

## **LÍNEA AÉREA DE CONTACTO**

### **MEMORIA DESCRIPTIVA DE LA LÍNEA AÉREA DE CONTACTO TIPO CA 160/3KV**

---

No está permitida la reproducción, copia o modificación de este documento, total o parcialmente, incluidos los planos, gráficos y archivos adjuntos, sin permiso por escrito del titular de los derechos.

“LÍNEA AÉREA DE CONTACTO. MEMORIA DESCRIPTIVA DE LA LÍNEA AÉREA DE CONTACTO TIPO CA-160/3KV”

© DERECHOS RESERVADOS

ADIF

DIRECCIÓN GENERAL DE EXPLOTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN

Dirección de Apoyo Técnico e Interoperabilidad

## Índice

<b>1</b>	<b>DEFINICIONES .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE LA CATENARIA TIPO CA-160/3kv .....</b>	<b>11</b>
2.1	GENERALIDADES.....	11
2.2	CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES .....	12
2.2.1	TIPO DE CORRIENTE Y TENSIÓN ELÉCTRICA DE ALIMENTACIÓN.....	12
2.2.2	VELOCIDAD DE DISEÑO .....	12
2.2.3	CONDICIONES AMBIENTALES NORMALES .....	13
2.3	CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO.....	13
2.3.1	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y MECANICAS .....	14
2.3.2	CRITERIOS DE AISLAMIENTO.....	22
2.4	DEFINICIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA .....	23
2.4.1	COMPOSICIÓN DE LAS CATENARIAS.....	23
2.4.2	POSTES.....	25
2.4.3	MACIZOS DE FUNDACIÓN .....	26
2.4.4	CONJUNTOS DE MÉNSULA .....	30
2.4.5	CONJUNTOS DE ATIRANTADO .....	31
2.4.6	CONJUNTOS DE SUSPENSIÓN .....	33
2.5	ALIMENTACIÓN Y RETORNO.....	35
2.5.1	ALIMENTACIÓN .....	35
2.5.2	CONEXIONES DE ALIMENTACIÓN .....	36
2.5.3	RETORNO .....	37
2.6	PROTECCIONES .....	38
2.7	MATERIALES.....	41
2.8	MONTAJE Y TOLERANCIAS.....	41
<b>3</b>	<b>CÁLCULOS Y FÓRMULAS .....</b>	<b>42</b>
3.1	DIMENSIONAMIENTO ELÉCTRICO .....	42
3.2	RESISTENCIA DEL CIRCUITO DE TRACCIÓN .....	44
3.2.1	RESISTENCIA DE LA CATENARIA .....	44
3.2.2	RESISTENCIA DEL CARRIL .....	45
3.2.3	RESISTENCIA ELÉCTRICA TOTAL .....	45
3.3	CÁLCULOS A TENER EN CUENTA POR CONDICIONES AMBIENTALES.....	46
3.3.1	TEMPERATURA.....	46
3.3.2	VIENTO.....	47
3.3.3	SOBRECARGA DE HIELO.....	51
3.4	CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE CATENARIA .....	52
3.5	CÁLCULO DEL PENDOLADO.....	56
3.6	CÁLCULO DE FEEDER Y DE CABLE DE TIERRA .....	63
3.7	COEFICIENTES DE SEGURIDAD EN LA CATENARIA .....	68
<b>ANEJOS</b>		
A.1.	ESQUEMAS DE MACIZOS DE FUNDACIÓN PARA POSTES Y ANCLAJES.....	70
A.2.	MAPA DE VIENTO MEDIO.....	82

## 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 del sistema de catenaria.**– Distancia, medida verticalmente en el punto de apoyo del sustentador, entre el cable sustentador y los hilos de contacto.

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

**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.

**Autoválvula.-** Dispositivo utilizado para proteger las instalaciones contra las sobretensiones de origen atmosférico o de maniobra, eliminando el exceso de energía mediante una conexión a tierra. (UNE-EN 50123-5).

**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 carril 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:

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

**Macizo de fundación /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).

**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 por qué 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 aquel 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.



- o *Transversal inferior*, es aquel en el que se fijan los conjuntos de atirantado del hilo de contacto, y se sujeta mediante péndolas al transversal superior.

