Somos lo que hacemos todos los días;
la excelencia es un hábito, no un acto

Aristóteles

Todos los subsistemas que conforman el sistema de transporte ferroviario se han ido modernizando para, entre todos, posibilitar el renacer del ferrocarril que estamos viviendo tan intensamente en la actualidad. Entre ellos, el Subsistema de Energía es de vital importancia.

La modernización, no solo ha llegado a las líneas de Alta Velocidad, sino también a la red convencional en la que se han incorporado nuevos diseños que permiten obtener una mayor fiabilidad, seguridad y regularidad del trafico ferroviario.

En este sentido, el presente documento: "2ª Edición del Libro Línea Aérea de Contacto unificado para Catenarias CA-160 y CA-220" (antiguas CR-160 y CR-220) da un paso mas en el proceso de normalización de las distintas Catenarias instaladas en la red convencional, habiéndose incorporado o actualizado mas de 200 planos en la edición actual de Enero-2007.

Remontándonos a los orígenes normativos de Catenaria, hay que recordar y reconocer la valiosa aportación del antiguo Memorando del Sr. Pérez Morales y de tantos y tantos trabajadores de Renfe-Adif que sin su experiencia y colaboración tanto en la aportación de ideas como en la detección de errores, hubiese sido muy difícil llegar a la estructura actual del presente libro.

A todos ellos mi agradecimiento y consideración mas profundos, y de una forma muy especial a D. Roberto López y a D. Manuel Carmona que tanto han apoyado este libro en las dos ultimas décadas.

Maria Ángeles Gil Calvo
Jefa de Tecnología Operativa de Electrificación

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro (cuatro tomos), incluido el diseño de la cubierta, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electro-óptico, mecánico, por registro u otro método, sin el permiso y por escrito del titular de los derechos.

LÍNEA AÉREA DE CONTACTO

DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO DE LA INFRAESTRUCTURA

ADIF

© DERECHOS RESERVADOS

Han intervenido en la confección de este libro, como empleados de Adif:

Doña M. Ángeles Gil Calvo
Jefa de Tecnología Operativa de Electrificación

D. Agustín Jiménez Cano
Jefe de Estándares Tecnológicos de Electrificación

D. Francisco Estévez Cárdenas
Encargado de Línea Electrificada

Madrid, enero de 2008

MEMORIA DESCRIPTIVA

CATENARIA TIPO

CA-160 Y CA-220

Índice

1 DEFINICIONES 3

2 CARACTERÍSTICAS DE LA CATENARIA TIPO CA-160 8

2.1 GENERALIDADES 8

2.2 CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES 9
2.2.1 TIPO DE CORRIENTE Y TENSIÓN ELÉCTRICA DE ALIMENTACIÓN 9
2.2.2 VELOCIDAD DE DISEÑO 9
2.2.3 CONDICIONES AMBIENTALES NORMALES 9

2.3 CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO 11
2.3.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y MECANICAS 11
2.3.2 CRITERIOS DE AISLAMIENTO 16

2.4 DEFINICIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA 17
2.4.1 COMPOSICIÓN DE LAS CATENARIAS 17
2.4.2 POSTES 19
2.4.3 MACIZOS 20
2.4.4 CONJUNTOS DE MÉNSULA 24
2.4.5 CONJUNTOS DE ATIRANTADO 25
2.4.6 CONJUNTOS DE SUSPENSIÓN 27
2.4.7 ESTRUCTURAS DE APOYO, AISLAMIENTO Y ANCLAJE 28

2.5 ALIMENTACIÓN Y RETORNO 29
2.5.1 ALIMENTACIÓN 29
2.5.2 CONEXIONES DE ALIMENTACIÓN 29
2.5.3 RETORNO 30

2.6 PROTECCIONES 31

2.7 MATERIALES 32

2.8 MONTAJE Y TOLERANCIAS 32

3 CARACTERÍSTICAS DE LA CATENARIA TIPO CA-220 33

3.1 GENERALIDADES 33

3.2 CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES 33
3.2.1 TIPO DE CORRIENTE Y TENSIÓN ELÉCTRICA DE ALIMENTACIÓN 33
3.2.2 VELOCIDAD DE DISEÑO 33
3.2.3 CONDICIONES AMBIENTALES NORMALES 34

3.3 CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO 35
3.3.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y MECANICAS 35
3.3.2 CRITERIOS DE AISLAMIENTO 40

3.4 DEFINICIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA 41
3.4.1 FEEDER DE ACOMPAÑAMIENTO 42
3.4.2 CONDUCTORES 42
3.4.3 POSTES 42
3.4.4 MACIZOS 44
3.4.5 CONJUNTOS EN LOS EQUIPOS DE MÉNSULA 48
3.4.6 BRAZOS DE ATIRANTADO 49

3.5 ALIMENTACIÓN Y RETORNO 50
3.5.1 ALIMENTACIÓN 50
3.5.2 CONEXIONES DE ALIMENTACIÓN 51
3.5.3 RETORNO 52

3.6 PROTECCIONES 52
3.6.1 CABLE DE TIERRA 52
3.6.2 TOMA DE TIERRA 52
3.6.3 PROTECCIONES EN PASOS O ESTRUCTURAS SUPERIORES 53
3.6.4 DESCARGADORES DE ANTENA (PARARRAYOS) 53
3.6.5 SEÑALES 53
3.6.6 PROTECCIONES DE SEGURIDAD EN POSTES “X”, “Z” , “L” , “R”. 53
3.6.7 ARMADURAS DE PROTECCIÓN DE CONTRAPESOS 53
3.6.8 CANTONES DE PROTECCIÓN 53
3.7 MATERIALES 54
3.8 MONTAJE Y TOLERANCIAS 54
4 CÁLCULOS Y FÓRMULAS 55
4.1 CARACTERÍSTICAS DE METALES UTILIZADAS PARA CONDUCTORES 55
4.2 RESISTENCIA DEL CIRCUITO DE TRACCIÓN 55
4.2.1 RESISTENCIA DE LA CATENARIA 55
4.2.2 RESISTENCIA DEL CARRIL 56
4.2.3 RESISTENCIA ELÉCTRICA TOTAL 56
4.3 CÁLCULOS A TENER EN CUENTA POR CONDICIONES AMBIENTALES 56
4.3.1 TEMPERATURA 56
4.3.2 VIENTO 58
4.4 DIMENSIONAMIENTO ELÉCTRICO 62
4.5 CÁLCULO DEL MOMENTO EN LA BASE DE LOS POSTES 64
4.6 CÁLCULO DE DINTELES DE PÓRTICOS RÍGIDOS 66
4.7 CÁLCULO DEL PENDOLADO 67
4.8 CÁLCULO DE FEEDER Y DE CABLE DE TIERRA 75
4.9 COEFICIENTES DE SEGURIDAD EN LA CATENARIA 79
5 ANEXO Nº 1 81

1 DEFINICIONES

Aislador de sección.- Punto de seccionamiento formado por aisladores insertados en la línea de contacto y por dispositivos que aseguran la captación ininterrumpida de la corriente (UNE – EN 50119)

Aislamiento.- Distancia en el aire atmosférico y en la superficie de los aislamientos sólidos de un material en contacto con la atmósfera , que se somete a esfuerzos dieléctricos y a la influencia de las condiciones ambientales u otros agentes externos, tales como la polución, humedad, insectos, etc.

Aguja aérea.- Instalación que se realiza 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 discontinuidad en la alimentación eléctrica.

Altura de la catenaria o del sistema.- Distancia, medida verticalmente, entre el eje del sustentador y el eje de los hilos de contacto en el punto de apoyo del sustentador.

Altura de los hilos de contacto.- Distancia, medida perpendicularmente, entre el plano medio de rodadura en el eje de la vía y la cara inferior de los hilos de contacto.

Altura mínima de diseño del hilo de contacto.- Altura teórica del hilo de contacto, incluyendo las tolerancias, diseñada para asegurar que siempre se consiga la altura mínima del hilo de contacto.

Altura mínima de los hilos de contacto.- Valor mínimo de la altura del hilo de contacto en el tramo para evitar en todo tipo de condiciones, arcos voltaicos entre una o más líneas de contacto y los vehículos.

Altura máxima de diseño de los hilos de contacto.- Altura teórica del hilo de contacto, incluyendo las tolerancias y elevaciones que se requieren alcance el pantógrafo.

Altura del plano medio de rodadura sobre el terreno.- Distancia vertical entre dicho plano y el terreno, medida en la alineación de los postes de la catenaria.

Anclaje.- Elemento que soporta la tensión mecánica de amarre de los distintos cables o hilos. Suele situarse en la cabeza de los postes.

Anclaje de seccionamiento.- Perfil en cuyo poste se efectúa el anclaje del sustentador y los hilos de contacto. Existen, por tanto, un perfil de anclaje en cada extremo del seccionamiento, y es donde se instalan los equipos de compensación mecánica.

Atirantado.- Conjunto de elementos que participan en el descentramiento de la catenaria.

Blodi.- Sistema de freno de la polea de compensación que actúa bloqueando los dientes de la misma.

Brazo de atirantado.- Elemento que, unido al hilo/s de contacto, fija la posición del mismo/s en el descentramiento deseado (UNE – EN 50119).

Cable de retorno.- Conductor de retorno aislado que forma parte del circuito de retorno y que conecta el resto del circuito de retorno a la subestación (UNE – EN 50119).

Cable de tierra.- Cable o hilo metálico que conecta los soportes a la tierra o al rail para asegurar la protección de las personas e instalaciones en el caso de falta de aislamiento y que además puede servir de cable de retorno (UNE-EN 50119).

Carril de anclaje.- Cupón de carril que, empotrado en el macizo, sirve de sujeción al tirante de anclaje.

Cantón de compensación mecánica.- Tramo independiente, desde el punto de vista mecánico, en que se divide la longitud de una catenaria, con el fin de mantener una tensión mecánica constante independientemente de las variaciones térmicas.

Catenaria.- Conjunto de conductores aéreos formado por el sustentador, el hilo o hilos de contacto, las péndolas y sus alimentaciones.

Catenaria con péndola en Y.- Catenaria suspendida en la que el hilo de contacto está suspendido de una o más péndolas desde un hilo auxiliar continuo corto, unido al sustentador a cada lado del soporte.

Carril conductor aéreo.- Una sección metálica rígida , montada en aislantes en una estructura que forma una línea de contacto aérea (UNE-EN 50122-1).

Circuito de retorno.- Conjunto de elementos que forman el camino previsto para la corriente de retorno de tracción (UNE-EN 50119).

Cola de anclaje.- Es la porción extrema de un cable o hilo de contacto que, convenientemente aislada, se sujeta al anclaje.

Corrientes vagabundas.- Corriente que sigue caminos distintos a la del circuito de retorno (UNE-EN 50119).

Cortocircuito.- Camino conductor accidental o intencionado entre dos o más puntos de un circuito que fuerzan a las tensiones entre estos puntos a ser relativamente bajas. Cualquier trazado conductor, ya sea entre conductores o entre conductor y tierra, se considera cortocircuito (UNE-EN 50119).

Descargador.- Elemento de protección que se conecta al carril para la protección de puentes, marquesinas y otras construcciones metálicas próximas a la catenaria ante el fallo de aislamiento de esta.

En caso de derivación de corriente de la catenaria a una de estas estructuras, el descargador se hace conductor, permitiendo drenar la corriente al circuito de retorno.

Descentramiento.- Separación en el plano horizontal, entre el eje del pantógrafo y el eje de los hilos de contacto de la catenaria con objeto de evitar el desgaste puntual del pantógrafo.

En el caso de la catenaria CA-160 y CA-220, el descentramiento del sustentador es el mismo que el de los hilos de contacto al estar ambos elementos en el mismo plano vertical.

Desplome del poste o contraflecha.- Desplazamiento horizontal de la cabeza del poste, sin carga, respecto a su posición vertical, medido en dirección perpendicular a la vía y en sentido de alejamiento de ésta.

Dintel de pórtico rígido.- Elemento metálico utilizado para soportar las catenarias. Está formado por una estructura metálica en celosía o no, apoyada en sus extremos sobre postes. Las catenarias se suspenden del dintel mediante equipos de ménsula normalizados.

Dispositivo limitador de tensión.- Dispositivo de protección contra la existencia permanente de una tensión de contacto accesible inadmisiblemente alta (UNE-EN 50122-1)

Distancia mínima a tierra.- Distancia mínima en el aire entre elementos en tensión de la línea aérea de contacto y tierra.

Eje de seccionamiento.- Perfil dotado de doble ménsula, en donde los hilos de contacto de las dos catenarias están a la misma altura permitiendo el contacto con el pantógrafo, y en cuyos vanos adyacentes se elevan los hilos de contacto de cada una de las catenarias. En curva se pueden instalar uno o dos ejes, dependiendo del radio de la misma.

Equipo de compensación mecánica.- Mecanismo formado equipos que absorben las contracciones y dilataciones, que se utiliza para mantener la tensión mecánica de la catenaria constante.

Equipo de punto fijo.- Instalación que se coloca en la sección central de un cantón de compensación mecánica de la catenaria para fijar los conductores y evitar su desequilibrio mecánico.

Feeder de alimentación.- Conductor aéreo montado en la misma estructura que la Línea Aérea de Contacto, que se utiliza para alimentar diferentes secciones de la línea.

Feeder de refuerzo.- Conductor aéreo montado al lado de la Línea Aérea de Contacto y que se conecta a ella a intervalos frecuentes para aumentar su sección.

Flecha de los hilos de contacto.- Diferencia entre las alturas de los hilos de contacto en el extremo y en el centro del vano. Como altura de los hilos de contacto en el extremo se toma la media aritmética de las alturas en los puntos de amarre de las péndolas extremas del vano.

Gálibo de poste.- Distancia horizontal mínima entre las caras enfrentadas del poste y del carril más próximo a él, medida a la altura de la cabeza del carril.

Gálibo de carga estática.- Contorno de la sección máxima de los vehículos utilizados en las líneas ferroviarias.

Gálibo de carga cinemática.- Gálibo de carga estática ampliado para permitir los movimientos dinámicos del vehículo.

Hilo de contacto.- Conductor eléctrico de una catenaria a través del cual se produce el contacto con el pantógrafo, y por tanto, la captación de energía.

Interruptor automático de corriente continua (Extrarrápido).- Aparato de conexión capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes continuas en las condiciones normales del circuito así como establecer, soportar (hasta un límite específico y durante un tiempo determinado) e interrumpir corrientes en condiciones anormales especificadas del circuito, tales como las de cortocircuito.

Línea aérea de contacto.- Sistema para el suministro de energía eléctrica a los vehículos de tracción ferroviarios mediante el pantógrafo. Se compone de:

- La catenaria (sustentador, hilos de contacto y péndolas), y equipos necesarios para su funcionamiento (seccionamientos, agujas aéreas, etc).
- Los elementos de sustentación: macizos de fundación, postes, ménsulas y dinteles de pórticos rígidos.
- Los elementos de protección, alimentación y corte.

Macizo /Cimentación.- Construcción, generalmente de hormigón o acero, completa o parcialmente enterrada y sobre la que se montan los soportes. La cimentación deberá proporcionar estabilidad a todas las cargas a las que se someta el soporte (UNE-EN 50119).

Ménsula.- Estructura metálica utilizada para suspender y atirantar la catenaria. Puede estar colocada sobre postes o bien sobre pórticos rígidos, y pueden ser rectas, acodadas o de estructura triangular tubular.

Pantógrafo.- Aparato para tomar corriente del hilo de contacto, constituido por un sistema articulado diseñado para permitir un movimiento vertical de su cabeza (UNE-EN 50119).

Pararrayos.- Dispositivo para proteger los aparatos eléctricos de sobretensiones transitorias y limitar la duración y frecuentemente la amplitud de la corriente subsiguiente (UNE-EN 50122-1).

Pendiente de los hilos de contacto.- Porcentaje de la diferencia en altura de los hilos de contacto sobre el nivel del carril en dos soportes sucesivos a lo largo del tramo. Se expresa en tanto por mil.

Péndola.- Componente utilizado para suspender de un transversal portador o de un portador longitudinal, un transversal de equilibrio, un cable auxiliar o un hilo de contacto (UNE-EN 50119).

Pendolado.- Distribución de las péndolas a lo largo de un vano, tanto en lo que se refiere a la longitud de las mismas como a la separación entre ellas.

Pendolado arbitrario.- Es aquel que se caracteriza porque la distancia entre el apoyo y la primera péndola, así como la distancia entre ellas es arbitraria, es decir, no obedece a una

longitud homogénea.

Pendolado equidistante.- Es aquel que viene determinado por la distancia desde el apoyo hasta la primera péndola, así como la distancia entre ellas es constante.

Pendolado por parejas.- Es aquel que viene determinado por péndolas agrupadas por parejas, existiendo una distancia entre ejes de parejas de péndolas y otra distancia entre ejes de cada una de las péndolas que conforma la pareja. Asimismo la distancia entre el apoyo y la primera péndola no tiene porque coincidir con la distancia entre parejas o con la distancia entre cada una de las que conforma la pareja.

Plano medio de rodadura.- Plano horizontal que contiene al eje de la vía. En recta coincide con el plano de rodadura, que es el tangente a las cabezas de los carriles.

Pórtico funicular.- Equipo que suspende varias catenarias de vías adyacentes principalmente en estaciones. Consiste en tres cables sujetos a dos postes situados en los extremos del haz de vías.

- ❑ Cable funicular, es el que soporta las cargas, denominado así por que adopta esa forma, en el plano vertical es el que queda por encima de los tres.
- ❑ Transversal superior o de suspensión, es en el que se suspende el cable sustentador, queda sujeto al cable funicular por medio de unas péndolas de acero en los puntos donde se apoya el sustentador de cada vía.

Pórtico rígido.- Equipo formado por dos postes con sus correspondientes macizos y el dintel que los une.

Poste.- Estructura metálica fijada al terreno que sirve de apoyo, tensando y atirantado de la línea aérea de contacto (UNE-EN 50119).

Poste de aguja.- Es el correspondiente al soporte más próximo al punto de aguja y se utiliza para atirantar las catenarias.

Potencial del carril.- La tensión que aparecen en condiciones de funcionamiento cuando los carriles de vía son utilizados para llevar la corriente de retorno de tracción o bajo condiciones de fallo entre los carriles de vía y tierra (UNE-EN 50122-1).

Protección de contrapesos.- Dispositivos que se colocan en cada poste que soporta los contrapesos, en zonas de andenes o de paso público, con el fin de evitar accidentes y / o sustracciones de rodelas de contrapesos.

Protección de seguridad de postes.- Pieza metálica que se coloca en los postes metálicos empresillados para impedir su escalada.

Punto de aguja.- Es el punto donde las catenarias de la vía directa y de la desviada se encuentran más próximos.

Punto fijo.- Es el punto central de un cantón de compensación de una Línea Aérea de Contacto a partir del cual y hacia ambos lados se regulan las variaciones de longitud de la catenaria mediante sistemas de compensación.

Seccionador.- Dispositivo interruptor utilizado en instalaciones eléctricas, compuesto por un bastidor metálico sobre el que van los aisladores de apoyo de los contactos y la cuchilla o elemento móvil que, accionando por medio de la correspondiente timonearía, sirve para abrir o cerrar un circuito eléctrico.

Seccionamiento.- Zona de solape de catenarias en los extremos de dos cantones de compensación adyacentes.

