limitados tanto por su coste como por los tiempos cuando se trataba de salvar grandes distancias o condiciones adversas.

Sin embargo, con el desarrollo de la sociedad se generó una acumulación de conocimientos y tecnologías, especialmente entre el siglo XVI y XVIII, que crearon condiciones favorables para la Revolución industrial. Este fenómeno disparó considerablemente la productividad dando lugar a un volumen de excedentes que hizo

imperativo encontrar nuevos métodos de transporte capaces de hacer frente a este nuevo paradigma económico, dando paso al nacimiento de la locomotora y el barco de vapor.

El siguiente paso en la cadena evolutiva de estos sistemas de transporte sería la tracción eléctrica la cual nace como solución al incremento del volumen de mercancías y la necesidad de superar pendientes más adversas en las vías y el consumo excesivo de combustible durante las paradas siendo en algunos casos de aproximadamente un 27% del consumo total de combustible [12].

En España, pese a que la electrificación ferroviaria llevaba en marcha desde 1890, la estandarización de un sistema de catenarias no llegaría hasta 1941, año en el que se crea la Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles (Renfe). Esta nueva entidad tuvo que afrontar la problemática de rescatar las líneas de vía ancha que habían sido desarrolladas por distintas empresas privadas. En 1945, los ingenieros de Renfe comienzan a estudiar las principales problemáticas que aparecían en distintos componentes de la catenaria y en 1946 se aprueba el “Plan Extensivo de Electrificación de las Líneas de Ancho Normal”.

La necesidad de adaptarse a las condiciones del resto de redes ferroviarias y a la normativa europea impulsa la separación de Renfe en dos entidades independientes en el año 2005. Por un lado, Renfe Operadora como la empresa encargada del transporte ferroviario de pasajeros y mercancías. En segundo lugar, la otra entidad pasaría a denominarse Adif (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias) cuyas funciones principales son la gestión del tráfico ferroviario y la administración de la infraestructura ferroviaria española.

Por lo tanto, desde esa fecha recae en Adif la responsabilidad de estandarizar los elementos que componen la red ferroviaria en España. Elementos que deben adaptarse no solo a las situaciones presentes en el entorno de la vía, sino que también deben evolucionar acorde a las distintas normativas, tanto nacionales como europeas, que rigen las situaciones de cálculo y diseño estructural.

1.2 OBJETO

El trabajo se apoyará en proyectos reales en ejecución, con el objetivo de estudiar los elementos estructurales presentados en las normativas NAE 300, encargada de especificar las características de la Línea Aérea de Contacto tipo CA-160/3kV y la NAE 302, encargada de definir las Líneas Aéreas de Contacto híbridas CA-160H/3kV y CA-200H/3kV, elaborando un documento de referencia que facilite futuras tareas de diseño y optimización de redes ferroviarias en otros proyectos.

1.3 LÍNEA AÉREA DE CONTACTO

El sistema de línea aérea de contacto, según la Norma UNE-EN-50119/2021, [11], se define como "*el conjunto de elementos que cubren tanto el sistema de soporte como la propia línea aérea de contacto, permitiendo la alimentación de los vehículos de tracción eléctrica que circulan por la vía*".

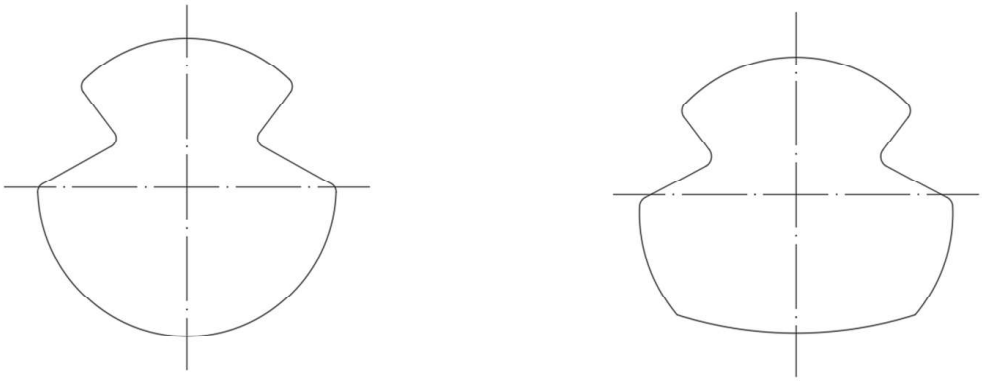
Dentro de la compleja estructura de la línea aérea de contacto, se encuentran diversos subsistemas. Aquel que permite la continuidad eléctrica con el tren a lo largo de la vía se le da el nombre de catenaria. De igual manera, la catenaria no es un elemento único pues está formada mediante numerosos elementos, a continuación, se describen aquellos más relacionados con el desarrollo de este trabajo [12] y [20].