**Pórtico rígido.**– Estructura metálica formada por dos postes y un dintel transversal a las vías que los une y que soporta las cargas de la catenaria.

**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 cerca de un desvío.

**Potencial del carril.**– La tensión que aparece 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 rodela de contrapesos.

**Protección de seguridad de postes.**– Pieza metálica que se coloca en los postes metálicos empesillados 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 adyacente.

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-160/3KV**

### **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 habían sido realizadas siguiendo las especificaciones contenidas en dicho documento o en 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", del 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 modificaciones introducidas progresivamente hasta el año 1986, y que dieron nombre a la Línea Aérea de Contacto CR-160, son las siguientes:

- Pendolado equipotencial
- Compensación independiente del sustentador y de los hilos de contacto
- Conjunto de giro tanto en la ménsula como en el 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 los últimos años el acrónimo utilizado ha sido CA-160, que corresponde al concepto de "Catenaria ADIF", manteniendo todas las características técnicas de la anterior. Con la aparición de nuevos tipos de Línea Aérea de Contacto alimentados en 25 kV, se hace necesario indicar que el presente documento se refiere a una catenaria de 3 kV c.c., y de ahí el nuevo acrónimo CA-160/3kV.

Lo descrito en este documento es válido únicamente para trenes con pantógrafos de 1950 mm circulando por vías de un solo ancho. Las modificaciones geométricas necesarias para permitir la circulación de trenes con diferentes pantógrafos por vías de anchos múltiples serán descritas en la normativa específica.

## 2.2 CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES

### 2.2.1 TIPO DE CORRIENTE Y TENSIÓN ELÉCTRICA DE ALIMENTACIÓN

Esta catenaria está diseñada para ser alimentada en corriente continua 3kV donde se admiten los siguientes valores.

Valores de Tensión en Corriente Continua	
Permanente Mínima	2000 V
Nominal	3000 V
Permanente Máxima	3600 V
No Permanente Máxima	3900 V

Los valores de tensión de esta tabla son los definidos en la norma UNE-EN 50163 para los sistemas de 3 kV.

### 2.2.2 VELOCIDAD DE DISEÑO

Esta 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	
Mínima	- 15 °C
Máxima	+ 45 °C

Si fuera necesario ajustar estos valores a una región concreta se deberán tomar como referencia los valores estadísticos tomados por el Instituto Nacional de Meteorología en los últimos 50 años.

#### 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	
Sustentador de Cu ETP	80 °C
Hilos de contacto de Cu ETP	80 °C
Hilos de contacto de Cu Ag0.1	100 °C

En todas las nuevas instalaciones se verificará mediante estudios de carga eléctrica que los umbrales anteriores no se sobrepasen en régimen permanente.

#### Viento

Para el proyecto estructural de la Línea Aérea de Contacto se considerará una velocidad del viento de 120 km/h.

Para la validación funcional del sistema en lo que a la desviación del hilo de contacto por efecto del viento se refiere, se utilizarán los valores de

velocidades de viento representados en el mapa representado en el anejo y conforme a la metodología apuntada en el apartado 3.3.2.

## 2.3 CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

A continuación se indican las características de diseño entre las que figuran los parámetros geométricos y mecánicos, 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

La Línea Aérea de Contacto, en condiciones normales de operación, debe respetar los siguientes parámetros geométricos y mecánicos.

#### Altura de los hilos de contacto

ALTURA DE LOS HILOS DE CONTACTO	
Altura Mínima de diseño	4600 mm
Altura Nominal	5300 mm
Altura Máxima de diseño	6000 mm

Si no se puede conseguir la altura máxima en los pasos a nivel, será necesario el montaje de gálibos de protección en los viales a ambos lados del paso.

La altura de los hilos de contacto deberá ser lo más constante posible a lo largo de la línea con el fin de mantener una buena captación 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:

VARIACION DE ALTURA EN LOS HILOS DE CONTACTO	
Pendiente máxima	2 <sup>o</sup> /100
Variación de pendiente máxima	1 <sup>o</sup> /100

La pendiente del hilo de contacto en un vano se medirá como la diferencia de alturas entre el inicio y el final del vano dividido por la longitud de este, expresado en tanto por mil con su signo. La variación de pendiente se calculará como la diferencia entre las pendientes de dos vanos consecutivos, considerando su signo.