El seccionamiento se realiza a lo largo de varios perfiles denominados: anclaje de seccionamiento, semieje de seccionamiento y eje de seccionamiento.

Seccionamiento de cantón o de compensación.- Seccionamiento que permite la continuidad

eléctrica permanente entre ambas catenarias mediante conexiones eléctricas, tanto entre los sustentadores, como entre los hilos de contacto.

Seccionamiento de lámina de aire o aislado.- Seccionamiento en el que las dos catenarias permanecen independientes eléctricamente mediante una distancia entre conductores suficiente para la tensión eléctrica a la que se encuentran alimentados. En caso necesario se pueden conectar las catenarias mediante un seccionador.

Semieje de seccionamiento.- Perfil dotado de doble ménsula, una para cada catenaria, en el que los hilos de contacto de la catenaria que se ancla están elevados, evitándose el contacto con el pantógrafo. Existen dos semiejes en cada seccionamiento.

Señales de electrificación.- Signos que tienen por objeto transmitir al maquinista ordenes o informaciones sobre la catenaria.

Separación entre catenarias en un seccionamiento.- Distancia mínima entre las dos catenarias de un seccionamiento, con el fin de mantener el aislamiento eléctrico entre ambas.

Separación entre el hilo de contacto y el tubo de atirantado.- Distancia entre el tubo horizontal que soporta los brazos de atirantado y los hilos de contacto, medida verticalmente.

Solape entre catenarias en los seccionamientos.- Longitud de seccionamiento en la que el contacto del pantógrafo se produce simultáneamente sobre las dos catenarias del mismo.

Sustentador.- Cable conductor de una catenaria que, apoyado en las ménsulas de los postes, soporta el hilo o hilos de contacto mediante péndolas.

Tensión de contacto.- Tensión bajo condiciones de fallo entre partes cuando son tocadas simultáneamente (UNE-EN 50122-1).

Tensión nominal.- Es la tensión declarada para un sistema (UNE-EN 50163).

Tensión no permanente máxima.- Es el valor máximo de la tensión susceptible de estar presente durante cinco minutos como máximo (UNE-EN 50163).

Tensión permanente máxima.- El valor máximo de la tensión susceptible de estar presente indefinidamente (UNE-EN 50163).

Tensión permanente mínima.- El valor mínimo de la tensión susceptible de estar presente indefinidamente (UNE-EN 50163).

Sobretensión.- Un crecimiento transitorio de la tensión durante menos de 2 segundos (UNE-EN 50163).

Subestación de tracción.- Una instalación cuya principal función es la de alimentar un sistema de línea de contacto en la cual la tensión de un sistema primario de alimentación y en ciertos casos la frecuencia, es transformada a la tensión y frecuencia de la línea de contacto (UNE-EN 50122-1).

Tierra.- Masa conductora de la tierra en la que el potencial eléctrico en cada punto se toma, convencionalmente, igual a cero (UNE-EN 50119).

Toma de tierra.- Conjunto de elementos conductores, conectados a tierra, con objeto de reducir los potenciales eléctricos de elementos metálicos cercanos a una línea eléctrica, provocados por una eventual falta de aislamiento o por descargas atmosféricas.

Vano.- Distancia entre dos soportes o perfiles consecutivos de la línea aérea de contacto.

Vano de elevación de una aguja.- Es el vano comprendido entre el poste de aguja y el poste instalado a continuación en dirección a la junta de contraaguja del desvío.

Vano de Anclaje.- Aquel que corresponde, normalmente, con el vano continuación al de elevación.

Vía directa.- Es la vía de un desvío que tiene mayor radio y por tanto, la que se supone origen

de la desviada.

Vía desviada.- Es la vía de un desvío que tiene el radio menor, uniéndose a la general mediante la aguja.

Visera.- Pieza utilizada para protección de la catenaria en pasos superiores, pasarelas, túneles, etc.

Zona Crítica.- Zona de una aguja aérea que está comprendida entre el punto donde el pantógrafo empieza a tocar las dos catenarias y concluye en el punto donde suelta una de ellas.

Zona Neutra.- Parte de una línea de contacto provista en cada extremo de un punto de seccionamiento, bien para impedir la interconexión de secciones eléctricas sucesivas diferentes en tensión o en fase, bien para asegurar que no se puentea la zona de trabajo.

2 CARACTERÍSTICAS DE LA CATENARIA TIPO CA-160

2.1 GENERALIDADES

A partir del año 1956, en que fue aprobado por el Ministerio de Obras Públicas el "Proyecto de Línea Aérea de Contacto tipo RENFE", todas las electrificaciones en líneas de ancho Ibérico han sido realizadas siguiendo las especificaciones contenidas en dicho documento o sus actualizaciones sucesivas.

Dicho proyecto fue desarrollado teniendo en cuenta la publicación: "Acciones a que deben considerarse sometidas las Líneas Aéreas de Contacto de las Electrificaciones de Ferrocarriles". Ministerio de Obras Públicas. Servicio Eléctrico de Obras Públicas. Madrid 1946.

En su origen la Línea Aérea de Contacto tipo RENFE fue proyectada sin compensación mecánica, por lo cual la velocidad de circulación no podía ser muy elevada.

Ante la demanda creciente de aumento de velocidad de los trenes, se fueron introduciendo modificaciones en varias etapas, para adaptar la Línea Aérea de Contacto tipo RENFE a dichas velocidades.

Entre las primeras modificaciones introducidas destacan las siguientes:

- Mecanismos de compensación
- Ménsulas giratorias
- Nuevos conjuntos de suspensión y de atirantado
- Nuevos tipos de aisladores
- Nuevo tipo de agujas aéreas cruzadas
- Nueva distribución de pendolado
- Incremento del tense de los conductores
- Pórticos rígidos ligeros

Las últimas modificaciones introducidas progresivamente hasta el año 1986, y que dan nombre a la Línea Aérea de Contacto CR-160, son las siguientes:

- Pendolado equipotencial
- Compensación independiente del sustentador y de los hilos de contacto
- Nuevo conjunto de giro de ménsula y de tirante
- Utilización de pórticos rígidos con ménsulas giratorias colgadas de los dinteles
- Nuevo tipo de agujas aéreas tangenciales
- Mayor tense de los conductores

El acrónimo CR-160, correspondía al concepto de "Catenaria RENFE para velocidad máxima de 160 km/h". Donde el término "Catenaria" se empleaba en su acepción más general para designar a la Línea Aérea de Contacto, como parte más significativa de ésta. En la actualidad el acrónimo utilizado es CA-160, que corresponde al concepto de "Catenaria ADIF", manteniendo todas las características técnicas de la anterior.

Tanto la Línea Aérea de Contacto original como las sucesivas modificaciones se diseñaron para la circulación de trenes con pantógrafos de 1.950 mm.

2.2 CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES

2.2.1 TIPO DE CORRIENTE Y TENSIÓN ELÉCTRICA DE ALIMENTACIÓN

La catenaria esta diseñada para ser alimentada en corriente continua donde se admiten las siguientes variaciones

Tensión	V
Nominal	3.000
Máxima	3.600
Mínima	2.000
No permanente máxima	3.900

Los valores de tensión de esta tabla son los definidos en la norma UNE-EN 50163.

2.2.2 VELOCIDAD DE DISEÑO

La catenaria está diseñada para un funcionamiento óptimo de los trenes hasta velocidades de 160 km/h.

2.2.3 CONDICIONES AMBIENTALES NORMALES

La catenaria se ha proyectado para las condiciones ambientales de funcionamiento, que se indican a continuación. En caso contrario se deberán realizar las correcciones necesarias.

- **Temperatura ambiental**

  La limitación de las temperaturas ambientales máximas y mínimas tiene por objeto establecer la longitud máxima del cantón de compensación mecánica de la catenaria.

Temperatura ambiental	ºC
Mínima	- 15
Máxima	+ 45

Estos valores podrán variar según las zonas tomando como referencia los valores estadísticos tomados por el Instituto Nacional de Meteorología.

- **Temperatura máxima de los conductores**

Al aumentar la temperatura, se reduce la tensión límite de fluencia de los conductores. Para evitar que dicha tensión descienda por debajo de un mínimo, entrando los conductores en régimen plástico, se limita la temperatura máxima que pueden alcanzar éstos a los siguientes valores:

Temperatura máxima en conductores	ºC
Sustentador	80
Hilos de contacto de Cobre	80
Hilos de contacto de Cu-Ag	100

- **Viento**

La limitación en la velocidad del viento tiene por objeto establecer el vano máximo de la catenaria. En este caso se toman los siguientes valores:

Condiciones de helada	Velocidad máxima (km/h)
Sin manguito de hielo	120
Con manguito de hielo de 9 mm espesor	72

La velocidad del viento influye en la deformación transversal de la catenaria, y en particular, en su flecha máxima horizontal. Si ésta es elevada, puede provocar problemas en la toma de corriente, al salirse el hilo del área de contacto con el pantógrafo.

En condiciones normales, se establece una limitación de las velocidades del viento compatibles con la longitud máxima del vano. Para velocidades superiores será necesario reducir dicho vano en función de los cálculos correspondientes.

2.3 CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

A continuación se indican las características geométricas y mecánicas, así como los criterios de aislamiento con los que se debe diseñar la catenaria, en el caso de condiciones normales de funcionamiento.

2.3.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y MECANICAS

- **Altura de los hilos de contacto**

Situación	Altura de los hilos de contacto (m)	Observaciones
Trayectos y estaciones	5,30 m	Valor nominal
Pasos superiores y túneles con gálibo reducido	4,90 m	Valor mínimo en obra nueva
Pasos a nivel	6,00 m	*
Altura mínima de diseño	4,60 m	

*Si no se puede conseguir dicha altura será necesario el montaje de gálibos de protección a ambos lados del paso a nivel.

La altura de los hilos de contacto deberá ser lo mas constante posible a lo largo de la línea con el fin de mantener una buena toma de corriente a través del pantógrafo. No obstante, en caso de existencia de túneles, pasos superiores o pasos a nivel, la transición de altura en los hilos de contacto se realizará con pendientes referidas al plano de la vía no superiores a las siguientes:

Zona de transición	Pendiente máxima hilos de contacto ($^0/_{00}$)
En el vano de comienzo y en el final	1
En el resto	2

En el caso de que existan varios pasos superiores con gálibo reducido y próximos entre si, se mantendrá entre ellos la misma altura de los hilos, haciendo las transiciones solamente antes del primero y después del último.

- **Altura de la catenaria**

Situación	Altura nominal de catenaria (m)
Trayectos y estaciones	1,400
Zonas de gálibo estricto (túneles, pasos superiores, etc.)	0,853 - 0,462 – 0,263

El paso de una altura de catenaria a otra se realizará intercalando las transiciones necesarias.

- **Descentramiento**

Situación	Lugar de medida	Descentramiento (cm)
Recta	En los apoyos	± 20 (Alternativamente a cada lado del eje de la vía)
Curva	En los apoyos En el centro del vano	20 (Hacia el exterior de la curva) < 10 (Hacia el interior de la curva)

- **Vano**

Los valores máximos de vanos a utilizar en función de la altura de catenaria adoptada son los siguientes:

Altura de catenaria (m)	Vano máximo (m)
1,400	60
0,853	45
0,462	30
0,263 *	20

* Solo en casos excepcionales, y en este caso solo se podrán instalar péndolas de varilla.

Esta limitación es debida al condicionante de la longitud mínima de la péndola en el centro del vano, donde deberá comprobarse la configuración de los elementos que la componen verificando que su montaje pueda realizarse.

El valor máximo de los vanos en curva dependerá del radio y la flecha (0,30 m) de ésta según el siguiente cuadro:

Situación	Radio curva (m)	Vano máximo (m)
Recta		60
Curva: Flecha de la vía 0,30 m.	R ≥ 1500 1500 > R ≥ 1260 1260 > R ≥ 1042 1042 > R ≥ 844 844 > R ≥ 667 667 > R ≥ 510 510 > R ≥ 375 375 > R ≥ 260 260 > R ≥ 167	60 55 50 45 40 35 30 25 20

Esta limitación es debida a la necesidad de mantener los valores del descentramiento dentro de los márgenes indicados en el apartado anterior.

- **Diferencia de longitud entre vanos consecutivos**

La diferencia entre las longitudes de dos vanos consecutivos será:

Diferencia de longitud	Valor (m)
Máxima	10
Agujas	5

Esta limitación tiene por objeto limitar el desequilibrio entre las tensiones mecánicas del sustentador e hilos de contacto a ambos lados del apoyo.

- **Cantón de compensación mecánica**

La longitud máxima del cantón será:

Situación	Longitud máxima (m)
Recta	1.200
Tramo con curvas	900

El tipo de anclaje y la ubicación de los puntos fijos a utilizar en función de la longitud del cantón de compensación mecánica, son los siguientes:

Longitud del Cantón (m)	Tipo de anclajes a cada lado	Ubicación Punto Fijo
600 < C ≤ 1200	2 Compensados	½ Cantón
C ≤ 600	1 Compensado + 1 No compensado	-

Se montarán latiguillos entre sustentador e hilos de contacto en el punto fijo cuando la diferencia de las tensiones mecánicas a ambos lados de dicho punto sea > del 5%.

- **Flecha de los hilos de contacto**

La flecha máxima que deberán adoptar los hilos de contacto en el centro del vano será:

Flecha	Valor (m)
Máxima	0,6 x L/1000

Siendo: L = Longitud del vano (m)

- **Gálibo de postes**

En vía general el gálibo de los postes, tomando como referencia la distancia mínima entre las caras enfrentadas del poste y del carril más próximo a él, se ajustará a los siguientes valores:

Situación del poste	Valor nominal (m)
En recta o en exterior de curva	1,90
En interior de curva de R>300 m	1,90
En interior de curva de R ≤ 300 m	2,10

En estaciones, con perfil sencillo, el tipo de poste a colocar en entrevías se seleccionará de acuerdo con la siguiente tabla:

Distancia entre ejes de vías (m)	Tipo de postes
D ≥ 6,00	Cualquiera
6,00 > D ≥ 5,70	X y H
5,70>D≥5,20	Sólo H

En estaciones con pórticos rígidos con dintel tipo C, solo se utilizarán postes tipo L y R.

La colocación de postes en andenes se realizará respetando el gálibo siguiente:

Gálibo de poste mínimo (m)	Observaciones
5	Siempre y cuando el andén supere dicha dimensión

En puntos singulares la colocación de los postes se realizará de acuerdo a lo dispuesto en la correspondiente Instrucción Técnica de Gálibos editada y actualizada.

- **Contraflechas en los postes**

Poste X en recta ……..…….0.05 m ±1cm

Poste X en curva exterior…….....….0.08 m ±1cm

Poste X en curva interior…….....0.00 m

Poste L o R en pórtico rígido…….....0.00 m

Poste Z en pórtico funicular……....0.08 m

- **Nº de vanos de los seccionamientos**

En el cuadro siguiente se indica el nº de vanos de los seccionamientos en función de su longitud:

Longitud de los vanos (m)	Nº de vanos del seccionamiento
≥ 50	3
< 50	4

Cuando los vanos son menores de 50 m se realizan los seccionamientos en 4 vanos, con el fin de conseguir suficiente longitud de solape de las catenarias.

- **Agujas aéreas**

Como criterio general los tipos de agujas aéreas a utilizar serán los siguientes:

Situación	Tipo de aguja aérea	Posición equipo de aguja
Vía general + vía desviada*	Tangencial/cruzada	P-90/P-50
Vía general + vía de escape*	Tangencial/cruzada	P-90/P-50
Vía general + vía secundaria de circulación	Tangencial/cruzada	P-90/P-50
Vía secundaria + vía secundaria	Cruzada	P-50

* Dependiendo del grado de utilización y características propias del diseño de la estación.

- **Equipos de compensación mecánica**

La tipología de equipos a utilizar para la compensación mecánica será la siguiente:

Situación	Tipo de equipo
Cielo abierto y zonas con gálibo suficiente	Poleas y contrapesos
Zonas con gálibo reducido/Andenes de estación	Polipastos o tipo muelle

La forma de realizar la compensación de las catenarias será la siguiente:

Tipo de catenaria	Tipo de compensación
De vía general	Independiente para el sustentador y para los hilos de contacto
De escapes(*)	
De vía secundaria de circulación	
De vía secundaria	Solo para el hilo de contacto

(*) La catenaria de los escapes se montará independientemente de las vías generales.

- **Tensiones de regulación mecánica**

Las tensiones mecánicas a utilizar serán las siguientes:

Para el sustentador:

	Cu 150
Tense de montaje (N)	13974,48
Razón de regulación	1:5
Tense real (N)	*
Número de rodelas	9 RT19 + 1 RT20

* Tense real = (Peso total de las rodelas) + (Peso de las piezas auxiliares que influyen en la compensación) x (la relación de transformación de las poleas).

Para el hilo de contacto:

	HC 107	HC 120
Tense de montaje (N)	2 x 10296,98	2 x 11767,98
Razón de regulación	1:5	1:5
Tense real (N)	*	*
Número de rodelas	14 RT19	16 RT19

* Tense real = (Peso total de las rodelas) + (Peso de las piezas auxiliares que influyen en la compensación) x (la relación de transformación de las poleas)

- **Distancia entre catenarias en seccionamientos**

La distancia entre catenarias en seccionamientos de lámina de aire será la siguiente:

Distancia	mm
Valor nominal	400

La distancia entre catenarias en seccionamientos de cantón será la siguiente:

Distancia	mm
Valor nominal	250

2.3.2 CRITERIOS DE AISLAMIENTO

Los criterios de aislamiento de la catenaria se indican en los apartados siguientes:

- **Distancia de aislamiento entre partes en tensión de la línea aérea de contacto y tierra o material rodante**

Para evitar la formación de arco eléctrico, los valores normales sin polución necesarios son los siguientes:

Distancia de aislamiento (mm)	
Estática	**Dinámica**
150	50

La distancia de aislamiento estática es la que debe considerarse suponiendo la catenaria en reposo y el vehículo parado.

La distancia de aislamiento dinámica es la que debe considerarse suponiendo la catenaria en movimiento (por paso del pantógrafo o viento) y el vehículo también en movimiento.

- **Distancia de aislamiento entre catenarias**

Para evitar la formación de arco eléctrico los valores mínimos necesarios según la ubicación de las catenarias son los siguientes:

Situación	Distancia de aislamiento (mm)
Entre catenarias de un seccionamiento de lámina de aire	400
Entre colas de anclaje o cruce de catenarias	300

- **Aisladores**

Todos los aisladores de la catenaria deberán cumplir las siguientes condiciones:

❑ LÍNEA DE FUGA

La línea de fuga de los aisladores será la siguiente:

Línea de fuga	Valor (mm)
Mínima	300

❑ NIVELES DE AISLAMIENTO

Los niveles de aislamiento necesarios para los aisladores, serán los siguientes:

Nivel de aislamiento	Tensión mínima (kV)
Tensión soportada a impulsos tipo rayo en seco	90
Tensión soportada a frecuencia industrial bajo lluvia	35

2.4 DEFINICIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA

A continuación se describen todos los componentes a utilizar en la Línea Aérea de Contacto, con sus condiciones de utilización.

2.4.1 COMPOSICIÓN DE LAS CATENARIAS

La composición de la catenaria dependerá del tipo de vía y de la circulación que soporta. A continuación se indican los distintos casos.