1.3.1 Hilo de contacto

El hilo de contacto es el principal conductor de la catenaria, cumpliendo con la función de alimentar eléctricamente al tren a través del contacto directo con un elemento denominado pantógrafo.

Figura 1

Secciones de un hilo de contacto



a) Hilo de contacto de sección circular

b) Hilo de contacto de sección ovalada

Este contacto es generalmente continuo aunque en ciertas situaciones puede separarse momentáneamente, permitiendo el movimiento de los ferrocarriles de tracción eléctrica y además, en paralelo, debe alimentar todos los sistemas eléctricos complementarios con los que cuente el vehículo.

Este cable, a causa de la fricción no se mantiene sobre el eje de vía, ya que de ser así el pantógrafo se vería desgastado en zonas muy específicas reduciendo su vida útil. Por ello se configuran en forma de zig-zag mediante una separación denominada descentramiento la cual es generalmente de ± 20 cm, aunque dependiendo de la situación de la vía se adoptan otros valores.

Por último, se debe destacar que su geometría no es perfectamente circular, pues cuenta con dos ranuras en la parte superior, como muestra la Figura 1, permitiendo su sujeción mediante grifas.

1.3.2 Sustentador

Los cables sustentadores se forman mediante el trenzado de varios hilos, generalmente de cobre y cumplen con dos papeles dentro de la línea aérea de contacto, uno mecánico y otro eléctrico de tal manera que estos cables cumplen un papel crítico.

Desde un punto de vista estrictamente eléctrico, sirven como elementos de apoyo al hilo de contacto. Esto se debe a su conductividad, que permite añadir su sección al área total de conductor del sistema, reduciendo así, el área total necesaria de hilo de contacto.

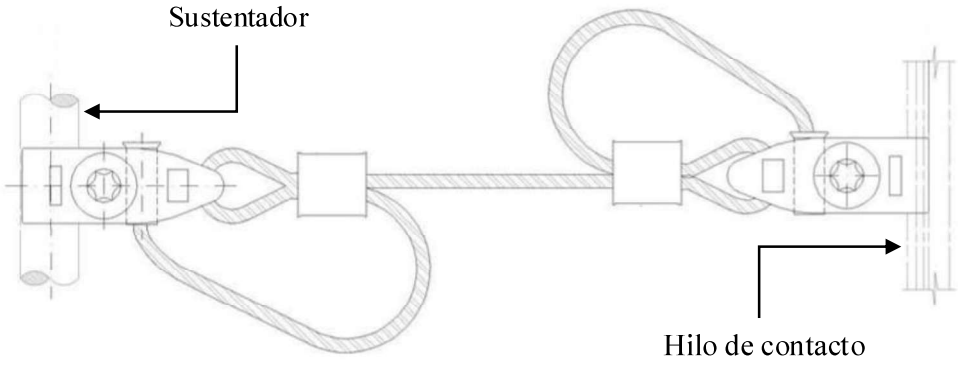
Aunque esta característica es de vital importancia, la función principal de este cable es la de soportar el peso del hilo de contacto y mantenerlo paralelo a la vía en todo momento.

1.3.3 Péndolas

Como se ha comentado en el epígrafe superior, el sustentador es el encargado de soportar al hilo de contacto, sin embargo, se requiere de una pieza auxiliar que permita unir a ambos, esta función se ve cubierta por el sistema de pendolado.

Figura 2

Conjunto de péndola



Nota. Adaptado de *NAE 300, Diseño funcional de la línea aérea de contacto tipo CA-160/3 kV: Plano de conjuntos* (2ª ed., Pt. 4, Anejo VII, p. 130), Por Adif (2024).

Las péndolas son los elementos encargados de sustentar al hilo de contacto, de tal manera que la distancia con el plano de rodadura se mantiene constante minimizando la variación de este parámetro, a excepción de los casos donde por las características de la vía sea necesario reducir o elevar esta distancia.

Las péndolas pueden dividirse en dos grupos principales. En primer lugar, no equipotenciales, en tal caso únicamente cumplirán con su función mecánica.