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

### Altura del sistema de catenaria

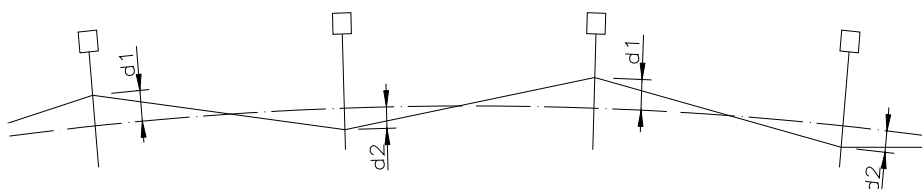
ALTURA DEL SISTEMA DE CATENARIA	
Altura Nominal (trayectos y estaciones)	1400 mm
Altura en zonas de gálibo reducido (túneles, pasos superiores, etc.)	853mm
	462mm
	263 mm
Altura máxima en seccionamientos	1400 mm

Se adecuarán los vanos a la altura de diseño de forma que se respeten las longitudes de péndola mínima.

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

### Descentramiento

DESCENTRAMIENTO DE LOS HILOS DE CONTACTO		
Recta	En los apoyos	±20 cm
Curva	En los apoyos	20 cm (hacia el exterior de la curva)
	En el centro del vano	< 10 cm (hacia el interior de la curva)



Signo de los descentramientos:

- (+) Descentramientos hacia fuera del poste o pendolón
- (-) Descentramientos hacia dentro del poste o pendolón



El descentramiento en el centro del vano se conseguirá mediante el adecuado replanteo de los vanos en curva.

La disposición del descentramiento en una línea debe favorecer el desgaste uniforme de los frotadores de pantógrafo manteniendo las condiciones de seguridad ante salidas de la zona de contacto.

### Vano

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

VANO MÁXIMO SEGÚN LA ALTURA DEL SISTEMA DE CATENARIA	
1400 mm	60 m
853 mm	45 m
462 mm	30 m
263 mm	20 m

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 de ésta según el siguiente cuadro:

VANO MÁXIMO SEGÚN EL RADIO DE LA VÍA	
$R \geq 1500$	60 m
$1500 > R \geq 1260$	55 m
$1260 > R \geq 1042$	50 m
$1042 > R \geq 844$	45 m
$844 > R \geq 667$	40 m
$667 > R \geq 510$	35 m
$510 > R \geq 375$	30 m
$375 > R \geq 260$	25 m
$260 > R \geq 167$	20 m

Los valores anteriores han sido calculados considerando una flecha de vía de 300mm con una cuerda de longitud el vano.

### **Diferencia de longitud entre vanos consecutivos**

La diferencia entre las longitudes de dos vanos consecutivos será:

<b>DIFERENCIA DE LONGITUD EN VANOS CONSECUTIVOS</b>	
Diferencia Máxima	10 m
Diferencia en Agujas	5 m

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:

<b>LONGITUD MÁXIMA DEL CANTÓN</b>	
Recta	1200 m
Tramo con curvas	900 m

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:

<b>LONGITUD DEL CANTÓN</b>	<b>TIPO DE ANCLAJES</b>	<b>UBICACIÓN PUNTO FIJO</b>
$600 < C \leq 1200$ m	2 Compensados	Punto medio del Cantón
$C \leq 600$ m	1 Compensado + 1 No compensado	Punto inicial del cantón.

Para cantones inferiores a 600 metros se compensará la catenaria en el sentido de circulación de los trenes.

Cuando la pendiente de la rasante de vía sea superior a 5 milésimas, se instalará, únicamente en el lado más desfavorable, un latiguillo de punto fijo entre los hilos de contacto y el sustentador.

### Flecha de los hilos de contacto

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

FLECHA MÁXIMA DE LOS HILOS DE CONTACTO	
Con hilos nuevos	0,6 x L (mm)

Siendo: L = Longitud del vano expresada en metros

### 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:

GÁLIBO DE POSTE A CARRIL EN VÍA GENERAL	
En recta o en exterior de curva	1,90 m
En interior de curva de $R > 300$ m	1,90 m
En interior de curva de $R \leq 300$ m	2,10 m

Los valores anteriores corresponden a valores de replanteo, siendo las tolerancias de aceptación o rechazo, una vez instalado el poste, de +20 /-20 cm en recta o exterior de curva, y de +20 /-10cm en interior de curva.