- **En vías generales, en escapes entre vías generales y en vías secundarias con andén y circulación importante**

Composición	Cantidad	Material	Sección (mm^2)
Cable sustentador (1)	1	Cu	150
Hilo de contacto (2)	2	Cu	2x107
Péndolas equipotenciales	Variable	Cu	25

(1) La cola de anclaje del cable sustentador se realizará con cable de acero de 72 mm^2

(2) La cola de anclaje de los dos hilos de contacto se realizará con cable de acero de 72 mm^2

El pendolado que se utiliza es del tipo por parejas.

Excepcionalmente se podrá utilizar hilo de contacto de 120 mm^2 de cobre plata ovalado cuando las condiciones técnicas así lo requieran.

- **En vías secundarias**

Composición	Cantidad	Material	Sección (mm^2)
Cable sustentador	1	Acero	72
Hilo de contacto (1)	1	Cu	107
Péndolas	Variable	Cu varilla	19,6

(1) La cola de anclaje del hilo de contacto se realizará con cable de acero de 72 mm^2.

El pendolado que se utiliza es del tipo equidistante.

En las vías secundarias de circulación de alta densidad de circulación podrán utilizarse dos hilos de contacto.

2.4.2 POSTES

- **Postes de vía general**

Se utilizarán los siguientes:

Tipo	Condiciones de utilización	
	Nº de ménsulas	Altura del plano medio de rodadura sobre el terreno (h_t)
X2B	1	< 0,85 m
X2B-ALG.	1	≥ 0,85 m
X3B	2	< 0,85 m
X3B-ALG.	2	≥ 0,85 m

- **Postes de estación**

En postes independientes se emplearán los siguientes:

Tipo	Condiciones de utilización	
Z1	Anclaje de catenaria vía general Equipo de ménsula doble (para 2 vías)	Compensación independiente Con altura de catenaria < 1,40 m
Z2	Equipo de ménsula doble	Con altura de catenaria < 1,40 m
Z2A	Equipo de ménsula doble	Con altura de catenaria 1,40 m
Z3	Equipo con tres ménsulas	En agujas aéreas
L y R	Equipo de pórtico rígido	Pórticos tipo B y C

Los postes independientes soportando a cada lado de un perfil catenarias distintas, podrán ser del mismo tipo o diferentes, en función de los esfuerzos a que estén sometidos.

- **Postes de anclaje**

Para anclajes en andenes se utilizarán los siguientes postes que no precisan tirantes de anclaje.

Tipo	Condiciones de utilización
XF	Para anclajes sin compensar de dos catenarias en doble vía
XGa	Para anclajes sin compensar de una catenaria

- **Postes especiales**

Cuando no exista gálibo suficiente para utilizar postes X, Z, L o R se utilizarán los postes tipo PG1 o PG2 tanto en vía general como en estaciones.

- **Postes para pórticos rígidos**

  Cuando sea necesaria la instalación de pórticos rígidos se utilizarán postes tipo L o R especialmente diseñados para este fin.

2.4.3 MACIZOS

Se denomina así a la figura geométrica prismática realizada de hormigón en masa, que soporta las estructuras que forman la Línea Aérea de Contacto.

La definición más clásica de macizo indica que es un prisma realizado de hormigón que se utiliza para fijar un poste al terreno.

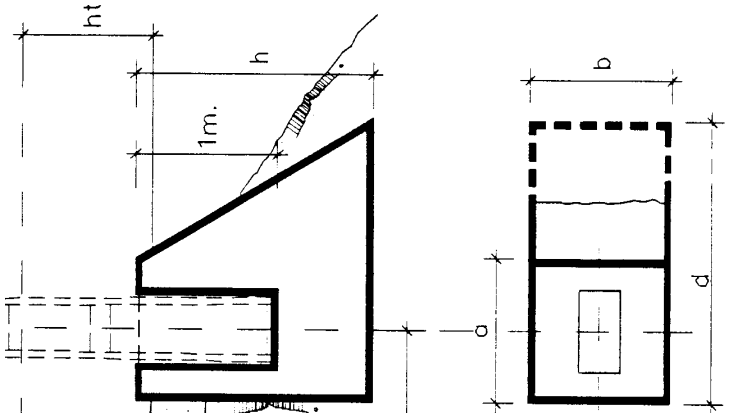
Los macizos se pueden clasificar en:

- según el terreno (**Desmonte,** cuando la plataforma de la vía está en terreno llano o en trinchera o **Terraplén**, cuando la plataforma está en terraplén)
- según la función (de **fundación**, como caso general y de **anclaje** como contrapeso de los anclajes de catenaria y de punto fijo)
- según su forma (Paralelepípedo, Trapezoidal)

Los tipos de macizos que se utilizarán serán los indicados en las tablas siguientes:

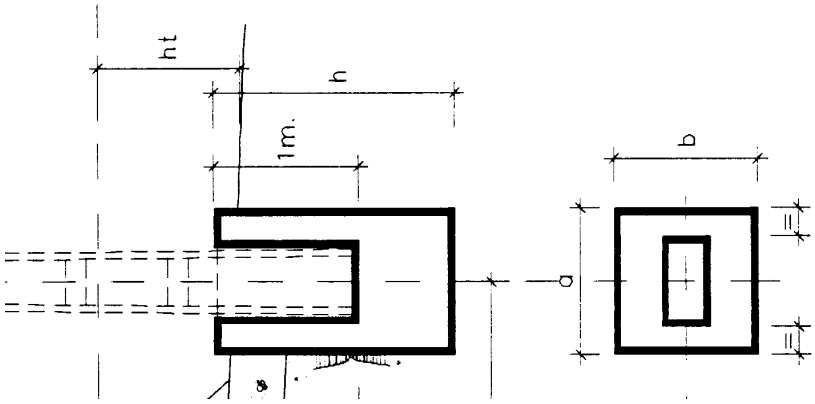
Se podrán utilizar otras formas o diseño siempre que sean autorizados por ADIF.

- **Macizos para postes X, Z, PG1 y PG2**
  - **Macizo tipo "t"**



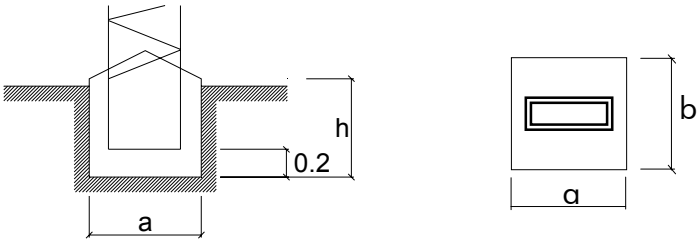
TIPO	a (m)	b (m)	d (m)	h (m)	Volumen m³
t1	0,9	0,9	1,75	1,6	1,90
t2	1	1	1,85	1,6	2,28
t3	1,1	1,1	1,95	1,6	2,68
t4	1,2	1,2	2,05	1,6	3,12
t5	1,3	1,3	2,15	1,6	3,59
t6	1,4	1,4	2,25	1,6	4,09
t7	1,5	1,5	2,35	1,6	4,62
t8	1,6	1,6	2,45	1,6	5,18
t9	1,7	1,7	2,55	1,6	5,78
t10	1,8	1,8	2,65	1,6	6,41
t11	1,9	1,9	2,75	1,6	7,07
t12	2	2	2,85	1,6	7,76
t13	2,1	2,1	2,95	1,6	8,48
t14	2,3	2,3	3,15	1,6	10,03
t15	2,4	2,4	3,25	1,75	11,86
t16	2,5	2,5	3,35	1,75	12,80
t17	2,6	2,6	3,45	1,75	13,76
t18	2,7	2,7	3,55	1,75	14,77
t19	2,8	2,8	3,65	1,75	15,80
t20	3,1	3,1	3,85	2,25	24,24
t21	3,4	3,4	4	2,6	32,71

- **Macizo tipo "d"**



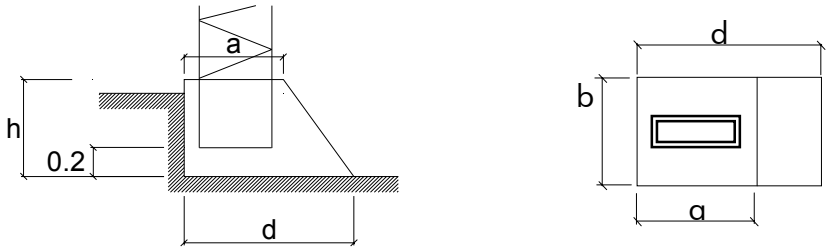
TIPO	a (m)	b (m)	h (m)	Volumen m³
d2	1	1	1.6	1,60
d3	1	1	1.75	1,75
d4	1	1.1	1.9	2,09
d5	1	1.2	2	2,40
d6	1	1.3	2.05	2,67
d7	1	1.35	2.1	2,84
d8	1.1	1.6	2.1	3,70
d9	1.1	1.8	2.1	4,16
d10	1.2	2	2.1	5,04
d11	1.3	2.2	2.1	6,01
d12	1.5	2.4	2.1	7,56
d13	1.5	2.5	2.1	7,88
d14	1.5	2.6	2.1	8,19
d15	1.8	2.4	2.1	9,07
d16	1.9	2.55	2.1	10,17
d17	2	2.55	2.1	10,71
d18	2.1	2.6	2.1	11,47
d19	2.15	2.6	2.1	11,74
d20	2.4	2.8	2.25	15,12
d21	2.65	3.00	2.6	20,67

- **Macizos para postes L y R**
  - **Macizos en desmonte**



Tipo de macizo Desmonte	Dimensiones			
	a (m)	b (m)	h (m)	Volumen m³
L – 10,6	1,40	1,30	2,05	3,73
L – 12,6	1,40	1,30	2,15	3,91
R – 10,5	1,75	1,65	2,35	6,79
R – 12,5	1,80	1,70	2,45	7,50
R – 14,7	1,85	1,75	2,55	8,26

- **Macizos en terraplén**



Tipo de macizo Terraplén	Dimensiones				
	a (m)	b (m)	d (m)	h (m)	Volumen m³
L – 10,6	1,75	1,65	2,40	2,05	7,02
L – 12,6	1,80	1,70	2,50	2,15	7,86
R – 10,5	2,20	2,10	3,20	2,35	13,32
R – 12,5	2,30	2,20	3,20	2,45	14,82
R – 14,7	2,40	2,30	3,30	2,55	16,72

- **Macizos de anclaje**

Tipo de Macizo	Dimensiones			
	a (m)	b (m)	h (m)	Volumen m³
An $_5$	1,20	1,20	1,00	1,44
An $_6$	1,30	1,30	1,20	2,03
An $_7$	1,30	1,30	1,50	2,54
An $_8$	1,30	2,50	1,70	5,53

2.4.4 CONJUNTOS DE MÉNSULA

- **En vía general**

Se utilizarán las siguientes:

Tipo de conjunto de ménsula	Condiciones de utilización
Ca1RTTG	En recta o en exterior de curva, con atirantado dentro
Ca10RTTG	En recta o en interior de curva, con atirantado fuera o cola de anclaje
Ca11RTTG	En recta o en interior de curva, con atirantado fuera o cola de anclaje con tirante a compresión

- **En pórticos rígidos**

Se utilizarán los siguientes:

Tipo de conjunto de ménsula	Condiciones de utilización
Ca1RTE-PRB Ca1RTE-PRC 1/2/3	En recta o en exterior de curva, con atirantado dentro
Ca10RTE-PRB Ca10RTE-PRC 1/2/3	En recta o en interior de curva, con atirantado fuera o cola de anclaje

- **Especiales de ménsula doble**

Se utilizarán los siguientes:

Tipo de conjunto de ménsula doble	Condiciones de utilización
Cn6	Para postes Z1 a Z4 /fija)
Cn6-1	Para postes Z5 a Z6 bis (fija)
Cn6-2	Para postes PG1 - 240/260/280 (fija)
Cn6a	Para postes Z1 a Z3 (giratoria)
Cn6a-1	Para postes PG1 - 240/260/280 (giratoria)

2.4.5 CONJUNTOS DE ATIRANTADO

- **En recta**

Se utilizarán los siguientes:

Tipo de conjunto de atirantado	Condiciones de utilización		
	Tipo de catenaria	Equipo sobre el que se monta	Forma de atirantado
Ca7	Vía general	Ménsula	Fuera
Ca7-PA	Vía general	Doble ménsula de aguja o de seccionamiento	Fuera con péndola aislada
Ca7-MD	Vía general	Ménsula doble	Dentro/fuera
Ca8	Vía general	Ménsula	Dentro
Ca8-PA	Vía general	Doble ménsula de aguja o de seccionamiento	Dentro con péndola aislada
Ce21-1	Vía secundaria	Ménsula	Fuera
Ce21-2	Vía secundaria	Ménsula	Dentro
Ce21R	Vía secundaria	Ménsula doble y pórticos rígidos tipos A y B	Dentro/fuera
Ce1		Pórtico funicular (1 brazo)	Dentro/fuera
Ce2		Pórtico funicular (2 brazos)	Dentro/fuera

- **En curva**

Se utilizarán los siguientes:

Tipo de conjunto de atirantado	Condiciones de utilización		
	Tipo de catenaria	Equipo sobre el que se monta	Forma de atirantado
Ca27-N13/N15	Vía general	Ménsula	Fuera
Ca27-E-N13/N15	Vía general	Ménsula de seccionamiento o de aguja aérea	Fuera
Ca27MDG-N13/N15	Vía general	Ménsula doble giratoria	Dentro/fuera
Ca28-N13/N15	Vía general	Ménsula	Dentro
Ca28-E-N13/N15	Vía general	Ménsula de seccionamiento o de aguja aérea	Dentro
Ce21C-N13/N15	Vía secundaria	Ménsula doble y pórticos rígidos ligeros	Dentro/fuera
Ce2c		Pórtico funicular (2 brazos)	Dentro/fuera

- **En cola de anclaje de catenaria de vía general**

Se utilizarán los siguientes:

Tipo de conjunto de atirantado	Condiciones de utilización		
	Equipo sobre el que se monta	Ubicación	Forma de atirantado
Ca7-PAT	Ménsula	En recta o en curva	Fuera con péndola aislada
Ca8-PAT	Ménsula	Cuando el poste de anclaje se monta al lado contrario de la alineación normal de los postes.	Dentro con péndola aislada

- **En recta en túnel**

Se utilizarán los siguientes:

Tipo de conjunto de atirantado	Condiciones de utilización	
	Tipo de catenaria	Forma de atirantado
Ca7-T	Vía general	Fuera a silleta
Ca8-T	Vía general	Dentro a bóveda

- **En curva en túnel**

Se utilizarán los siguientes:

Tipo de conjunto de atirantado	Condiciones de utilización	
	Tipo de catenaria	Forma de atirantado
Ca27T-N13/N15	Vía general	Fuera a silleta
Ca28T-N13/N15	Vía general	Dentro a bóveda

2.4.6 CONJUNTOS DE SUSPENSIÓN

- **De catenaria en recta**

Se utilizarán los siguientes:

Tipo de conjunto de suspensión	Condiciones de utilización		
	Tipo de sustentador o feeder	Tipo de catenaria	Equipo sobre el que se monta
Ca4-1M/1PRA	150/225/240/300	Compensada vía general	Ménsula y PRA
	72	Vía secundaria	
Ca4-1T	150/225/240/300	Vía general	Túnel y paso superior
	72	Vía secundaria	
Ca6 RT-1R	150/300	Compensada vía general	Ménsulas
	72	Vía secundaria	
Ca4-1RT-MDF/PRA-150/300	150/300	Compensada vía general	Ménsula doble y PRA
Ca4-1RT-T150/T300	150/300	Compensada vía general	Túnel y paso superior
Ca4-2M/2PRA	150/225/240/300	Compensada vía general	Ménsula y PRA
Ca4-2T	150/225/240/300	Compensada vía general	Túneles y pasos superiores

- **De catenaria en curva**

Se utilizarán los siguientes:

Tipo de conjunto de suspensión	Tipo de sustentador o feeder	Condiciones de utilización	
		Tipo de catenaria	Equipo sobre el que se monta
Ca2-1M/1PRA	150/225/240/300	Compensada de vía general	Ménsula y PRA
	72	Vía secundaria	
Ca2-1T	150/225/240/300	Vía general	Túnel y paso superior
	72	Vía secundaria	
Ca2-1RT-MDF/PRA-150/300	150/300	Compensada de vía general	Ménsula doble y PRA
Ca2-1RT-T150/300	150/300	Compensada de vía general	Túnel y paso superior
Ca6RT-1C	150/300	Compensada de vía general	Ménsulas
	72	Vía secundaria	
Ca9-1	72	Vía secundaria	Ménsula y PARA
Ca9-2	72	Vía secundaria	Ménsula y PRB
Ca9-3	72	Vía secundaria	Túnel y paso superior
Ca9RT-M/PRA-150	150	Compensada de vía general	PRA
Ca9RT-PRB-150	150	Compensada de vía general	PRB
Ca9RT-T150	150	Compensada de vía general	Túnel y paso superior
Ce3	72	Vía secundaria	Pórtico funicular
Ce5	150	Vía sin compensar	Pórtico funicular
Ce5RT150/300	150/300	Compensada de vía general	Pórtico funicular
Ce10		Vía sin compensar	Colas de anclaje

2.4.7 ESTRUCTURAS DE APOYO, AISLAMIENTO Y ANCLAJE

Serán las definidas en los Equipos, Conjuntos y Despiece de elementos indicados en el Libro de L.A.C tipo CA-160 vigente.

2.5 ALIMENTACIÓN Y RETORNO

2.5.1 ALIMENTACIÓN

La alimentación de corriente a las catenarias se realizará de la forma siguiente:

- **En estaciones con subestación**

Desde el pórtico de salida de la subestación se instalará un feeder, formado, como mínimo, por dos cables de Cu de 240 mm^2, para cada vía general de estación y se conectará a cada catenaria a través de un seccionador.

Para las catenarias de vía general de ambos trayectos se instalarán feederes formados bien por dos cables desnudos de Cu de 240 mm^2 o por dos cables de Cu de 300 mm^2, en función de las necesidades de energía precisas y se conectarán a las catenarias en los seccionamientos de lámina de aire de entrada y salida, a través de seccionadores.

El resto de catenarias de vías secundarias se alimentarán de las catenarias de vía general a través de seccionadores.

En zonas de vías secundarias donde se produce carga y descarga de material la alimentación se realizará a través de seccionadores de puesta a tierra.

- **En estaciones sin subestación**

Las catenarias de vía general de los trayectos a ambos lados de la estación son las que alimentarán las catenarias de la estación a través de seccionadores en los seccionamientos de lámina de aire.

El resto de catenarias de vías secundarias se alimentarán de las catenarias de vía general más próximas a través de seccionadores.

En zonas de vías secundarias donde se produce carga y descarga de material la alimentación se realizará a través de seccionadores con puesta a tierra.

- **En trayectos**

La alimentación de las catenarias de los trayectos se realizará a través de los feederes de las subestaciones.

2.5.2 CONEXIONES DE ALIMENTACIÓN

Las conexiones a utilizar para cada caso serán las indicadas a continuación.