Sin embargo, cuando se requiera de un alto volumen de consumo, por ejemplo en líneas de alta velocidad, se requiere del uso de péndolas equipotenciales, permitiendo conectar eléctricamente sustentador e hilo de contacto.

1.3.4 Feeder

La catenaria, como todo conductor, a causa de su resistividad y las largas distancias recorridas, aparecen grandes caídas de tensión, causando insuficiencia en la potencia de la línea.

Para evitar estas caídas de tensión, se debe aumentar la sección de conductor. Sin embargo, este incremento en el tamaño tanto en el hilo de contacto y/o sustentador, causa un incremento en las cargas y tensiones sobre los postes y deteriora el comportamiento mecánico de la catenaria. Paralelamente, esta resistencia produce un calentamiento en los conductores, modificando la geometría de la catenaria aumentando el riesgo de fallos en la línea aérea de contacto.

El feeder, por lo tanto, es un elemento que permite aumentar la sección total de conductor sin afectar negativamente a la catenaria, y en función de las necesidades se clasifican en dos grandes grupos.

- **Feeder de alimentación**

Si el feeder nace en una subestación de tracción y finaliza su recorrido en la catenaria, se le denomina de alimentación.

- **Feeder de acompañamiento**

También se le conoce como feeder de refuerzo, puede conectarse mediante una instalación aérea apoyado sobre unas piezas llamadas sustentadores, o ir enterrados a través de conductos.

1.3.5 Cable de tierra

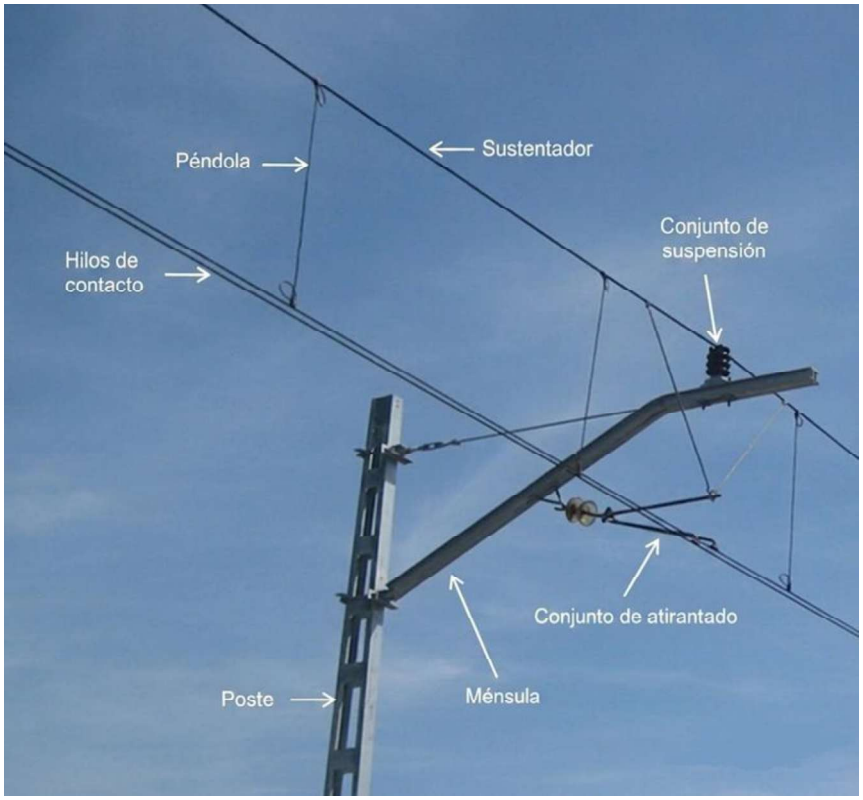
También conocido coloquialmente como cable de guarda, es un elemento de protección cuya función es minimizar el efecto producido por la interacción de agentes

externos con el sistema eléctrico o en caso de producirse un fallo en algún elemento de aislamiento.

Se instalan a lo largo de la vía conectado a todos los postes y estructuras entre sí, permitiendo que estén todas conectadas al mismo potencial y referidas a tierra.

Figura 3

Ménsula utilizada por el Adif



Nota. Tomado de *Documento Técnico Para Plan Formativo Metrovalencia*, por Montesinos Ortuño, Jesús (2022), por Ferrocarril de la Generalitat de Valencia.