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	TIPO DE POSTES
$D \geq 6,00$ m	Cualquiera
$6,00 > D \geq 5,70$ m	X y H
$5,70 > D \geq 5,20$ m	Sólo H

La colocación de postes en andenes se realizará respetando el gálibo de 5 m, 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

La contraflecha en cabeza de poste se medirá durante su montaje y sin carga.

CONTRAFLECHA EN CABEZA DE POSTE	
Poste X en recta	5 cm $\pm 1$ cm
Poste X en curva exterior	8 cm $\pm 1$ cm
Poste X en curva interior	0 cm $\pm 1$ cm
Poste L o R en pórtico rígido	0 cm $\pm 0$ cm
Poste Z en pórtico funicular	8 cm $\pm 0$ cm

### Nº de vanos de los seccionamientos

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

NUMERO DE VANOS DE SECCIONAMIENTO	
$L_{\text{VANO}} \geq 50$ m	3 vanos
$L_{\text{VANO}} < 50$ m	4 vanos

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	PUNTO 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 de los conductores será la siguiente:

<b>TIPO DE EQUIPOS DE COMPENSACIÓN</b>	
Cielo abierto y zonas con gálibo suficiente	Poleas y contrapesos
Zonas con gálibo reducido / Andenes de estación	Tipo tensor-muelle o polipastos

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

<b>TIPO DE CATENARIA</b>	<b>TIPO DE COMPENSACIÓN</b>
De vía general	Independiente para el sustentador y para los hilos de contacto
De escapes	
De vía secundaria de circulación	
De vía secundaria	Conjunta sustentador e hilo o solo para el hilo de contacto

Se considera vía secundaria de circulación aquella que comparte aguja aérea con una vía general.

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

### **Tensiones de regulación mecánica**

Las tensiones mecánicas a utilizar se expresan en el S.I. en daN (*deca Newton*) si bien se han aproximado a los valores históricos en kgf.

Todos los valores de tense y peso admiten una tolerancia del 1%

*Para el sustentador:*

<b>TENSE DEL SUSTENTADOR DE CU 150 MM<sup>2</sup></b>		
Tense de montaje *	1425 daN	1425 daN
Razón de regulación	1:5	1:3
Rendimiento min. de las poleas	0,95	0,95
Conj. de Contrapeso	285 kg	475 kg

\* Tense real = (Peso total del Conj. Contrapeso) x (Razón de regulación de las poleas) x Rendimiento de las poleas.

*Para el hilo de contacto:*

<b>TENSE DE LOS HILOS DE CONTACTO</b>		
Tipo de hilo	Cu ETP 107mm <sup>2</sup>	Cu ETP 120mm <sup>2</sup> Cu Ag0.1 120mm <sup>2</sup>
Tense de montaje	2 x 1050 daN	2 x 1200 daN
Razón de regulación	1:5	1:5
Rendimiento de las poleas	0,95	0,95
Conj. de Contrapeso	420 Kg	480 Kg

\* Tense real = (Peso total del Conj. Contrapeso ) x (Razón de regulación de las poleas) x Rendimiento de las poleas.

### **Distancia entre catenarias en seccionamientos**

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

<b>DISTANCIA ENTRE CATENARIAS EN SECCIONAMIENTOS</b>	
Seccionamiento Lámina de Aire	400 mm
Seccionamiento de Cantón	250 mm

### **Distancia entre cables en colas de anclaje**

<b>DISTANCIA ENTRE COLAS DE ANCLAJE</b>	
Entre cables en tensión	300 mm
Entre cables aislados	150 mm

### **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:

<b>DISTANCIA DE AISLAMIENTO PARA 3KV</b>	
<b>ESTÁTICA</b>	<b>DINÁMICA</b>
150 mm	50 mm

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.

La distancia de las partes conductoras del pantógrafo a cualquier estructura que no esté en tensión deben respetar la distancia de aislamiento estática.