- **Feeder de acompañamiento**

Cuando sea necesario feeder de acompañamiento se instalarán conexiones desde este al cable sustentador aproximadamente cada 300 m mediante

conjuntos diseñados en el presente libro. Si la característica de explotación de la catenaria así lo aconseja, se realizará los cálculos de consumo de potencia para establecer la optima distancia entre las conexiones.

- **En seccionamientos de compensación**

Se instalarán dos conexiones entre los sustentadores mediante conjuntos de conexión en la proximidad de los semiejes.

También se instalarán conexiones entre el sustentador de la catenaria a anclar y los hilos de contacto que se elevan mediante conjuntos de alimentación en la proximidad de los semiejes.

- **En agujas aéreas tangenciales**

a) Entre catenarias de vía general.

Se instalarán dos conexiones mediante conjuntos indicados en el Libro L.A.C. vigente.

Un conjunto conectará los dos cables sustentadores con uno de los dos hilos de contacto de cada catenaria. El otro conjunto conectará los dos cables sustentadores con el otro hilo de contacto de cada catenaria.

b) Entre catenaria de vía general y catenaria de vía secundaria.

Se instalará un conjunto de alimentación que conectará el hilo de contacto de la catenaria de vía secundaria con el sustentador y los dos hilos de contacto de la catenaria de vía general.

- **En agujas aéreas cruzadas**

a) Entre catenarias de vía general

Se realizarán dos conexiones mediante conjuntos de alimentación en la proximidad del equipo de elevación.

b) Entre catenaria de vía general y catenaria de vía secundaria.

Se realizará una conexión en la proximidad del equipo de elevación.

c) Entre catenarias de vía secundaria

Se realizará una conexión entre ambos hilos de contacto.

2.5.3 RETORNO

El retorno de la corriente de tracción se realizará a través de los carriles conectando al negativo de la subestación mediante la instalación de varios cables, de secciones normalizadas, 150, 185, 240, 300mm^2 siendo preferibles los más bajos por su mayor densidad de corriente, fácil manejo y conexionado.

Dependiendo de la potencia, número de grupos de la S/E, de que alimente a vía

única o doble y del tipo de catenaria existente, se utilizarán un número de cables aislados 0,6/1 KV en las cantidades indicadas a continuación para el caso de cables de 185 mm^2.

Para dar continuidad eléctrica a los carriles se utilizarán conexiones longitudinales y transversales.

	Tipo de vía	Vía Única	Vía Doble	
Tipo Catenaria	Potencia S/E	2 x 3000 ó 1 x 6000	2 x 3000 ó 1 x 6000	2 x 6000
CA-160	Conexión entre vías	6 x 185	6 x 185	6 x 185
	Conexión pozo negativo		6 x 185	12 x 185

- **Conexiones longitudinales**

  Se utilizarán las indicadas en el libro L.A.C. vigente.

- **Conexiones transversales**

  Se utilizarán las descritas en el libro L.A.C. vigente

La sección de los conductores de alimentación de retorno a la subestación será la misma que los feeders de acometida a la catenaria.

2.6 PROTECCIONES

- **CABLE DE TIERRA**

  Se utilizará cable de tierra tipo La-110 o bien L-110 para unir todos los postes de electrificación.

  Cada 3 km aproximadamente se realizará una bajada para toma de tierra.

- **TOMA DE TIERRA**

  Se realizará el correspondiente estudio geoeléctrico necesario para determinar la cantidad de picas necesarias incluso la necesidad de utilizar electrodos profundos, siendo el mínimo recomendado de 6 picas según se indica en el libro L.A.C. CA-160.

- **PROTECCIONES EN PASOS O ESTRUCTURAS SUPERIORES**

  Se instalarán viseras o vallas de protección en las estructuras situadas por encima de la catenaria y próximas a ella (pasos superiores, puentes, etc.) según recomienda la norma UNE-EN 50122-1.

- **DESCARGADORES DE ANTENAS (PARARRAYOS)**

  Se instalarán en la proximidad de los puntos fijos conectados por un lado a la catenaria y por el otro al cable de tierra y a tierra mediante las grapas de conexión indicadas en el libro L.A.C. CA-160.

- **SEÑALES**

  En caso necesario se utilizarán las siguientes señales:

  - Señal indicadora de alto a la tracción eléctrica.
  - Señal indicadora de seccionamiento de lámina de airea de la línea de contacto.
  - Señal indicadora de principio de zona neutra de línea de contacto.
  - Señal indicadora de fin de zona neutra de línea de contacto.
  - Señal indicadora de bajada de pantógrafos.
  - Señal indicadora de elevación de pantógrafos.
  - Señal indicadora de proximidad de zona neutra o de bajada de pantógrafos.
  - Señal indicadora de aviso de tensión en catenaria.
  - Señal de peligro de muerte.

- **PROTECCIONES DE SEGURIDAD EN POSTES "X", "Z" , "L" , "R".**

  Se instalarán protecciones de seguridad antiescalada así como las señales de advertencia de peligro necesarias en los postes situados en las estaciones y en zonas frecuentadas por personas o en aquellos postes que se evidencie un elevado riesgo de electrocución.

  A partir de la fecha de publicación de este libro, en todos los postes se instalará un punto fijo del tipo bola según las características indicadas en el presente libro.

- **CANTONES DE PROTECCIÓN**

  Se instalarán cantones de protección a la entrada y salida de las estaciones con dos seccionamientos de lámina de aire, para el establecimiento de las correspondientes zonas neutras, debiendo llevar dichos seccionamientos los seccionadores telemandados.

2.7 MATERIALES

Los materiales utilizados en las piezas para el montaje de la catenaria serán los indicados en cada uno de los planos descritos en el presente libro.

2.8 MONTAJE Y TOLERANCIAS

La forma de proceder para el montaje de los equipos y elementos que componen la Línea Aérea de Contacto, así como las tolerancias admitidas serán las que se definan en las diversas Normas editadas por ADIF a través de:

- NRE-LAC
- Instrucciones Técnicas
- Procedimientos operativos
- Pliegos de condiciones

3 CARACTERÍSTICAS DE LA CATENARIA TIPO CA-220

3.1 GENERALIDADES

A comienzos del año 1988 Renfe decidió modificar la Línea Aérea de Contacto CR-160 para adaptarla a velocidades de 220 km/h.

En principio sacó a concurso proyectos e instalaciones de transformación de la catenaria CR-160 en el tramo Villarrobledo - La Encina. De estos concursos salieron las catenarias Renfe transformadas para 200 km/h (CRT-200).

Paralelamente, la Dirección de Ingeniería de Instalaciones, en el año 1987, redactó el Proyecto Funcional de catenaria Renfe CR 200 con el objetivo de implantarla en nuevas electrificaciones y cuyo prototipo se instaló en la estación de Consolación (Ciudad Real).

Con fecha 20 de febrero de 1990, la Dirección General Adjunta de Ingeniería de Renfe homologó dicha catenaria para variantes de trazado y nuevas electrificaciones.

Posteriormente dicha catenaria se modificó para su implantación en la “Línea Madrid – Valencia. Duplicación de la vía Fuente La Higuera – Játiva” para 220 km/h pasando a denominarse CR-220. Dicha catenaria instaló en el denominado Corredor del Mediterráneo.

En la actualidad la denominación de la catenaria es CA-220, que corresponde al concepto de “Catenaria ADIF”, manteniendo todas las características técnicas de la anterior.

3.2 CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES

3.2.1 TIPO DE CORRIENTE Y TENSIÓN ELÉCTRICA DE ALIMENTACIÓN

La catenaria esta diseñada para ser alimentada en corriente continua.

Tensión	V
Nominal	3.000
Permanente máxima	3.600
No permanente máxima	3.900
Permanente mínima	2.000

Los valores de tensión de esta tabla son los definidos en la norma UNE-EN 50163.

3.2.2 VELOCIDAD DE DISEÑO

La catenaria está diseñada para un funcionamiento óptimo de los trenes hasta velocidades de 220 Km./h.

3.2.3 CONDICIONES AMBIENTALES NORMALES

La catenaria se ha proyectado para las condiciones ambientales de funcionamiento, que se indican a continuación. En caso contrario se deberán realizar las correcciones indicadas en el apartado 7.

- **Temperatura ambiental**

La limitación de las temperaturas ambientales máximas y mínimas tiene por objeto establecer la longitud máxima del cantón de compensación mecánica de la catenaria.

Temperatura ambiental	ºC
Mínima	- 15
Máxima	+ 45

- **Temperatura máxima de los conductores**

Al aumentar la temperatura, se reduce la tensión límite de fluencia de los conductores. Para evitar que dicha tensión descienda por debajo de un mínimo, entrando los conductores en régimen plástico, se limita la temperatura máxima que pueden alcanzar éstos a los siguientes valores:

Temperatura máxima en conductores	ºC
Sustentador	80
Hilos de contacto de cobre	80
Hilos de contacto cobre-plata	100

- **Viento**

La limitación en la velocidad del viento tiene por objeto establecer el vano máximo de la catenaria.

Condiciones de helada	Velocidad máxima (km/h)
Sin manguito de hielo	120
Con manguito de hielo de 9 mm espesor	72

La velocidad del viento influye en la deformación transversal de la catenaria, y en particular, en su flecha máxima horizontal. Si ésta es elevada, puede provocar problemas en la toma de corriente, al salirse el hilo del área de contacto con el pantógrafo.

En condiciones normales, se establece una limitación de las velocidades del viento compatibles con la longitud máxima del vano. Para velocidades superiores será necesario reducir dicho vano en función de los cálculos correspondientes.

3.3 CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

A continuación se indican las características geométricas y mecánicas, así como los criterios de aislamiento con los que se debe diseñar la catenaria, en el caso de condiciones normales de funcionamiento.

3.3.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y MECANICAS

- **Altura de los hilos de contacto**

Situación	Altura de los hilos de contacto (m)	Observaciones
Trayectos y estaciones	5,30 m	Valor nominal en obra nueva
Pasos superiores y túneles con gálibo reducido	4,90 m	Valor mínimo en transformaciones sobre vías en servicio
Altura mínima de diseño	4,90 m	

La altura de los hilos de contacto deberá ser lo mas constante posible a lo largo de la línea con el fin de mantener una buena toma de corriente a través del pantógrafo. En caso de existencia de túneles y / o pasos superiores con gálibo reducido, la transición de altura en los hilos de contacto se realizará con pendientes referidas al plano de la vía no superiores a las siguientes:

Zona de transición	Pendiente máxima hilos de contacto ($^0/_{00}$)
En el comienzo y en el final	0,5
En el medio	1

En el caso de que existan varios pasos superiores con gálibo reducido y próximos entre si, se mantendrá entre ellos la misma altura de los hilos, haciendo las transiciones solamente antes del primero y después del último.

- **Altura de la catenaria**

Situación	Altura nominal de catenaria (m)
Trayectos y estaciones	1,400
En seccionamientos, agujas aéreas, túneles, etc.	Variable

El paso de una altura de catenaria a otra se realizará intercalando las transiciones necesarias.

- **Altura del tubo estabilizador de atirantado**

Situación	Altura nominal (m)
En equipos de vía general	0,40
En equipos de cola de anclaje	Valor mínimo 0,25

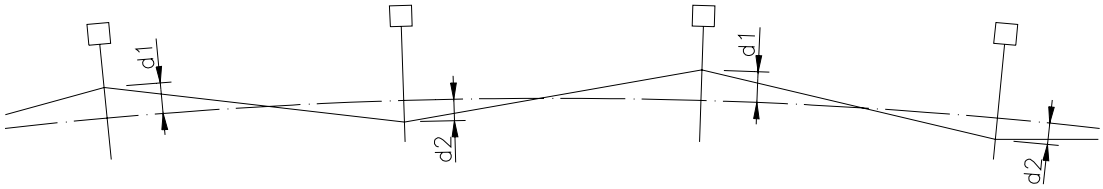
- **Descentramiento**

Situación	Lugar de medida	Descentramiento (cm)
Recta	En los apoyos	± 20 (Alternativamente a cada lado del eje de la vía)
Curva R<1.600 m	En los apoyos En el centro del vano	20 (Hacia el exterior de la curva) < 10 (Hacia el interior de la curva)

Para radios de curva ≥ 1.600 m el descentramiento se realiza de acuerdo a las siguientes tablas.

TABLA DESCENTRAMIENTOS EN CURVA EN FUNCIÓN DEL RADIO CON VANOS DE 60 m

Radio (m)	Descentramientos	
	d1(mm)	d2(mm)
1.900>R≥ 1.600	+200	+130
2.300>R≥ 1.900	+200	+100
2.700>R≥ 2.300	+200	+50
3.200>R≥ 2.700	+200	+0
5.000>R≥ 3.200	+200	-50
8.000>R≥ 5.000	+200	-100
12.000>R> 8.000	+200	-150
18.000>R> 12.000	+200	-180
∞>R> 18.000	+200	-200



NOTA:
DESCENTRAMIENTOS (+) HACIA EL EXTERIOR DE LA CURVA
DESCENTRAMIENTOS (−) HACIA EL INTERIOR DE LA CURVA

- **Vano**

Los vanos máximos a utilizar independientemente de la altura de la catenaria son los siguientes:

Situación	Radio curva (m)	Vano máximo (m)
Recta	□	60
Curva	R ≥ 1500 1500 > R ≥ 1260 1260 > R ≥ 1042 1042 > R ≥ 844 844 > R ≥ 667 667 > R ≥ 510 510 > R ≥ 375 375 > R ≥ 260 260 > R ≥ 167	60 55 50 45 40 35 30 25 20

Esta limitación es debida a la necesidad de mantener los valores del descentramiento dentro de los márgenes indicados en el apartado anterior.

- **Diferencia de longitud entre vanos consecutivos**

La diferencia máxima entre longitudes de dos vanos consecutivos será:

Diferencia de longitud	Valor (m)
Máxima	10
En agujas	5

Esta limitación tiene por objeto limitar el desequilibrio entre las tensiones mecánicas del sustentador e hilos de contacto a ambos lados del apoyo.

- **Cantón de compensación mecánica**

La longitud máxima (comprendida entre anclajes) del cantón será:

Situación	Longitud máxima (m)
Recta	1.200
Tramo con curvas	900

El tipo de anclaje y la ubicación de los puntos fijos a utilizar en función de la longitud del cantón de compensación mecánica, son los siguientes:

Longitud del Cantón (m)	Tipo de anclajes a cada lado	Ubicación Punto Fijo
600 < C ≤ 1200	Compensados	½ Cantón
C ≤ 600	1 Compensado(*) + 1 No compensado	-

(*) Se compensará la catenaria en el sentido de la circulación de los trenes

Se montarán latiguillos entre sustentador e hilos de contacto en el punto fijo cuando la diferencia de las tensiones mecánicas a ambos lados de dicho punto sea > del 5%.

- **Flecha de los hilos de contacto**

La flecha máxima que deberán adoptar los hilos de contacto en el centro del vano será:

Flecha	Valor (m)
Máxima	0,5 x L/1000

Siendo: L= Longitud del vano (m)

- **Gálibo de postes**

Situación del poste	Valor nominal (m)
En recta o en exterior de curva	1,90
En interior de curva de R>300 m	1,90
En interior de curva de R ≤ 300 m	2,10

En estaciones, el tipo de poste a colocar en entrevías se seleccionará de acuerdo con la siguiente tabla:

Distancia entre ejes de vías (m)	Tipo de postes
D ≥ 6,00	Cualquiera
6,00 > D ≥ 5,70	X y H
5,70>D≥5,20	Sólo H

La colocación de postes en andenes se realizará respetando el gálibo siguiente:

Gálibo mínimo al eje de la vía (m)	Observaciones
5	Siempre y cuando la anchura de andén lo permita

En puntos singulares la colocación de los postes se realizará de acuerdo a lo dispuesto en la correspondiente Instrucción Técnica de Gálibos.

- **Nº de vanos de los seccionamientos**

En el cuadro siguiente se indica el nº de vanos de los seccionamientos en función de su longitud:

Longitud de los vanos (m)	Nº de vanos del seccionamiento
≥ 50	3
< 50	4

Cuando los vanos son menores de 50 m se realizan los seccionamientos en 4 vanos, con el fin de conseguir suficiente longitud de solape de las catenarias.

En vía doble, donde existen dos seccionamientos enfrentados, el cruce de los cables de las colas se realizarán siempre en el sentido de la circulación de los trenes con el fin de que no coincidan dos conjuntos de atirantados dos conjuntos

de atirantados exteriores, uno frente a otro.

- **Agujas aéreas**

Los tipos de agujas aéreas a utilizar serán los siguientes:

Situación	Tipo de aguja aérea	Posición equipo de aguja
Vía general + vía desviada	Tangencial	P-90
Vía general + vía de escape	Tangencial	P-90
Entre vías secundarias	Cruzadas	P-50
En estaciones con explotación de cercanías puras.	Cruzadas	P-50

- **Equipos de compensación mecánica**

La tipología de equipos a utilizar para la compensación mecánica será la siguiente:

Situación	Tipo de equipo	Relación poleas
Cielo abierto y zonas con gálibo suficiente	Poleas y contrapesos	1/5
Zonas con gálibo reducido	Polipastos o tipo muelle	

La forma de realizar la compensación de las catenarias será la siguiente:

Tipo de catenaria	Tipo de compensación
De vía general	Independiente para el sustentador y para los hilos de contacto
De escapes(*)	
De vía secundaria	

(*) La catenaria de los escapes se montará independientemente de las vías generales.

- **Tensiones de regulación mecánica**

Las tensiones mecánicas a utilizar serán las siguientes vía general:

Elementos	Sección (mm^2)	Tense de montaje (N)	Razón de regulación	Tense real (N)	Nº de rodelas
Sustentador	Cu 185	24271,46	1:5	*	16 RT19 + 1 RT20
Hilo de contacto	HC 150	2 x 18387,47	1:5	*	25 RT19

Las tensiones mecánicas a utilizar serán las siguientes vía secundaria:

Elementos	Sección (mm^2)	Tense de montaje (N)	Razón de regulación	Tense real (N)	Nº de rodelas
Sustentador	Cu 185	24271,46	1:5	*	16 RT19 + 1 RT20
Hilo de contacto	HC 150	17651,97	1:5	*	12 RT19

* Tense real = (Peso total de las rodelas) + (Peso de las piezas auxiliares que

influyen en la compensación) x (la relación de transformación de las poleas)

- **Distancia entre catenarias en seccionamientos**

La distancia entre catenarias en seccionamientos será la siguiente:

Distancia	mm
Valor nominal	400

3.3.2 CRITERIOS DE AISLAMIENTO

Los criterios de aislamiento de la catenaria se indican en los apartados siguientes:

- **Distancia de aislamiento entre partes en tensión de la línea aérea de contacto y tierra o material rodante**

Para evitar la formación de arco eléctrico, los valores mínimos necesarios son los siguientes:

Distancia de aislamiento (mm)	
Estática	**Dinámica**
150	50

La distancia de aislamiento estática es la que debe considerarse suponiendo la catenaria en reposo y el vehículo parado.

La distancia de aislamiento dinámica es la que debe considerarse suponiendo la catenaria en movimiento (por paso del pantógrafo o viento) y el vehículo también en movimiento.