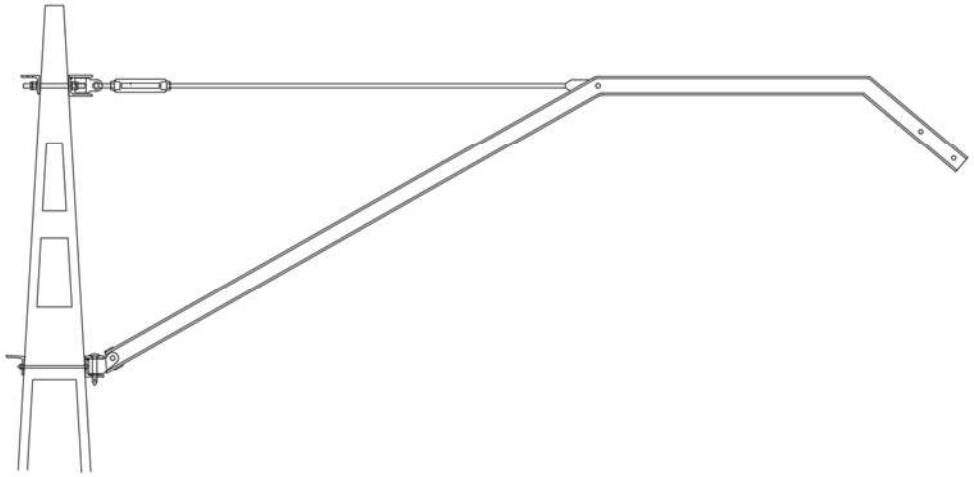
1.3.6 Ménsulas

Es el elemento encargado de permitir la sustentación de la catenaria y asegurar la correcta colocación de los distintos conductores. Se apoyan sobre los postes mediante subconjuntos de giro y se pueden distinguir dos grandes grupos.

En primer lugar, las ménsulas en celosía (Figura 4) compuestas por dos perfiles en U unidos entre sí mediante la soldadura de la parte exterior de sus almas. Para reforzar la estructura suelen contar con tirantes de acero, o perfiles de acero en caso de verse sometido a compresión. Este tipo de ménsulas se conectan directamente a tierra, además los conductores están aislados eléctricamente de la ménsula mediante aisladores por lo que estas ménsulas no se encuentran en tensión.

Figura 4

Conjunto de ménsula en celosía



Nota. Adaptado de *NAE 300, Diseño Funcional de la Línea Aérea de Contacto Tipo CA-160/3 kV: Planos de conjunto*, (2ª ed., Pt. 4, Anejo VII, p. 105), por Adif (2024).

En segundo lugar, se encuentran las ménsulas tubulares (Figura 5) compuestas por perfiles circulares de acero, aluminio o resinas, y también pueden contar con un elemento de atirantado. Estas ménsulas se encuentran permanentemente en tensión eléctrica ya que los conductores se conectan directamente a la ménsula, por lo que requieren del uso de aisladores.

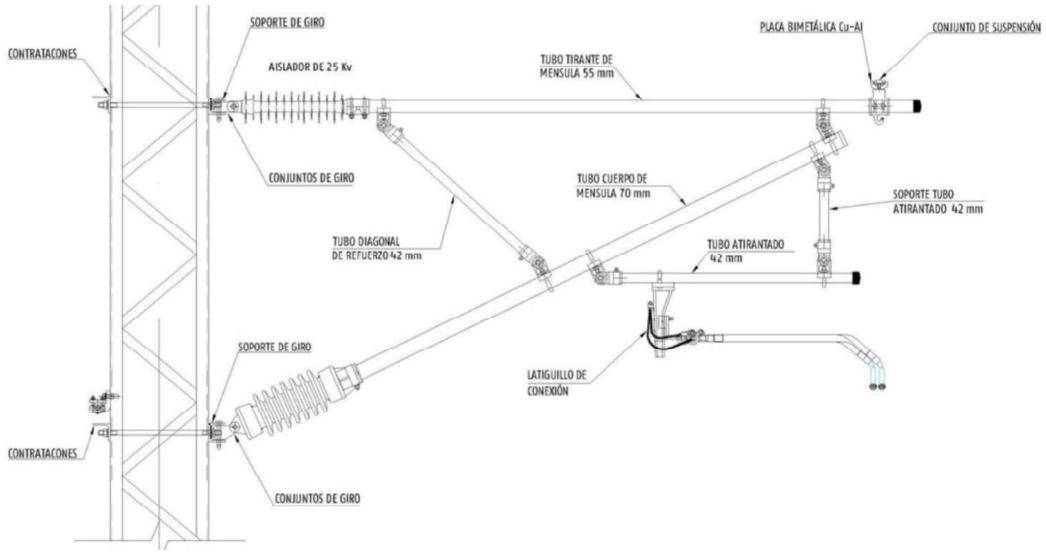
Las ménsulas pueden unirse a los postes mediante articulaciones que permitan el movimiento horizontal o estar unidas rígidamente.