## Aisladores

Todos los aisladores empleados en la catenaria de 3kV deberán superar los siguientes parámetros eléctricos:

<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE AISLADORES DE 3KV</b>	
<b>Zona de riesgo bajo o moderado por impacto de rayo</b>	
Línea de fuga	300 mm
Tensión soportada a impulsos tipo rayo en seco	90 kV
Tensión soportada a frecuencia industrial bajo lluvia	38 kV

En aquellas zonas con un riesgo elevado de impacto de rayos en catenaria, se instalarán aisladores con características eléctricas ampliadas.

<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE AISLADORES DE 3KV</b>	
<b>Zona de riesgo elevado por impacto de rayo</b>	
Línea de fuga	400 mm
Tensión soportada a impulsos tipo rayo en seco	120 kV
Tensión soportada a frecuencia industrial bajo lluvia	38 kV

## 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**

Se dará tratamiento de vía general tanto a las vías secundarias que hagan aguja con las generales, como aquellas que por utilización tienen un tráfico equivalente o disponen de andén para pasajeros.

En líneas de la Red Cercanías se utilizarán hilos de contacto de 120 mm<sup>2</sup> de aleación cobre plata.

COMPOSICIÓN	TIPO LÍNEA	MATERIAL	SECCIÓN
Cable sustentador <sup>(1)</sup>	TODAS	Cu ETP	150 mm <sup>2</sup>
Hilo de contacto <sup>(2)</sup>	CERCANÍAS	CuAg0.1	2x120 mm <sup>2</sup>
	RESTO	CuETP	2x107 mm <sup>2</sup>
Péndolas equipotenciales	TODAS	CuETP	25 mm <sup>2</sup>

(1) La cola de anclaje del cable sustentador se realizará con cable de acero de 72 mm<sup>2</sup>

(2) La cola de anclaje de los dos hilos de contacto se realizará con cable de acero de 72 mm<sup>2</sup>

El pendolado estandarizado en la CA-160 es del tipo por parejas con péndolas de lazo tipo Co6.

**En vías secundarias que no formen aguja con vía general**

Se dará tratamiento de vía secundaria solo a aquellas catenarias que no formen aguja con una vía general, ni tengan andén de pasajeros y soporten un tráfico escaso.

COMPOSICIÓN	MATERIAL	SECCIÓN
Cable sustentador <sup>(1)</sup>	Cu ETP	150 mm <sup>2</sup>
Hilo de contacto <sup>(2)</sup>	CuETP	1x107 mm <sup>2</sup>
Péndolas equipotenciales	CuETP	25 mm <sup>2</sup>

(1) La cola de anclaje del cable sustentador se realizará con cable de acero de 72 mm<sup>2</sup>

(2) La cola de anclaje del hilo de contacto se realizará con cable de acero de 72 mm<sup>2</sup>

El pendolado que se utiliza es del tipo equidistante con péndolas de lazo tipo Co6.

Excepcionalmente, cuando se realice una ampliación o renovación parcial de una playa de vías secundarias se admitirá emplear sustentador de acero de 72mm<sup>2</sup> y péndolas de varilla. No obstante, en todos los proyectos se deberá justificar esta solución mediante un cálculo eléctrico preciso en función del tipo de tráfico esperado y las potencias del material rodante a emplear.

#### 2.4.2 POSTES

En función del tipo de cimentación los postes podrán ser embebidos o con placa de anclaje (con la misma referencia seguida de la letra "P").

##### Postes de vía general

TIPO POSTE	CONDICIONES DE UTILIZACIÓN	
	Nº DE MÉNSULAS	ALTURA DEL PLANO MEDIO DE RODADURA SOBRE EL TERRENO (H <sub>r</sub> )
X2B	1	< 0,85 m
X2B-ALG.	1	≥ 0,85 m
X3B	2	< 0,85 m
X3B-ALG.	2	≥ 0,85 m

##### Postes de anclaje

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

Tipo	Condiciones de utilización
Z5, Z5bis, Z6	Para anclaje de catenarias de vías generales
XGA	Para anclajes sin compensar de una catenaria

### Postes de estación

Como postes de estación 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

(\*) Para otra configuración de postes, se calculará el equipo completo poste-dintel, para el criterio de límite de servicio en el dintel y los postes, tanto en sentido longitudinal como transversal a la vía, conforme a las hipótesis de cálculo recogidas en la normativa vigente.

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 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.