- **Distancia de aislamiento entre catenarias**

Para evitar la formación de arco eléctrico los valores mínimos necesarios según la ubicación de las catenarias son los siguientes:

Situación	Distancia de aislamiento (mm)
Entre catenarias de un seccionamiento de lámina de aire	400
Entre colas de anclaje o cruce de catenarias	300

- **Aisladores**

Todos los aisladores de la catenaria deberán cumplir las siguientes condiciones:

❑ Línea de fuga

La línea de fuga de los aisladores será la siguiente:

Línea de fuga	Valor (mm)
Mínima	300

❑ Niveles de aislamiento

Los niveles de aislamiento necesarios para los aisladores, serán los siguientes:

Nivel de aislamiento	Tensión mínima (kV)
Tensión soportada a impulsos tipo rayo en seco	90
Tensión soportada a frecuencia industrial bajo lluvia	35

3.4 DEFINICIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA

La composición de la catenaria dependerá del tipo de vía y de la circulación que soporta. A continuación se indican los distintos casos.

- **En vías generales, en escapes entre vías generales y en vías secundarias con andén y circulación importante**

Composición	Cantidad	Material	Sección (mm^2)
Cable sustentador (1)	1	Cu	185
Hilo de contacto (2)	2	CuETP/Cu-Ag 0,1	2x150
Péndolas equipotenciales	Variable	Cu	25

(1) La cola de anclaje del cable sustentador se realizará sin cable de acero

(2) La cola de anclaje de los dos hilos de contacto se realizará con cable de acero de 101,6 mm^2

El pendolado que se utiliza es del tipo por parejas.

- **En vías secundarias**

Composición	Cantidad	Material	Sección (mm^2)
Cable sustentador	1	Acero	72
Hilo de contacto (3)	1	CuETP/Cu-Ag 0,1	150
Péndolas	Variable	Cu varilla	19,6

(3) La cola de anclaje del hilo de contacto se realizará con cable de acero de 72 mm^2

El pendolado que se utiliza es del tipo equidistante.

3.4.1 FEEDER DE ACOMPAÑAMIENTO

En vía general se instala feeder de acompañamiento de la catenaria.

Composición	Cantidad	Material	Sección (mm^2)
Cable feeder	1	Cu	240

3.4.2 CONDUCTORES

- Sustentador de Cu de 185mm².
- Hilo de contacto de 150mm².
- Péndola de Cu en trenza cuadrada-redondeada 25mm².
- Feeder de acompañamiento Cu 1 x 240 mm².

3.4.3 POSTES

- **Postes de vía general**

Se utilizarán los siguientes:

Tipo	Condiciones de utilización
XR2	Equipo con una ménsula
XR3	Equipo con una ménsula, llevando feeder en estaciones con subestación
XR4	Equipo con doble ménsula y que no lleve seccionador
XR4E	Equipo con doble ménsula y que lleve seccionador. Equipo de anclaje
XR5	Equipo con triple ménsula
Z2	Equipo de anclaje
Z2A	Equipo de anclaje

En la tabla siguiente se indican las características de cada poste:

Poste	Altura (m)	Empotramiento LE (m)	Peso total (N)	Perfil UPN		
				h(mm)	b (mm)	e (mm)
XR2	8,90	1,16	299	120	55	7
XR3	8,90	1,16	343	140	60	7
XR4	8,90	1,16	433	160	65	7,5
XR4E	9,75	1,20	460	160	65	7,5
XR5	8,90	1,16	494	180	70	8
Z2	9,75	1	445	160	65	7,5
Z2A	10,25	1	461	160	65	7,5

- **Postes de estación**

  En las estaciones, siempre que sea necesario la instalación de pórticos rígidos se emplearán postes especiales denominados tipo “L” (ligeros) y tipo “R” (reforzados).

  Estos postes se utilizan indistintamente para dinteles tipos B y C. Las alturas y los empotramientos están definidos en el apartado MACIZOS, punto 3.4.4., del presente documento.

  Los postes tipo Z podrán seguir siendo empleados en otras aplicaciones no descritas en el párrafo anterior.

- **Postes de anclaje**

  Para anclajes en andenes se utilizarán los siguientes postes que no precisan tirantes de anclaje.

Tipo	Condiciones de utilización
XF	Para anclajes sin compensar de dos catenarias en doble vía
XGa	Para anclajes sin compensar de una catenaria

- **Postes especiales**

  Cuando no exista gálibo suficiente para utilizar postes XR o Z, se utilizarán los postes tipo PG1 o tipo PG2.

- **Postes para pórticos rígidos**

  Cuando sea necesaria la instalación de pórticos rígidos, se utilizarán postes tipo L o R especialmente diseñados para este fin.

3.4.4 MACIZOS

Se denomina así a la figura geométrica prismática realizada de hormigón en masa, que soporta las estructuras que forman la Línea Aérea de Contacto.

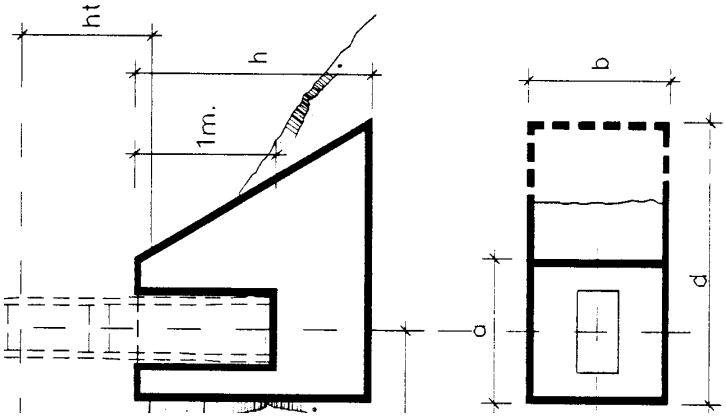
La definición más clásica de macizo indica que es un prisma realizado de hormigón que se utiliza para fijar un poste al terreno.

Los macizos se pueden clasificar en:

- según el terreno (**Desmonte,** cuando la plataforma de la vía está en terreno llano o en trinchera o **Terraplén**, cuando la plataforma está en terraplén)
- según la función (de **fundación**, como caso general y de **anclaje** como contrapeso de los anclajes de catenaria y de punto fijo)
- según su forma (Paralelepípedo, Trapezoidal)

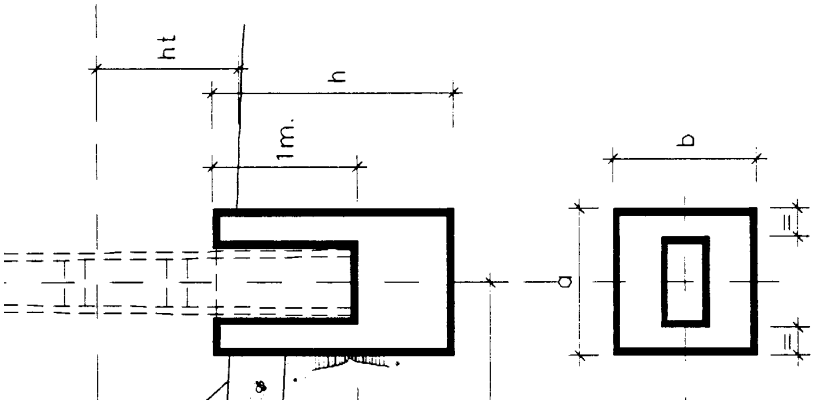
Los tipos de macizos que se utilizarán serán los indicados en las tablas siguientes:

- **Macizos para postes X, Z, PG1 y PG2**
  - **Macizos tipo "t"**



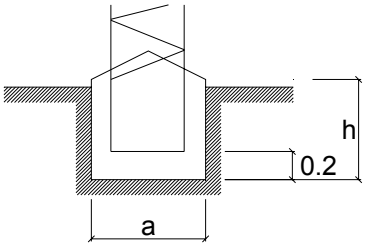
TIPO	a (m)	b (m)	d (m)	h (m)	Volumen m³
t1	0,9	0,9	1,75	1,6	1,90
t2	1	1	1,85	1,6	2,28
t3	1,1	1,1	1,95	1,6	2,68
t4	1,2	1,2	2,05	1,6	3,12
t5	1,3	1,3	2,15	1,6	3,59
t6	1,4	1,4	2,25	1,6	4,09
t7	1,5	1,5	2,35	1,6	4,62
t8	1,6	1,6	2,45	1,6	5,18
t9	1,7	1,7	2,55	1,6	5,78
t10	1,8	1,8	2,65	1,6	6,41
t11	1,9	1,9	2,75	1,6	7,07
t12	2	2	2,85	1,6	7,76
t13	2,1	2,1	2,95	1,6	8,48
t14	2,3	2,3	3,15	1,6	10,03
t15	2,4	2,4	3,25	1,75	11,86
t16	2,5	2,5	3,35	1,75	12,80
t17	2,6	2,6	3,45	1,75	13,76
t18	2,7	2,7	3,55	1,75	14,77
t19	2,8	2,8	3,65	1,75	15,80
t20	3,1	3,1	3,85	2,25	24,24
t21	3,4	3,4	4	2,6	32,71

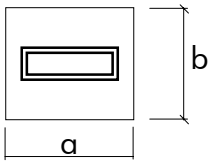
- **Macizos tipo "d"**



TIPO	a (m)	b (m)	h (m)	Volumen m³
d2	1	1	1.6	1.60
d3	1	1	1.75	1.75
d4	1	1.1	1.9	2,09
d5	1	1.2	2	2,40
d6	1	1.3	2.05	2.67
d7	1	1.35	2.1	2.84
d8	1.1	1.6	2.1	3.70
d9	1.1	1.8	2.1	4,16
d10	1.2	2	2.1	5,04
d11	1.3	2.2	2.1	6,01
d12	1.5	2.4	2.1	7,56
d13	1.5	2.5	2.1	7,88
d14	1.5	2.6	2.1	8,19
d15	1.8	2.4	2.1	9,07
d16	1.9	2.55	2.1	10,17
d17	2	2.55	2.1	10,71
d18	2.1	2.6	2.1	11,47
d19	2.15	2.6	2.1	11,74
d20	2.4	2.8	2.25	15,12
d21	2.65	3.00	2.6	20,67

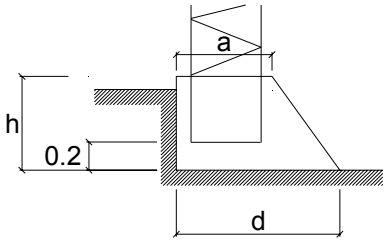
- **Macizos para postes L y R**
  - **Macizos en desmonte**

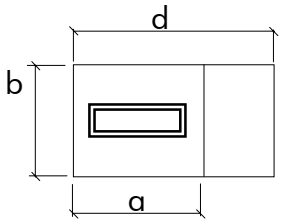




Tipo de Macizo Desmonte	Dimensiones			
	a (m)	b (m)	h (m)	Volumen m³
L – 10,6	1,40	1,30	2,05	3,73
L – 12,6	1,40	1,30	2,15	3,91
R – 10,5	1,75	1,65	2,35	6,79
R – 12,5	1,80	1,70	2,45	7,50
R – 14,7	1,85	1,75	2,55	8,26

  - **Macizos en terraplén**





Tipo de Macizo Terraplén	Dimensiones				
	a (m)	b (m)	d (m)	h (m)	Volumen m³
L – 10,6	1,75	1,65	2,40	2,05	7,02
L – 12,6	1,80	1,70	2,50	2,15	7,86
R – 10,5	2,20	2,10	3,20	2,35	13,32
R – 12,5	2,30	2,20	3,20	2,45	14,82
R – 14,7	2,40	2,30	3,30	2,55	16,72

- **Macizos de anclaje**

Tipo de Macizo	Dimensiones			
	a (m)	b (m)	h (m)	Volumen m³
An_5	1,20	1,20	1,00	1,44
An_6	1,30	1,30	1,20	2,03
An_7	1,30	1,30	1,50	2,54
An_8	1,30	2,50	1,70	5,53

3.4.5 CONJUNTOS EN LOS EQUIPOS DE MÉNSULA

- **Cuerpos de ménsula**

Se utilizarán los siguientes:

Tipo cuerpo de ménsula	Dimensiones tubo
CCM	Con T11A Tipo 1 ∅ 60,3 mm espesor 3,2
CCM	Con T11B Tipo 2 ∅ 60,3 mm espesor 8,0
CCM	Con T11C Tipo 3 ∅ 60,3 mm espesor 10,0
CCM	Con T11 D Tipo 4 ∅ 60,3 mm espesor 12,5

- **Tirantes de ménsula**

Se utilizarán los siguientes:

Tipo de tirante	Utilización
CTT	En caso de tirante a tracción

(1) El conjunto de tirante de ménsula a compresión es el mismo conjunto de cuerpo de ménsula.

- **Péndola soporte tubo estabilizador de atirantado**

Se utilizarán los siguientes:

Tipo de conjunto	Utilización
CPE	En equipos de vía general
CPER	En equipos de cola de anclaje

- **Uniones**

Se utilizarán las siguientes:

Tipo de conjunto	Utilización
CEC3	Unión tirante ménsula a tracción con tubo cuerpo de ménsula ∅ 60,3mm
CEC1	Unión tubo cuerpo de ménsula con péndola soporte tubo estabilizador de atirantado. ∅ 60,3mm Unión tubo cuerpo de ménsula con grapa de suspensión sustentador ∅ 60,3mm
CEC2	Unión péndola soporte tubo estabilizador de atirantado con tubo estabilizador de atirantado ∅ 42 mm
CGE	Conjunto de giro cardan de tubo estabilizador de atirantado
CGA	Conjunto de giro cardan de brazos de atirantado

- **Soporte de atirantado**

Se utilizarán los siguientes:

Tipo de conjunto	Dimensión tubo
CSA	Tipo A ∅ 42,4 mm espesor 2,6 mm
CSA	Tipo B ∅ 42,4 mm espesor 4,0 mm
CSA	Tipo C ∅ 42,4 mm espesor 7,1 mm
CSA	Tipo C ∅ 42,4 mm espesor 8,8 mm

- **Suspensión del cable sustentador**

Se utilizará el siguiente:

Tipo de conjunto	Utilización
CGS	En vía general y por cola de anclaje

3.4.6 BRAZOS DE ATIRANTADO

- **En recta**

Se utilizarán los siguientes:

Tipo de brazo de atirantado	Equipo sobre el que se monta
B150	Ménsula equipo de VG 1000mm
B151	Ménsula equipo de VG 900mm
B152	Ménsula equipo de VG 1150mm

- **En curva**

Se utilizarán los siguientes:

Tipo de brazo de atirantado	Equipo sobre el que se monta
B160	Ménsula equipo de VG 1000mm
B161	Ménsula equipo de VG 900mm
B162	Ménsula equipo de VG 1150mm

- **En seccionamiento en recta y curva**

Se utilizarán los siguientes:

Tipo de conjunto de atirantado	Equipo sobre el que se monta
B170	Ménsula de seccionamiento de compensación 1450mm
B171	Ménsula de eje de seccionamiento 1300mm
B172	Ménsula de seccionamiento de lámina de aire 140mm

- **En aguja aérea tangencial**

Se utilizarán los siguientes:

Tipo de conjunto de atirantado	Equipos sobre el que se monta
B180	Ménsula en P-90 de aguja aérea tangencial

3.5 ALIMENTACIÓN Y RETORNO

3.5.1 ALIMENTACIÓN

La alimentación de corriente a las catenarias se realizará de la forma siguiente:

- **En estaciones con subestación**

Desde el pórtico de salida de la subestación se instalará un feeder, formado, al menos, por dos cables de Cu de 240 mm^2, para cada vía general de estación y se conectará cada catenaria a través de un seccionador.

Para las catenarias de vía general de ambos trayectos se instalarán feederes formados bien por tres cables de Cu de 240 mm^2 o por dos cables de Cu de 300 mm^2, en función de las necesidades de energía precisas y se conectarán a las catenarias en los seccionamientos de lámina de aire de entrada y salida, a través de seccionadores.

El resto de catenarias de vías secundarias se alimentarán de las catenarias de vía general a través de seccionadores.

En zonas de vías secundarias donde se produce carga y descarga de material la alimentación se realizará a través de seccionadores de puesta a tierra.

- **En estaciones sin subestación**

Las catenarias de vía general de los trayectos a ambos lados de la estación son las que alimentarán las catenarias de la estación a través de seccionadores en los seccionamientos de lámina de aire.

El resto de catenarias de vías secundarias se alimentarán de las catenarias de vía general más próximas a través de seccionadores.

En zonas de vías secundarias donde se produce carga y descarga de material la alimentación se realizará a través de seccionadores con puesta a tierra.

- **En trayectos**

La alimentación de las catenarias de los trayectos se realizará a través de los feederes de las subestaciones.

3.5.2 CONEXIONES DE ALIMENTACIÓN

Las conexiones a utilizar para cada caso serán las indicadas a continuación.

- **De feeder de acompañamiento a sustentador**

Cuando sea necesario feeder de acompañamiento se instalarán conexiones desde este al cable sustentador aproximadamente cada 300 m mediante conjuntos diseñados en el presente libro. Si la característica de explotación de la catenaria así lo aconseja, se realizará los cálculos de consumo de potencia para establecer la optima distancia entre las conexiones.

- **En seccionamientos de compensación**

Se instalarán las conexiones entre el feeder de acompañamiento, los sustentadores y los hilos de contacto mediante los conjuntos especificados en el presente libro, montándolos en la proximidad de los semiejes.

- **En agujas aéreas tangenciales**

Entre catenarias de vía general. Se instalarán dos conexiones mediante los conjuntos de alimentación, según se indica en el presente libro.

Uno de los conjuntos conectará los dos cables sustentadores con uno de los dos hilos de contacto de cada catenaria. El otro conectará los dos cables sustentadores con el otro hilo de contacto de cada catenaria.

3.5.3 RETORNO

El retorno de la corriente de tracción se realizará a través de los carriles conectando al negativo de la subestación mediante la instalación de varios cables, de secciones normalizadas, 150, 185, 240, 300mm^2 siendo preferibles los más bajos por su mayor densidad de corriente, fácil manejo y conexionado.

Dependiendo de la potencia, número de grupos de la S/E, de que alimente a vía única o doble y del tipo de catenaria existente, se utilizarán un número de cables aislados 0,6/1 KV en las cantidades indicadas a continuación para el caso de cables de 185 mm^2.

Para dar continuidad eléctrica a los carriles se utilizarán conexiones longitudinales y transversales.

	Vía única 2 x 3000 ó 1 x 6000		Vía doble 2 x 3000 1 x 6000	Vía doble 2 x 6000
CA-220	Conexión entre vías	6 x 185	6 x 185	6 x 185
	Conexión vía a pozo		6 x 185	12 x 185

- **Conexiones longitudinales**

  Se utilizarán del tipo indicado en el libro LAC en las uniones de los carriles no soldadas.

- **Conexiones transversales**

  Se utilizarán del tipo indicado en el libro LAC, bien en soldadura aluminotérmica o bien con casquillos.

  Las conexiones de 0,70 m se utilizarán en aparatos de vía.

  Las conexiones de 2,40 m se utilizarán en entrevías.

  Las conexiones de 2,80 m se utilizarán en aparatos de vía y aparatos de dilatación.

3.6 PROTECCIONES

3.6.1 CABLE DE TIERRA

Se utilizará cable de tierra tipo LA110 para unir todos los postes de electrificación.

Cada 3 km aproximadamente se realizará una bajada para toma de tierra.