1.3.7 Postes

Son los elementos que cumplen con la función de soportar todo el sistema de catenaria, los elementos auxiliares y las ménsulas. Las soluciones más comúnmente utilizadas son perfiles compuestos por secciones HEB únicas o 2 secciones soldadas mediante cordón continuo. También se pueden encontrar postes constituidos por 2 perfiles UPN, pudiendo colocarse perfectamente verticales o con cierta inclinación contando con su máxima separación en la base del poste. Estas secciones en U se unen mediante presillas horizontales o diagonales.

Figura 5

Conjunto de ménsula tubular



Nota. Tomado de *NAE 302, Diseño Funcional de la Línea Aérea de Contacto Tipo CA-160H y CA-200H*: *Planos* (2ª ed., Pt. 2, Anejo V, p. 183), por Adif (2024).

1.3.8 Cimentaciones

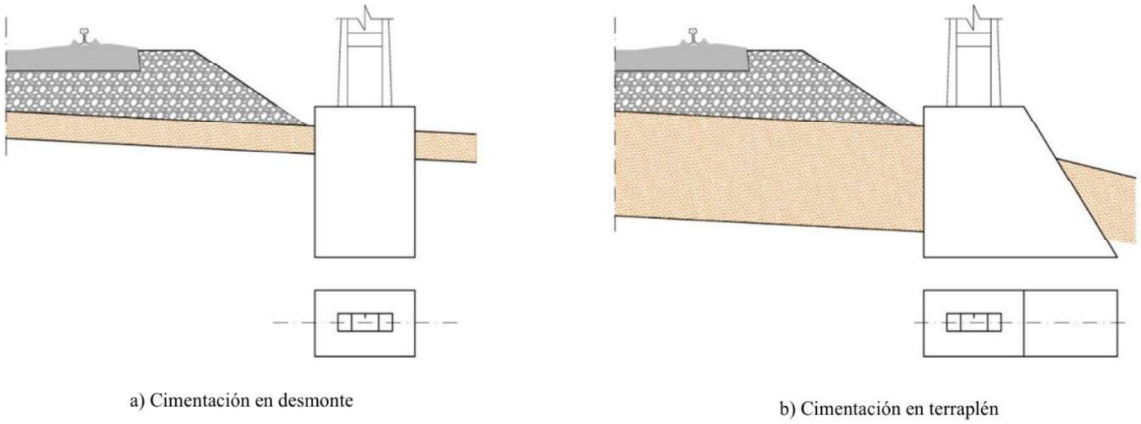
Para asegurar el correcto asentamiento de los postes sobre el terreno, estos no se instalan directamente sobre este, sino que se utilizan cimentaciones de hormigón.

Para clasificar los macizos se pueden utilizar 2 propiedades diferentes, según la inclinación del terreno y según la geometría de la cimentación.

En caso de clasificarse en función del terreno (Figura 6) se diferencian las cimentaciones en desmonte si la inclinación del terreno no es superior a 19º con respecto a la horizontal del terreno. Si por el contrario, la inclinación del terreno supera los 19º se entra en la necesidad de utilizar cimentaciones en terraplén [1].

Figura 6

Macizos en función de la inclinación del terreno



Nota. Adaptado de norma *NAE 106, Ejecución de Macizos de Cimentación para Postes y Anclajes de Línea Aérea de Contacto* (2ª ed., p. 8), por Adif (2017).

En segundo lugar, se encuentran las cimentaciones diferenciadas según su geometría, pudiendo encontrar cimentaciones cilíndricas y cuadradas/trapezoidales. Estos macizos cuentan con dimensiones normalizadas según la función que deban cumplir.

1.4 CASOS DE ESTUDIO

A lo largo de la vía aparecen diversas situaciones que generan distintos estados de carga, dándose en algunos casos la combinación de varias de estas situaciones simultáneamente dando como resultado contextos de gran complejidad para su estudio.

Por lo tanto, para poder estudiar las estructuras proporcionadas en las normativas NAE 300 y NAE 302, [5] y [6], es necesario acotar estos posibles casos, siendo estos representativos de situaciones reales de la vía.