#### 2.4.3 MACIZOS DE FUNDACIÓN

Se denomina así a las cimentaciones de hormigón en masa o armado, tanto de planta prismática o circular, que soportan los distintos postes y anclajes de la Línea Aérea de Contacto.

Los macizos de fundación se pueden clasificar en diferentes tipologías resumidas en la siguiente tabla:

TIPOS DE MACIZOS DE FUNDACIÓN		
	PLANTA RECTANGULAR	PLANTA CILINDRICA
EN DESMONTE	Tipo "d"	Tipo "Cd"
EN TERRAPLEN	Tipo "t"	Tipo "Ct"
DE ANCLAJE	Tipo "An"	Tipo "Cd-An"
ESPECIALES POSTES L Y R	L-ii	R-jj

### Macizos en Desmante

Se aplica cuando se ubica una cimentación en un terreno plano sin obra de tierras, o en una plataforma obtenida a partir de un desmante, de tal forma que la inclinación del terreno donde se ubica la cimentación es menor de  $19^\circ$  (equivalente a una pendiente 1:3) con respecto a la horizontal del terreno, y la cimentación se encuentra a una distancia mayor o igual a la altura efectiva, *heff* (altura del macizo enterrado), del borde de un terraplén o zanja profunda, o de cualquier elemento que en general se considere pueda reducir de forma significativa la resistencia del terreno.

### Macizos en Terraplén

Se aplica cuando el terreno presente una inclinación superior a  $19^\circ$  (pendiente 1:3). En el caso de terrenos con inclinaciones superiores a  $45^\circ$  (pendiente 1:1), es necesario realizar un estudio justificativo de la solución adoptada, no siendo recomendable en este caso el uso de macizos de tipo cilíndrico.

La presencia de zanjas, canalizaciones o arquetas de cierta entidad puede afectar de forma importante a la estabilidad de las cimentaciones por lo que será necesario considerar su presencia a efectos de cálculo y selección de cimentaciones. Cuando se ubica una cimentación a una distancia del borde de un terraplén o zanja profunda menor que la altura efectiva, *heff* (altura del macizo enterrado), se considerará como cimentación en terraplén independientemente de la inclinación del terreno.

### **Selección de macizos**

Para la selección y diseño de cimentaciones también hay que considerar los siguientes parámetros:

$H$ , altura libre del poste desde la base del terreno, que se debe determinar considerando la altura del hilo de contacto, la altura de catenaria, y así como la altura desde el terreno al PRM,  $ht$ .

$M_F$ , el momento flector máximo al que se ve sometido el poste, calculado desde la base del terreno, y la altura necesaria en función de la distancia al plano de rodadura medio, o de la aplicación concreta que se le vaya a dar al poste.

Se seleccionarán un poste y un macizo con resistencia al vuelco superior al límite de servicio del poste (MLS).

El cálculo del momento flector aplicado sobre un poste y su cimentación se realizará considerando como origen la base del poste, tal como se indica en el apartado 3.5, en función de la geometría de los diferentes elementos.

En las siguientes tablas se indican los tipos de macizos a ejecutar según el tipo de poste empleado. Se pueden seleccionar macizos de planta rectangular (paralelepípedos) o de planta circular (cilíndricos), indistintamente. Las dimensiones de cada tipo de cimentación se describen en el anejo.

En el caso de los postes para pórticos es necesario realizar un estudio justificativo de la cimentación para cada caso concreto, no siendo de aplicación las tablas de selección siguientes.

La columna "Armadura" indicada en la tabla aplicará únicamente a los macizos de tipo cilíndrico.

Las tablas son válidas tanto para postes embebidos como para postes con placa. Las referencias de los postes con placa serán las mismas pero con la terminación "-P".