3.6.2 TOMA DE TIERRA

Se realizará el correspondiente estudio geoeléctrico necesario para determinar la cantidad de picas necesarias incluso la necesidad de utilizar electrodos profundos, siendo el mínimo recomendado de 6 picas según se indica en el libro L.A.C.

3.6.3 PROTECCIONES EN PASOS O ESTRUCTURAS SUPERIORES

Se instalarán viseras o vallas de protección en las estructuras situadas por encima de la catenaria y próximas a ella (pasos superiores, puentes, etc.) según recomienda la norma UNE-EN 50122-1.

3.6.4 DESCARGADORES DE ANTENA (PARARRAYOS)

Se instalarán en la proximidad de los puntos fijos conectados por un lado a la catenaria y por el otro al cable de tierra y a tierra.

3.6.5 SEÑALES

Se utilizarán las siguientes señales:

- Señal indicadora de alto a la tracción eléctrica.
- Señal indicadora de seccionamiento de lámina de airea de la línea de contacto.
- Señal indicadora de principio de zona neutra de línea de contacto.
- Señal indicadora de fin de zona neutra de línea de contacto.
- Señal indicadora de bajada de pantógrafos.
- Señal indicadora de elevación de pantógrafos.
- Señal indicadora de proximidad de zona neutra o de bajada de pantógrafos.
- Señal indicadora de aviso de tensión en catenaria.
- Señal de peligro de muerte.

3.6.6 PROTECCIONES DE SEGURIDAD EN POSTES “X”, “Z” , “L” , “R”.

Se instalarán sistemas antiescalada en los postes situados en las estaciones y en zonas frecuentadas.

3.6.7 ARMADURAS DE PROTECCIÓN DE CONTRAPESOS

Se utilizarán rejillas de protección para los equipos de contrapesos situados en las zonas de andenes de las estaciones y apeaderos.

3.6.8 CANTONES DE PROTECCIÓN

Se instalarán cantones de protección a la entrada y salida de las estaciones con dos seccionamientos de lámina de aire debiendo llevar dichos seccionamientos seccionadores telemandados.

3.7 MATERIALES

Los materiales utilizados en las piezas para el montaje de la catenaria serán los indicados en cada uno de los planos descritos en el presente libro.

3.8 MONTAJE Y TOLERANCIAS

La forma de proceder para el montaje de los equipos y elementos que componen la Línea Aérea de Contacto, así como las tolerancias admitidas serán las que se definan en las diversas Normas editadas por ADIF a través de :

- NRE-LAC
- Instrucciones Técnicas
- Procedimientos operativos
- Pliegos de condiciones

4 CÁLCULOS Y FÓRMULAS

4.1 CARACTERÍSTICAS DE METALES UTILIZADAS PARA CONDUCTORES

Materiales	Densidad	Coeficiente de dilatación térmica para 1ºC	Resistividad* a 20ºC	Coeficiente de temperatura
Unidades	(gr/cm3)	µm/m·ºC	Ω·m	1/K
COBRES (hilo de contacto)				
Cobre ETP	8,89	17,00	1,77E-08	3,81E-03
Cobre Ag0.1	8,89	17,00	1,77E-08	3,81E-03
CobreMg0.2	8,89	17,00	2,24E-08	1,85E-03
CobreMg0.5	8,89	17,00	2,78E-08	1,85E-03
CobreSn0.2	8,92	17,00	2,40E-08	3,65E-03
CuAl10Fe2	7,65	16,20	1,33E-07	

Materiales	Densidad	Coeficiente de dilatación térmica para 1ºC	Resistividad* a 20ºC	Coeficiente de temperatura
Unidades	(gr/cm3)	µm/m·ºC	Ω·m	1/K
ACEROS (valores típicos)				
Acero carril (0.6<%C<0.8, 0.6<%Mn<0.9, %P<0.04, %S<0.04)	7,85	12	1,80E-07	
Acero carril Cr (0.6<%C<0.8, 0.6<%Mn<0.9, %P<0.04, %S<0.04, %Cr<0.6)	7,85	12	2,19E-07	
Aceros inoxidables X5CrNi18-10	8	17,2	7,20E-07	
Acero inoxidable X12CrNi23-21	8	15,9	7,80E-07	

*propiedades función del proceso de fabricación y de la composición exacta

4.2 RESISTENCIA DEL CIRCUITO DE TRACCIÓN

4.2.1 RESISTENCIA DE LA CATENARIA

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

l = suponiendo que tomamos 1 km de longitud

S =sección total de la catenaria incluyendo feeder si existe

$$\rho_{cobre} = 0{,}0178\Omega \frac{mm^2}{m}$$

$$R_{cat} = \frac{17,8}{S} \Omega / km$$

4.2.2 RESISTENCIA DEL CARRIL

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Sabiendo que el peso específico del acero vale

p.e. = $\frac{\rho}{S \times l}$

siendo:

l = longitud del conductor

S= sección del carril

ρ= peso del carril por unidad de longitud

ρ_{acero} =0,190 Ω mm^2/m

$$R_{carril} = \frac{0,19 \times 7,85}{2p}$$

En el caso de que los carriles de las dos vías estén conectados, la resistencia valdrá:

$$R_{carril} = \frac{0,19 \times 7,85}{4p}$$

4.2.3 RESISTENCIA ELÉCTRICA TOTAL

Rt= Rcat + Rcarril

4.3 CÁLCULOS A TENER EN CUENTA POR CONDICIONES AMBIENTALES

Tanto en el diseño como en el cálculo, deberán tenerse en cuenta las condiciones ambientales más exigentes según la zona de estudio.

4.3.1 TEMPERATURA

Se deberán tener en cuenta los valores máximo y mínimo de la temperatura ambiental de la zona al objeto de determinar:

- La longitud máxima del cantón de compensación mecánica.

- Las secciones conductoras del sistema.

- Determinación de la longitud máxima del cantón de compensación mecánica

La dilatación máxima de los hilos de contacto de un semicantón de compensación mecánica a partir de la temperatura media será:

$$D_1 = 0{,}5\ L\ \alpha\ (t_{máx} - t_{med})$$

La contracción máxima de los hilos de contacto de un semicantón de compensación mecánica a partir de la temperatura media será:

$$D_2 = 0{,}5\ L\ \alpha\ (t_{med} - t_{min})$$

Siendo:

L = Longitud del cantón de compensación mecánica, en m.

α = Coeficiente de dilatación térmica del hilo de contacto (17×10^{-6} ºC^{-1}).

t_{min} =Temperatura mínima ambiental, en ºC.

$t_{máx}$ = Temperatura máxima de los conductores, en ºC.

t_{med} = Temperatura media ambiental, en ºC.

En el caso de que la relación entre los diámetros de las poleas de los equipos de compensación mecánica sea de 1:5, los equipos de contrapesos recorrerán cinco veces la suma de la dilatación máxima y de la contracción máxima de los conductores:

$$5\ (D_1 + D_2)$$

Este valor deberá ser menor que la longitud del tubo guía de H m sobre el que se desplazan los contrapesos. Por tanto:

$$5\ (D_1 + D_2) < H\ m$$

D_1= Dilatación máxima; D_2= Contracción máxima

A partir de esta ecuación se determinará la longitud máxima del cantón de compensación mecánica (L) para las temperaturas extremas de la zona.

En el caso de utilizar poleas de relación 1:3 habrá que modificar las fórmulas en dicho sentido.

- Determinación de las secciones conductoras del sistema

Cuando la temperatura máxima ambiente sea superior a 45ºC, se deberá determinar la sección conductora del sistema, de tal forma que la temperatura máxima en los conductores no supere los 80ºC, teniendo en cuenta la radiación

solar, el efecto Joule y la energía disipada por convección.

La determinación de la sección conductora del sistema en estos casos se aconseja estudiarla mediante programas de simulación del comportamiento eléctrico en el tramo considerado.

4.3.2 VIENTO

Se deberá tener en cuenta el valor máximo de la velocidad del viento en la zona al objeto de determinar la longitud máxima del vano.

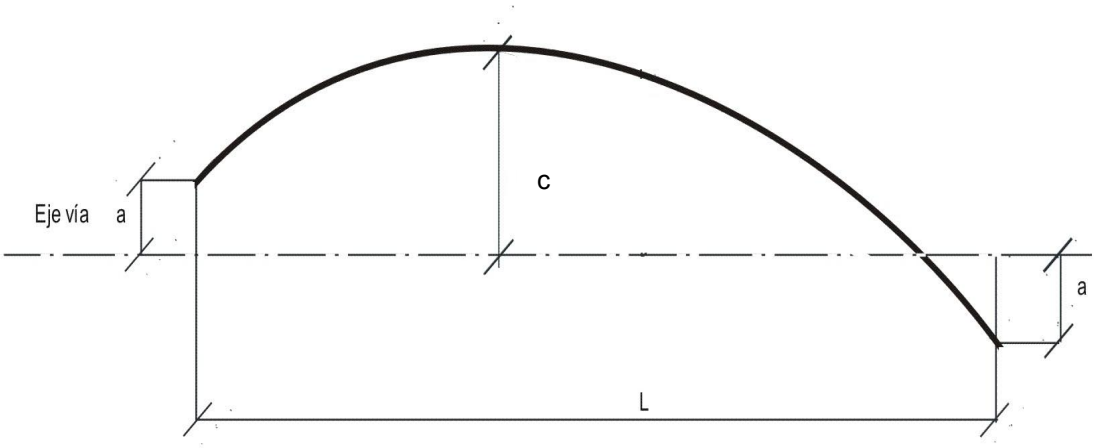
- **Determinación del vano máximo por viento**

Para determinar el vano máximo por efecto de viento habrá que cumplir con lo indicado en la Ficha UIC 794-10 R en la referente al descentramiento máximo admisible de los hilos de contacto bajo los efectos del viento transversal.

Según dicha Ficha UIC:

$c \leq 400$ mm

Vano en recta con descentramiento



$$c = \frac{a^2}{4 \times \frac{V \times L^2}{8 \times T_{HC}}} + \frac{F_w \times L^2}{8 \times T_{HC}}$$

Siendo:

c = descentramiento máximo perpendicular a la vía

a = descentramiento en los apoyos

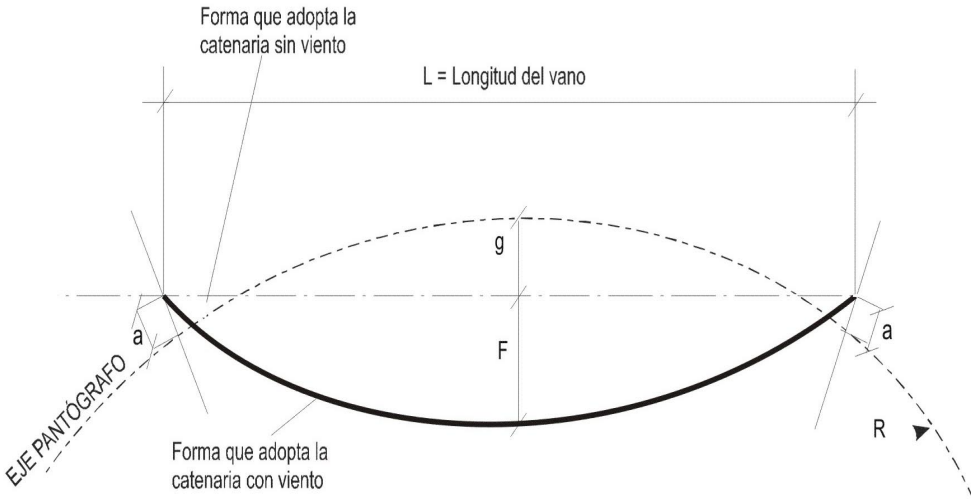
F_w = fuerza del viento por unidad de longitud (N/m)

L = longitud del vano

T_{HC} = tensión mecánica del hilo de contacto

A partir de los valores del viento, la tensión de los hilos de contacto, los descentramientos en apoyo y el descentramiento máximo admisible, se determinará el valor del vano máximo.

Vano en curva con descentramiento



La longitud máxima del vano en este caso viene dada por:

$$L = \sqrt{\frac{8 \times R \times T_{HC} \times (c + a)}{(F_w \times R) + T_{HC}}}$$

Siendo:

L = longitud del vano

R= radio de la curva

T_{HC} = tensión mecánica hilos de contacto

c = descentramiento máximo admisible

a = descentramiento en los apoyos

F_w = fuerza del viento por unidad de longitud (N/m

- **Determinación de la fuerza del viento**

La fuerza del viento por unidad de longitud sobre los conductores de la catenaria se determina a partir de la ecuación:

$$F_w = 0.625 \times V_r^{\,2} \times C_w \times d$$

Siendo:

F_w = fuerza sobre el conductor debida al viento por unidad de longitud (N/m)

V_r = velocidad de referencia del viento (m/s)

C_w = coeficiente de resistencia aerodinámica

d = diámetro del conductor (m)

Los valores a utilizar para cada término de la fórmula son los siguientes:

- Vr Velocidad de referencia

Como velocidad de referencia, se toma la máxima anual, con período de retorno de 50 años, de las velocidades medias del viento en períodos de 10 min, medidas a 10 m sobre el terreno.

Los valores a considerar para terrenos despejados aparecen en el mapa incluido en el Anexo nº 1

La determinación del valor de la velocidad de referencia a una altura h se realiza mediante la expresión:

$$V_{rh} = V_{r10}\left(\frac{\mathrm{h}}{10}\right)^{\alpha}$$

Siendo:

V_{r10} = velocidad del viento a 10 m de altura en m/s.

V_{rh} = velocidad del viento en m/s a la altura h en m.

α = parámetro de rugosidad que depende de la categoría del terreno.

Los valores de α a considerar son los siguientes:

α	Tipología del terreno
0,28	Centros urbanos
0,20	Distritos urbanos y zonas de bosque
0,16	Terrenos despejados
0,12	Terrenos llanos y de costa

- C_w Coeficiente de resistencia aerodinámica

Los valores a considerar aparecen en la siguiente tabla:

Tipo de conductor	Diámetro (mm)	C_w
Hilo de contacto		
107 mm^2	12,4	1,2
120 mm^2	13,2	1,1
150 mm^2	14,8	1,1
Sustentador		
70 mm^2	10,5	1,2
95 mm^2	12,5	1,2
120 mm^2	14,0	1,1
150 mm^2	16,1	1,0
185 mm^2	19,0	1,0

En el caso de dos hilos de contacto paralelos el valor de C_{wd} se obtiene de la siguiente tabla:

$a \leq 6 \times e$	$C_{wd} = 1,6 \times C_w$
$a > 6 \times e$	$C_{wd} = 2,0 \times C_w$

Siendo:

a = distancia entre ejes de los hilos de contacto paralelos (m)

e = diámetro de los hilos de contacto (m)

C_{wd} = coeficiente de resistencia aerodinámica de los dos hilos de contacto

C_w = coeficiente de resistencia aerodinámica de un hilo de contacto

4.4 DIMENSIONAMIENTO ELÉCTRICO

Se deberá realizar un dimensionamiento eléctrico de la línea en el caso de ampliaciones de potencia o de electrificaciones nuevas, en las que haya que determinar la potencia a instalar en las subestaciones y la sección de los conductores de la catenaria.

- **Datos necesarios para realizar el dimensionamiento eléctrico**

❑ Trazado de la línea (nº de vías, perfil longitudinal, radios y longitudes de curvas, velocidades de circulación admisibles, etc.).

❑ Gráfico de trenes de la línea y previsiones de demanda a largo plazo.

❑ Características del material motor y de los trenes susceptibles de circular por dicha línea.

❑ Características eléctricas del circuito de tracción (catenaria, feeder y retorno).

❑ Ubicación, potencia y curva de carga de las subestaciones.

❑ Caídas de tensión permitidas.

- **Medios para realizar el dimensionamiento eléctrico**

El dimensionamiento eléctrico se deberá realizar mediante un programa de simulación.

- **Resultados del programa de simulación**

Aportará los siguientes resultados:

❑ Cinemáticos
- Posición de cada tren en cada instante de tiempo
- Velocidad de cada tren en cada instante de tiempo
- Aceleración de cada tren en cada instante de tiempo

❑ Eléctricos
- En trenes
  - ❑ Intensidad instantánea
  - ❑ Potencia instantánea
  - ❑ Tensión pantógrafo-carril
- En Subestaciones
  - ❑ Intensidad instantánea por feeder
  - ❑ Tensión de alimentación por feeder en el punto de conexión con la catenaria
  - ❑ Tensión en barras ómnibus del grupo
  - ❑ Potencia instantánea del grupo
  - ❑ Energía consumida
  - ❑ Valor máximo de la potencia media cuadrática en periodo de 15 minutos por subestación

El dimensionamiento se realizará para condiciones normales de funcionamiento y para condiciones degradadas.

El dimensionamiento eléctrico determinará para cada hipótesis de partida en cuanto a ubicación de subestaciones y características eléctricas del circuito de tracción, la caída de tensión máxima en la línea y la intensidad absorbida.

En situaciones degradadas de alimentación (fallo de un grupo o de una subestación), se determinarán los intervalos mínimos de explotación posibles sin que se produzcan caídas de tensión no permitidas, ni intensidades máximas absorbidas superiores a las admisibles.

Con todos los resultados del dimensionamiento eléctrico se determinará:

- ❑ Nº de subestaciones necesarias
- ❑ Potencia necesaria de cada subestación
- ❑ Régimen de sobrecarga de las subestaciones
- ❑ Ubicación de cada subestación
- ❑ Sección conductora necesaria para la línea aérea de contacto
- ❑ Sección conductora de los feederes de alimentación
- ❑ Sección conductora de los cables de retorno.

- **Normativa y criterios para la valoración de resultados**

- ❑ EN 50163. Aplicaciones ferroviarias. Tensiones de alimentación
- ❑ UNE-EN 60146-1-1. Convertidores de semiconductores. Especificaciones comunes y convertidores conmutados por red. Parte 1-1, Especificaciones de los requisitos técnicos básicos.
- ❑ Dicha norma indica que para los grupos de las subestaciones de tracción pesada (Clase VI) y para cargas no cíclicas:
- ❑ El valor cuadrático medio de la potencia en períodos de 15 minutos deberá ser inferior a la potencia nominal del grupo
- ❑ Criterios utilizados por Adif.

Los grupos de las subestaciones de tracción deberán ser capaces de suministrar:

- Potencia nominal de forma continua
- 1,5 veces la potencia nominal durante 2 horas
- 3 veces la potencia nominal durante 5 minutos

- ❑ Intensidad máxima en conductores

La intensidad máxima no deberá superar la intensidad máxima admisible en régimen permanente y en este caso se deberá comprobar que los conductores no superen la temperatura máxima en el conductor (80ºC según MIE-RAT5, punto 6).

El cálculo térmico de los conductores se realizará mediante el balance energético siguiente:

$$E_j + E_s = E_a + E_c + E_R$$

Siendo:

E_j = Calentamiento por efecto Joule

E_s = Calentamiento por radiación solar

E_a = Energía absorbida por el conductor

E_c = Energía disipada por convección

E_R = Energía disipada por radiación

4.5 CÁLCULO DEL MOMENTO EN LA BASE DE LOS POSTES

Se deberá calcular el momento necesario en la base de los postes, para determinar el tipo de poste a utilizar, así como su macizo de cimentación correspondiente.

- Hipótesis de cargas

A) Esfuerzos verticales

- Catenaria, ménsulas y equipos.....peso propio + hielo
- Feeders, cable tierra y cable de telemando.....peso propio + hielo
- Cargas extraordinarias debidas al mantenimiento o montaje
- Otros cables o equipos.....peso propio + hielo
- Dinteles de pórticos rígido.....peso propio + hielo + sobrepeso por mantenimiento

B) Esfuerzos horizontales

- Catenaria viento + descentramiento en recta o efecto radial en curva
- Feeders, cable de tierra y cable de telemando viento + efecto radial en curva
- Postes.....viento
- Otros cables o equipos.....viento + esfuerzos radiales

- Determinación de esfuerzos

A) Esfuerzos verticales

- Peso propio

Se calculará el peso propio de cada elemento en función de sus dimensiones y de la densidad del material.

- Sobrecargas de hielo

Se utilizarán las siguientes sobrecargas:

Tipo de Zona	Altura sobre el nivel del mar (m)	Sobrecarga manguito de hielo (N/m)
A	H<500	-
B	500≤ H ≤ 1000	$1{,}8\sqrt{d}$
C	H>1000	$3{,}6\sqrt{d}$

Siendo:

d = diámetro del conductor (mm)

❑ Cargas extraordinarias debidas al mantenimiento o montaje

- Sustitución de conductores permaneciendo los existentes
- Cargas de personal durante el mantenimiento o montaje

B) Esfuerzos horizontales

❑ Por descentramiento: $\tau_1 = \frac{2 \times d \times n}{L/2} \times T$

Siendo:

τ_1 = esfuerzo horizontal (N)

d =descentramiento (m)

L =longitud del vano (m)

T = tensión mecánica del conductor (N)

n =nº de hilos

❑ Por efecto radial en curva: $\tau_2 = \frac{L}{R} \times T$

Siendo:

τ_2 = esfuerzo horizontal (N)

L =longitud del vano (m)

R = radio de la curva (m)

T =tensión mecánica del conductor (N)

❑ Por viento

Se calculará según lo indicado en el punto 3.2. determinando, por un lado el esfuerzo, para el sustentador, para la mitad de péndolas y por otro para el hilo o hilos de contacto y la otra mitad de péndolas.

En el caso de postes se utilizará lo indicado en el RLAT en su artículo 16.

- Determinación del momento en la base de los postes

Con los esfuerzos verticales máximos calculados para cada equipo y según su distancia al poste se determina el momento debido a los esfuerzos verticales.

Con los esfuerzos horizontales máximos calculados con las hipótesis más desfavorables y según la altura respecto a la base del poste se determinará el momento debido a los esfuerzos horizontales.

El momento total en la base del poste será $M_T = \Sigma M_V + \Sigma M_H$, en Nm.

Siendo:

ΣM_V = Momento debido a las cargas verticales, en Nm

ΣM_H = Momento debido a las cargas horizontales, en Nm

Una vez se obtenga el M_T, de la tabla de postes se elegirá el que soporte dicho momento.

Lo mismo ocurrirá con los macizos de cimentación en desmonte o en terraplén.

4.6 CÁLCULO DE DINTELES DE PÓRTICOS RÍGIDOS

Se deberán calcular los dinteles, los tirantes y los postes de los pórticos rígidos normalizados.

- **Hipótesis de cargas para pórtico rígido**

Las cargas a considerar serán las siguientes:

- Cargas verticales debidas al peso del dintel, tirantes y elementos de atirantado más la consideración de hielo.
- Cargas verticales debidas al peso de las catenarias, ménsulas y soportes, feeders y diversos elementos de la catenaria más la consideración de hielo.
- Cargas verticales debidas a otros elementos.
- Cargas transversales debidas al descentramiento o al efecto radial en curva de las catenarias, así como efectos de colas y de feeders.
- Cargas transversales debidas al efecto radial de otros cables y del viento.
- Cargas transversales debidas al viento sobre las catenarias.
- Cargas transversales debidas al viento sobre los postes
- Cargas longitudinales debido al viento longitudinal a la vía.
- Cargas extraordinarias debidas al mantenimiento o montaje.

- **Cálculo del dintel y tirantes**

Una vez determinadas las cargas actuantes sobre el dintel, se calculará, bien de forma clásica o mediante programas de ordenador, la estructura del dintel obteniéndose los siguientes resultados:

- ❑ Esfuerzos en las distintas barras que permitan comprobar el correcto estado y funcionamiento del pórtico.
- ❑ Esfuerzos sobre los tirantes.
- ❑ Posición de anclaje de los tirantes.
- ❑ Reacciones del dintel sobre los postes.
- ❑ Flechas de la estructura del dintel.

Con los resultados obtenidos se comprobará para cada barra que la suma de esfuerzos sea inferior a la carga del acero utilizado (S 275 JR UN EN-10025) dividida por el coeficiente de seguridad.

También se deberá comprobar que la flecha producida cumpla la limitación:

$$F \leq \frac{L}{500}$$

Siendo:

L =Longitud del dintel

El coeficiente de seguridad recomendado para estos cálculos será el de 1,75

- **Cálculo del poste necesario**

Se supone un poste determinado sometido a las acciones, tanto de los tirantes como del propio dintel, además del esfuerzo del viento transversal sobre dicho poste.

También se considerarán todos los esfuerzos debidos a feeders, cables de tierra y cables de telemando, en caso de llevarlos el poste.

Se comprobará que los esfuerzos sobre las distintas partes del poste no superen el valor de la carga del acero utilizado, dividido por el coeficiente de seguridad.

4.7 CÁLCULO DEL PENDOLADO

- **Datos en el cálculo del pendolado**

- ❑ Longitud del vano.- *m*
- ❑ Sección del sustentador.- mm2
- ❑ Peso lineal del sustentador.- kg/m
- ❑ Sección del hilo de contacto.- mm2
- ❑ Peso lineal de un hilo de contacto.- kg/m
- ❑ Número de hilos de contacto.-

- Tensión mecánica del sustentador.- kg
- Tensión mecánica de cada H.C..- kg
- Flecha inicial.- mm
- Tipo de pendolado.- Péndolas equidistantes, parejas ó arbitraria
- Tipo de péndola.- Cable de cobre flexible, varilla
- Peso del conjunto de péndola.- kg.

Para el cálculo de los pesos asociados a cada una de las péndolas que integran el vano, se considera que cada péndola soporta su propio peso, mas la mitad del peso de los hilos de contacto existentes a cada lado de la péndola.

- Descentramientos.- Objeto de cálculo, vano anterior y posterior
- Pendiente de la vía.- En ‰
- Fuerza ascensional del pantógrafo.- Corresponde al valor medio del empuje del pantógrafo expresado en kg. Un valor típico puede ser 15 kg
- Peso del brazo de atirantado.- kg
- Longitud del brazo de atirantado.- mm
- En el apoyo, el conjunto de atirantado, tendrá que soportar por tanto la mitad del peso que corresponde a la longitud de los cables entre dicho apoyo y cada una de las dos péndolas entre las que se encuentra.
- Radio de la curva.- m
- Peralte.- mm

Para el cálculo del pendolado de los seccionamientos y de las agujas aéreas se deberán tener en cuenta además las características constructivas de los mismos.

- **Datos de partida para la catenaria CA-160**

A continuación se muestran algunos valores de referencia, debido al gran numero de datos técnicos que se han de tener en cuenta para el calculo de las péndolas, en cada caso particular se efectuará un calculo especifico.

- Vía general:
  - Tensión mecánica de los conductores será la indicada en los puntos 2.1.3. y 2.2.3.
  - Pendolado equipotencial por parejas.
  - Distancia entre péndolas de una misma pareja 0,5 m.
- -Vía secundaria:
  - Tensión mecánica de los conductores será la indicada en los puntos 2.1.3. y 2.2.3.
  - El pendolado será de tipo Co7/Co8
  - La distribución será equidistante.

- **Pendolado por parejas:**

CA-160 TABLA DE REFERENCIA SOBRE DISTRIBUCIÓN DE PÉNDOLAS POR PAREJAS					
VÍAS GENERALES					
Vano m	Número de Péndolas	Nº de Parejas	Distancia de 1ª péndola al apoyo (m)	Distancia interior par	Distancia entre parejas
62,00	18	9	4,75	0,50	6,00
61,50	18	9	4,70	0,50	5,95
61,00	18	9	4,85	0,50	5,85
60,50	18	9	4,80	0,50	5,80
60,00	18	9	4,75	0,50	5,75
59,50	18	9	4,70	0,50	5,70
59,00	18	9	4,65	0,50	5,65
58,50	18	9	4,80	0,50	5,55
58,00	18	9	4,75	0,50	5,50
57,50	18	9	4,70	0,50	5,45
57,00	18	9	4,65	0,50	5,40
56,50	18	9	4,80	0,50	5,30
56,00	18	9	4,75	0,50	5,25
55,50	18	9	4,70	0,50	5,20
55,00	18	9	4,65	0,50	5,15
54,50	18	9	4,60	0,50	5,10
54,00	16	8	4,70	0,50	5,80
53,50	16	8	4,80	0,50	5,70
53,00	16	8	4,90	0,50	5,60
52,50	16	8	4,65	0,50	5,60
52,00	16	8	4,75	0,50	5,50
51,50	16	8	4,85	0,50	5,40
51,00	16	8	4,95	0,50	5,30
50,50	16	8	4,70	0,50	5,30
50,00	16	8	4,80	0,50	5,20
49,50	16	8	4,90	0,50	5,10
49,00	16	8	4,65	0,50	5,10
48,50	16	8	4,75	0,50	5,00
48,00	14	7	4,70	0,50	5,85
47,50	14	7	4,75	0,50	5,75
47,00	14	7	4,65	0,50	5,70
46,50	14	7	4,70	0,50	5,60
46,00	14	7	4,75	0,50	5,50
45,50	14	7	4,80	0,50	5,40
45,00	14	7	4,85	0,50	5,30
44,50	14	7	4,60	0,50	5,30
44,00	14	7	4,65	0,50	5,20
43,50	14	7	4,70	0,50	5,10
43,00	14	7	4,75	0,50	5,00
42,50	14	7	4,80	0,50	4,90
42,00	14	7	4,70	0,50	4,85
41,50	12	6	4,75	0,50	5,80
41,00	12	6	4,75	0,50	5,70
40,50	12	6	4,75	0,50	5,60

CA-160 TABLA DE REFERENCIA SOBRE DISTRIBUCIÓN DE PÉNDOLAS POR PAREJAS					
VÍAS GENERALES					
Vano m	Número de Péndolas	Nº de Parejas	Distancia de 1ª péndola al apoyo (m)	Distancia interior par	Distancia entre parejas
40,00	12	6	4,75	0,50	5,50
39,50	12	6	4,75	0,50	5,40
39,00	12	6	4,75	0,50	5,30
38,50	12	6	4,75	0,50	5,20
38,00	12	6	4,75	0,50	5,10
37,50	12	6	4,75	0,50	5,00
37,00	12	6	4,75	0,50	4,90
36,50	12	6	4,75	0,50	4,80
36,00	12	6	4,75	0,50	4,70
35,50	10	5	4,70	0,50	5,90
35,00	10	5	4,65	0,50	5,80
34,50	10	5	4,70	0,50	5,65
34,00	10	5	4,75	0,50	5,50
33,50	10	5	4,70	0,50	5,40
33,00	10	5	4,75	0,50	5,25
32,50	10	5	4,70	0,50	5,15
32,00	10	5	4,75	0,50	5,00
31,50	10	5	4,70	0,50	4,90
31,00	10	5	4,75	0,50	4,75
30,50	10	5	4,70	0,50	4,65
30,00	10	5	4,75	0,50	4,50
29,50	10	5	4,70	0,50	4,40
29,00	8	4	4,80	0,50	5,80
28,50	8	4	4,70	0,50	5,70
28,00	8	4	4,75	0,50	5,50
27,50	8	4	4,80	0,50	5,30
27,00	8	4	4,70	0,50	5,20
26,50	8	4	4,75	0,50	5,00
26,00	8	4	4,65	0,50	4,90
25,50	8	4	4,70	0,50	4,70
25,00	8	4	4,75	0,50	4,50
24,50	8	4	4,65	0,50	4,40
24,00	8	4	4,70	0,50	4,20
23,50	8	4	4,60	0,50	4,10
23,00	6	3	4,85	0,50	5,90
22,50	6	3	4,80	0,50	5,70
22,00	6	3	4,75	0,50	5,50
21,50	6	3	4,75	0,50	5,25
21,00	6	3	4,75	0,50	5,00
20,50	6	3	4,75	0,50	4,75
20,00	6	3	4,75	0,50	4,50
19,50	6	3	4,75	0,50	4,25
19,00	6	3	4,75	0,50	4,00

- **Pendolado equidistante:**

CA-160 TABLA DE REFERENCIA SOBRE DISTRIBUCIÓN DE PÉNDOLAS EQUIDISTANTE 2 HILOS DE CONTACTO			
VÍAS SECUNDARIAS			
VANO (m)	Nº PÉNDOLAS	DISTANCIA DE 1ª PÉNDOLA AL APOYO (m)	DISTANCIA ENTRE PÉNDOLAS (m)
60	18	4,50	3
57	18	3,00	3
56	16	5,50	3
51	16	3,00	3
50	14	5,50	3
45	14	3,00	3
44	12	5,50	3
39	12	3,00	3
38	10	5,50	3
33	10	3,00	3
32	8	5,50	3
27	8	3,00	3
26	6	5,50	3
21	6	3,00	3
20	4	5,50	3

CA-160 TABLA DE REFERENCIA SOBRE DISTRIBUCIÓN DE PÉNDOLAS EQUIDISTANTE 1 HILOS DE CONTACTO			
VÍAS SECUNDARIAS			
VANO (m)	Nº PÉNDOLAS	DISTANCIA DE 1ª PÉNDOLA AL APOYO (m)	DISTANCIA ENTRE PÉNDOLAS (m)
60	10	3,00	6
59	9	5,50	6
54	9	3,00	6
53	8	5,50	6
48	8	3,00	6
47	7	5,50	6
42	7	3,00	6
41	6	5,50	6
36	6	3,00	6
35	5	5,50	6
30	5	3,00	6
29	5	4,50	5
24	4	4,50	5
23	4	4,00	5
22	4	3,50	5
21	4	3,00	5
20	4	4,00	4

- **Resultados a obtener del cálculo del pendolado**

❑ Tensión horizontal sustentador

❑ Tensión vertical sustentador

❑ Altura del brazo

❑ Reacción del brazo:
- Rx
- Ry
- Rz

❑ Flecha del hilo de contacto en cada péndola

❑ Flecha del sustentador en cada péndola

❑ Longitud de cada péndola

- **Datos de partida para la catenaria CA-220**

A continuación se muestran algunos valores de referencia, debido al gran número de datos técnicos que se han de tener en cuenta para el cálculo de las péndolas, en cada caso particular se efectuará un cálculo específico.

❑ Vía general
- Tensión mecánica de los conductores será la indicada en los puntos 2.1.3. y 2.2.3.
- Pendolado equipotencial por parejas.
- Distancia entre péndolas de una misma pareja 0,5 m.

❑ Vía secundaria
- Tensión mecánica de los conductores será la indicada en los puntos 2.1.3. y 2.2.3.
- Pendolado tipo Co7/Co8.
- Distancia entre péndolas equidistante.

CA-220 TABLA DE REFERENCIA SOBRE DISTRIBUCIÓN DE PÉNDOLAS POR PAREJAS					
VÍAS GENERALES Y SECUNDARIAS					
Vano (m)	Número de Péndolas	Nº de parejas	Distancia de 1ª Péndola al apoyo (m)	Distancia Interior par	Distancia entre parejas
62,00	16	8	5,20	0,50	6,80
61,50	16	8	5,30	0,50	6,70
61,00	16	8	5,40	0,50	6,60
60,50	16	8	5,15	0,50	6,60
60,00	16	8	5,25	0,50	6,50
59,50	16	8	5,35	0,50	6,40
59,00	16	8	5,10	0,50	6,40
58,50	16	8	5,20	0,50	6,30
58,00	16	8	5,30	0,50	6,20
57,50	16	8	5,40	0,50	6,10
57,00	16	8	5,15	0,50	6,10
56,50	16	8	5,25	0,50	6,00
56,00	16	8	5,00	0,50	6,00

CA-220 TABLA DE REFERENCIA SOBRE DISTRIBUCIÓN DE PÉNDOLAS POR PAREJAS					
VÍAS GENERALES Y SECUNDARIAS					
Vano (m)	Número de Péndolas	Nº de parejas	Distancia de 1ª Péndola al apoyo (m)	Distancia Interior par	Distancia entre parejas
55,50	16	8	5,10	0,50	5,90
55,00	16	8	5,20	0,50	5,80
54,50	16	8	5,30	0,50	5,70
54,00	14	7	5,15	0,50	6,70
53,50	14	7	5,20	0,50	6,60
53,00	14	7	5,25	0,50	6,50
52,50	14	7	5,30	0,50	6,40
52,00	14	7	5,35	0,50	6,30
51,50	14	7	5,25	0,50	6,25
51,00	14	7	5,15	0,50	6,20
50,50	14	7	5,20	0,50	6,10
50,00	14	7	5,25	0,50	6,00
49,50	14	7	5,30	0,50	5,90
49,00	14	7	5,20	0,50	5,85
48,50	14	7	5,25	0,50	5,75
48,00	14	7	5,15	0,50	5,70
47,50	14	7	5,20	0,50	5,60
47,00	12	6	5,25	0,50	6,70
46,50	12	6	5,25	0,50	6,60
46,00	12	6	5,25	0,50	6,50
45,50	12	6	5,25	0,50	6,40
45,00	12	6	5,25	0,50	6,30
44,50	12	6	5,25	0,50	6,20
44,00	12	6	5,25	0,50	6,10
43,50	12	6	5,25	0,50	6,00
43,00	12	6	5,25	0,50	5,90
42,50	12	6	5,25	0,50	5,80
42,00	12	6	5,25	0,50	5,70
41,50	12	6	5,25	0,50	5,60
41,00	12	6	5,25	0,50	5,50
40,50	12	6	5,25	0,50	5,40
40,00	12	6	5,25	0,50	5,30
39,50	10	5	5,30	0,50	6,60
39,00	10	5	5,25	0,50	6,50
38,50	10	5	5,20	0,50	6,40
38,00	10	5	5,15	0,50	6,30
37,50	10	5	5,10	0,50	6,20
37,00	10	5	5,25	0,50	6,00
36,50	10	5	5,20	0,50	5,90
36,00	10	5	5,15	0,50	5,80
35,50	10	5	5,10	0,50	5,70
35,00	10	5	5,25	0,50	5,50
34,50	10	5	5,20	0,50	5,40
34,00	10	5	5,15	0,50	5,30
33,50	10	5	5,10	0,50	5,20
33,00	10	5	5,25	0,50	5,00
32,50	8	4	5,20	0,50	6,70

CA-220 TABLA DE REFERENCIA SOBRE DISTRIBUCIÓN DE PÉNDOLAS POR PAREJAS					
VÍAS GENERALES Y SECUNDARIAS					
Vano (m)	Número de Péndolas	Nº de parejas	Distancia de 1ª Péndola al apoyo (m)	Distancia Interior par	Distancia entre parejas
32,00	8	4	5,25	0,50	6,50
31,50	8	4	5,15	0,50	6,40
31,00	8	4	5,20	0,50	6,20
30,50	8	4	5,25	0,50	6,00
30,00	8	4	5,15	0,50	5,90
29,50	8	4	5,20	0,50	5,70
29,00	8	4	5,10	0,50	5,60
28,50	8	4	5,15	0,50	5,40
28,00	8	4	5,20	0,50	5,20
27,50	8	4	5,25	0,50	5,00
27,00	8	4	5,00	0,50	5,00
26,50	8	4	5,05	0,50	4,80
26,00	8	4	5,10	0,50	4,60
25,50	8	4	5,15	0,50	4,40
25,00	6	3	5,25	0,50	6,50
24,50	6	3	5,20	0,50	6,30
24,00	6	3	5,25	0,50	6,00
23,50	6	3	5,20	0,50	5,80
23,00	6	3	5,15	0,50	5,60
22,50	6	3	5,20	0,50	5,30
22,00	6	3	5,25	0,50	5,00
21,50	6	3	5,10	0,50	4,90
21,00	6	3	4,85	0,50	4,90
20,50	6	3	4,80	0,50	4,70
20,00	6	3	4,75	0,50	4,50

- **Resultados a obtener del cálculo del pendolado**

  - Tensión horizontal sustentador
  - Tensión vertical sustentador
  - Altura del brazo
  - Reacción del brazo:
    - Rx
    - Ry
    - Rz
  - Número de péndolas
  - Distancias entre péndolas
  - Flecha del hilo de contacto en cada péndola
  - Flecha del sustentador en cada péndola
  - Longitud de cada péndola

4.8 CÁLCULO DE FEEDER Y DE CABLE DE TIERRA

- **Hipótesis de cargas**

a) Esfuerzos verticales:

- Peso propio
- Peso del hielo

b) Esfuerzos horizontales

- Viento
- Esfuerzo radial en curva

- **Determinación de esfuerzos**

A) Esfuerzos verticales:

❑ Peso propio:

Se calculara el peso propio de cada elemento en función de sus dimensiones y de la densidad del material.

❑ Sobrecargas de hielo:

Se utilizarán las siguientes sobrecargas:

Tipo de Zona	Altura sobre el nivel del mar (m)	Sobrecarga manguito de hielo (N/m)
A	H<500	-
B	500≤ H ≤ 1000	$1{,}8\sqrt{d}$
C	H>1000	$3{,}6\sqrt{d}$

Siendo:

d = diámetro del conductor (mm)

B) Esfuerzos horizontales:

❑ Viento:

Se utilizarán las siguientes sobrecargas:

Presión del viento (N/m^2)	Diámetro del cable ∅ (mm)
600	∅ ≤ 16
500	∅ > 16

❑ Esfuerzo radial en curva:

$$\tau = \frac{L}{R} \times T$$

Siendo:

τ_1 = esfuerzo horizontal (N)

L = longitud del vano (m)

R = radio de la curva (m)

T = tensión mecánica del conductor (N)

- **Fórmula de la ecuación de cambio de condiciones**

Para la obtención de las tensiones correspondientes a diferentes temperaturas y sobrecargas, se utilizará la ecuación de cambio de condiciones que partiendo de la tensión máxima, se comprueba que el tense elegido en el tendido es el adecuado y que no se sobrepasará el tense máximo en las condiciones más desfavorables.

La ecuación de cambio de condiciones es:

$$T_2^2\left[T_2 + \frac{a^2}{24}\frac{P_1^2}{T_1^2}\frac{S}{\varepsilon} + \delta(\theta_2 - \theta_1)\frac{S}{\varepsilon} - T_1\right] = \frac{a^2 \cdot P_2^2}{24}\frac{S}{\varepsilon}$$

Si se hace:

$$A = \frac{a^2}{24}\frac{P_1^2}{T_1^2}\frac{S}{\varepsilon} + \delta(\theta_2 - \theta_1)\frac{S}{\varepsilon} - T_1$$

$$B = \frac{a^2 \cdot P_2^2}{24}\frac{S}{\varepsilon}$$

Queda de la forma:

$$T_2^2(T_2 + A) = B$$

Siendo:

T_1 = Tensión inicial del conductor (N).

T_2 = Tensión mecánica a calcular, a la temperatura y condiciones que correspondan (N).

θ_1 = Temperatura inicial del conductor (ºC).

θ_2 = Temperatura correspondiente a la tensión que se quiere determinar (ºC).

p_1 = Peso propio del conductor (N/m).

p_2 = Resultante del peso propio del conductor y sobrecarga correspondiente (N/m).

S = Sección del conductor (mm^2).

ε =Coeficiente de alargamiento elástico (mm^2/N), inverso al módulo de elasticidad E.

α= Coeficiente de dilatación lineal del cable ($ºC^{-1}$).

a =Vano de cálculo (m).

- **Fórmula de la ecuación de la flecha**

Las parábolas de flechas se determinan, para cada vano, de acuerdo con la fórmula.

$$F = \frac{a^2 \cdot p}{8 \cdot T} = \frac{(2 \cdot X)^2 \cdot p}{8 \cdot T} = \frac{X^2 \cdot p}{2 \cdot T}$$

Siendo:

X = Valor de semivano (m).

p =Carga correspondiente a la hipótesis considerada (N/m).

T = Tensión correspondiente a la hipótesis aplicada (N).

a =Vano (m).

- **Desarrollo del cálculo**

- **HIPÓTESIS DE TRACCIÓN MÁXIMA ADMISIBLE.**

De acuerdo con el artículo 27 del R.A.T. el esfuerzo máximo de tracción del conductor no debe sobrepasar el valor de la carga de rotura dividido por el coeficiente de seguridad; que será mayor de 3, para unas condiciones de temperatura y sobrecargas correspondientes a la zona por la que transcurre la línea

Las condiciones de tracción máxima se reflejarán en el siguiente modelo de tabla:

Tramo	Coeficiente de seguridad	Condiciones tracción máxima		
		T (N)	t (ºC)	Peso propio y sobrecarga
1	Mayor de 3		Según zona	Según zona

La flecha correspondiente a la hipótesis de máxima tensión, se calculará por aplicación de la ecuación de la flecha, reflejándose los resultados según el siguiente modelo de tabla:

Tramo	Vano regulación V (m)	Flechas F (m)

- **CÁLCULO DEL E.D.S.%.**

El E.D.S. (EVERY DAY STRESS) es el esfuerzo máximo expresado en % de la carga de rotura del conductor, cuando está expuesto a la temperatura de 15 ºC y sin sobrecarga.

$$E.D.S.\% = \frac{T_2}{C_R} \cdot 100$$

Para hallar la tensión (T_2) en estas condiciones, se aplicará la ecuación de cambio de condiciones, en la que se toman como condiciones iniciales las de máxima tracción. En el siguiente cuadro modelo se reflejan los resultados obtenidos.

Vano regulación v (m)	Condiciones iniciales (=max. Tracción)			Condiciones finales			E.D.S. (%)
	T_1 (N)	t_1 (ºC)	p_1 (N/m)	T_2 (N)	t_2 (ºC)	p_2 (N/m)	

- **CÁLCULO DEL C.H.S. %**

El C.H.S. es el esfuerzo máximo expresado en % de la carga de rotura del cable cuando está expuesto a la temperatura de –5 ºC sin sobrecarga. Tiene en cuenta el fenómeno vibratorio eólico del cable en condiciones de temperaturas mínimas frecuentes sin sobrecarga. Su valor no debe exceder del 20%, es decir:

$$C.H.S.\% = \frac{Tensión\ en\ las\ horas\ frías}{C_R} \cdot 100 \leq 20\%$$

El valor de tensión en las horas frías se obtendrá de la ecuación de cambio de condiciones en las que se toma como condiciones iniciales las de máxima tracción, es decir:

Vano regulación v (m)	**Condiciones iniciales (=max. tracción)**			**Condiciones finales**			**C.H.S. (%)**
	T_1 (N)	**t_1 (ºC)**	**p_1 (N/m)**	**T_2 (N)**	**t_2 (ºC)**	**p_2 (N/m)**	
	Máxima tracción = C_R/Coef. Seguridad	Mínima según zona: A, B, C	Con sobrecarga hielo o viento	Tensión en las horas frías: Incógnita	- 5	Sin sobrecarga. Sólo peso cable	T_2/C_R x 100

- **HIPÓTESIS DE FLECHAS MÁXIMAS.**

Se determinará la flecha máxima del conductor para las hipótesis de viento, temperatura y hielo, que fija el Reglamento R.A.T. en el art. 27.

Para ello se aplicará la ecuación de cambio de condiciones, siendo las condiciones iniciales de temperatura, tensión y sobrecargas las correspondientes a las de máxima tracción y las condiciones finales de temperatura y sobrecargas las debidas a la hipótesis considerada. De la ecuación de cambio de condiciones se obtiene la tensión del conductor en las condiciones de la cada hipótesis. Mediante la ecuación de la flecha se obtiene la flecha del conductor para cada una de las hipótesis.

En la siguiente tabla modelo se resumen los resultados obtenidos:

Hipótesis	Peso unitario P_2 (N/m)	Temperatura t_2(ºC)	Tensiones t_2 (n)	Flecha F_2 (m)	Parámetro a (m)

La parábola de flechas máximas tiene un parámetro de la parábola correspondiente al más desfavorable de los calculados en las tres hipótesis, cuyo valor redondeado se reflejará en la siguiente tabla modelo:

Vano de regulación v (m)	Parámetro de la parábola a (m)	Ecuación de la flecha máxima

- **Tablas de tendido.**

Las tablas de tendido se confeccionan para diversos valores de la temperatura comprendidos entre –10ºC y +50ºC, sin sobrecarga. En ellas quedarán reflejados los distintos valores de tensión mecánica y flecha para cada vano en función de la temperatura.

- **Coeficiente de seguridad.**

El coeficiente de seguridad mínimo para los cálculos de las tensiones mecánicas será al menos de 3.

4.9 COEFICIENTES DE SEGURIDAD EN LA CATENARIA

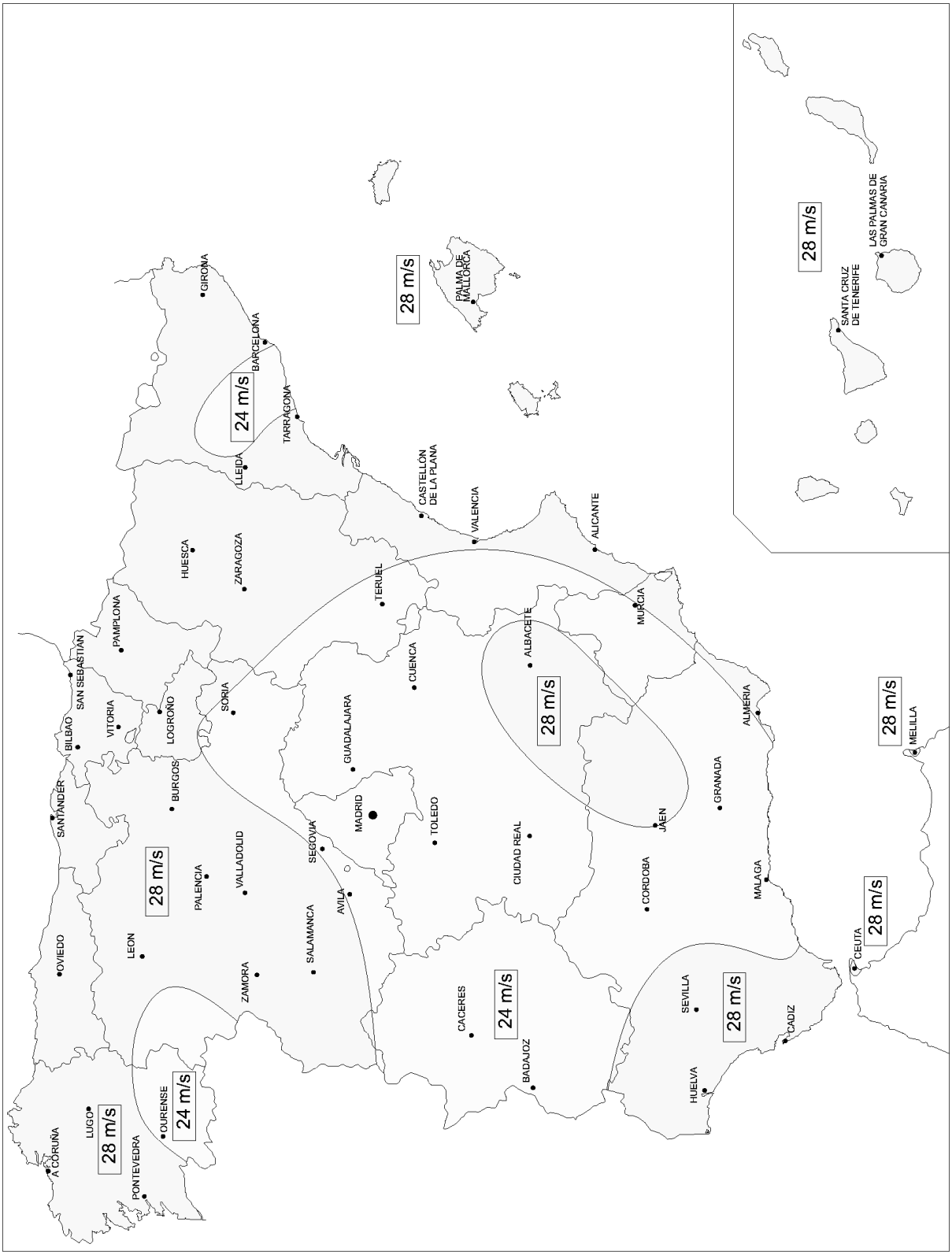
Las tensiones de los conductores que componen la catenaria estarán determinadas por los estudios correspondientes de interacción pantógrafo – catenaria, mediante estudios de simulación atendiendo a la tipología de pantógrafos y velocidad máxima de los mismos.

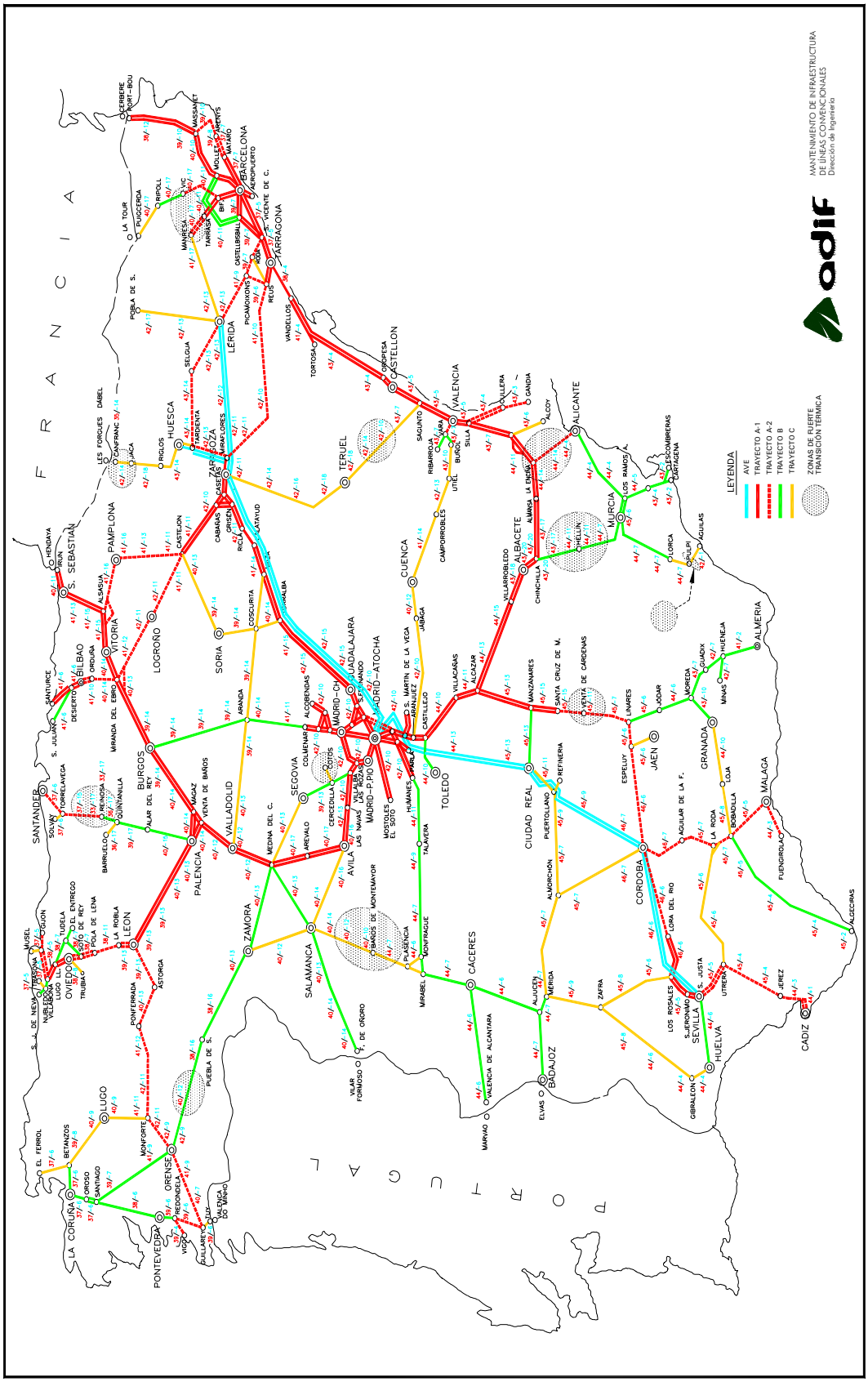
Los coeficientes de seguridad aplicados mínimos serán:

Sustentador	Hilos de contacto*	Cables de colas	Piezas de anclaje	Grapas de anclaje
3	2,5	3	3	Igual a la carga de rotura del cable

*Teniendo en cuenta el máximo desgaste permitido

5 ANEXO Nº 1


28 m/s
24 m/s
28 m/s
28 m/s
28 m/s
28 m/s
24 m/s
24 m/s
28 m/s
28 m/s
28 m/s
GIRONA
BARCELONA
TARRAGONA
LLEIDA
PALMA DE MALLORCA
CASTELLÓN DE LA PLANA
VALENCIA
ALICANTE
HUESCA
ZARAGOZA
TERUEL
MURCIA
PAMPLONA
SAN SEBASTIAN
BILBAO
VITORIA
LOGROÑO
SORIA
CUENCA
ALBACETE
GUADALAJARA
ALMERIA
BURGOS
SANTANDER
MADRID
TOLEDO
CIUDAD REAL
JAEN
GRANADA
SEGOVIA
VALLADOLID
PALENCIA
AVILA
CORDOBA
MALAGA
MELILLA
OVIEDO
LEON
SALAMANCA
ZAMORA
CACERES
BADAJOZ
SEVILLA
HUELVA
CADIZ
CEUTA
LUGO
A CORUÑA
OURENSE
PONTEVEDRA
LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
SANTA CRUZ DE TENERIFE


F R A N C I A
P O R T U G A L
LEYENDA
AVE
TRAYECTO A-1
TRAYECTO A-2
TRAYECTO B
TRAYECTO C
ZONAS DE FUERTE TRANSICIÓN TÉRMICA
MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA DE LÍNEAS CONVENCIONALES
Dirección de Ingeniería
adif