**TABLA DE SELECCIÓN DE MACIZOS PARA POSTES TIPO X-Z**

SELECCIÓN DE POSTES			CIMENTACIÓN EN DESMONTE		CIMENTACIÓN EN TERRAPLÉN			ARMADURA	
Tipo poste	M <sub>LS</sub> (daN·m)	H poste (m)	Rectangular	Cilíndrico	Rectangular M+	Rectangular M-	Cilíndrico	Tipo	Esperas roscadas Φ (mm)
X2B	6304	7.00	d5	Cd1	t7	t8	Ct1	ARM-1	20
X3B	7446	7.00	d6	Cd1	t8	t9	Ct2	ARM-1	20
X2B ALG	6317	7.40	d5	Cd1	t7	t8	Ct1	ARM-1	20
X3B ALG	7535	7.40	d6	Cd1	t8	t9	Ct2	ARM-1	20
XR2	6829	7.74	d5	Cd1	t8	t8	Ct1	ARM-1	20
XR3	8074	7.74	d6	Cd2	t9	t10	Ct2	ARM-1	20
XR4	9420	7.74	d8	Cd2	t10	t11	Ct3	ARM-2	25
XR4E	8528	8.55	d7	Cd2	t9	t10	Ct2	ARM-2	25
XR5	10911	7.74	d8	Cd4	t11	t12	Ct3	ARM-2	25
Z1	7590	8.75	d6	Cd1	t8	t9	Ct2	ARM-1	20
Z2	8858	8.75	d7	Cd2	t9	t10	Ct2	ARM-2	25
Z3	10263	8.75	d8	Cd2	t10	t11	Ct3	ARM-2	25
Z4	11709	8.75	d9	Cd6	t11	t12	Ct4	ARM-4	40
Z5	13441	8.75	d10	Cd6	t13	t13	Ct6	ARM-4	40
Z1 ALG	8463	9.25	d7	Cd3	t9	t10	ct6	ARM-3	32
Z2 ALG	9882	9.25	d8	Cd3	t10	t11	ct6	ARM-3	32
Z3 ALG	11454	9.25	d8	Cd3	t11	t12	ct6	ARM-3	32
Z4 ALG	13073	9.25	d9	Cd6	t12	t13	Ct6	ARM-4	40
Z5 ALG	15018	9.25	d10	Cd7	t13	t14	Ct6	ARM-4	40
Z5 bis	23798	10.25	d15	Cd7	t19	t16	Ct7	ARM-4	40
Z6bis	33053	10.25	d20	Cd8	t19	t20	Ct8	ARM-4	40
Z6bis ref	33053	10.25	d20	Cd8	t19	t20	Ct8	ARM-4	40
Z6E	30293	10.25	d18	Cd8	t18	t19	Ct8	ARM-4	40

**TABLA DE SELECCIÓN DE MACIZOS PARA POSTES TIPO PG1**

SELECCIÓN DE POSTES				CIMENTACIÓN EN DESMONTE		CIMENTACIÓN EN TERRAPLÉN			ARMADURA	
Tipo poste		M <sub>LS</sub> (daN·m)	H poste (m)	Rectangular	Cilíndrico	Rectan- gular M+	Rectan- gular M-	Cilíndrico	Tipo	Esperas roscadas Φ (mm)
PG1	240	5400	8.75	d4	Cd1	t6	t7	Ct1	ARM-1	20
PG1	260	7100	8.75	d5	Cd1	t8	t9	Ct2	ARM-1	20
PG1	280	9200	8.75	d7	Cd2	t10	t10	Ct3	ARM-2	25
PG1	300	12000	8.75	d9	Cd6	t12	t12	Ct4	ARM-4	40
PG1	340	15000	10.25	d10	Cd6	t13	t14	Ct6	ARM-4	40
PG1	360	17700	10.25	d11	Cd6	t14	t14	Ct6	ARM-4	40
PG1	400	23600	10.25	d15	Cd7	t15	t16	Ct7	ARM-4	40
PG1	450	32700	10.25	d20	Cd8	t19	t20	Ct8	ARM-4	40

**2.4.4 CONJUNTOS DE MÉNSULA**

Según se trata de vía general, pórticos de estación o zonas especiales de ménsula doble, se seleccionarán los siguientes conjuntos:

CONJUNTOS DE MÉNSULA EN VÍA GENERAL	
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
Ca11RTTG	En recta o en interior de curva, con atirantado fuera o cola de anclaje con tirante a compresión

<b>CONJUNTOS DE MÉNSULA EN PÓRTICOS RÍGIDOS</b>	
Ca1RTE-PRB Ca1RTE-PRC 1/2/3/4	En recta o en exterior de curva, con atirantado dentro
Ca10RTE-PRB Ca10RTE-PRC 1/2/3/4	En recta o en interior de curva, con atirantado fuera o cola de anclaje

En pórticos rígidos tipo PRC, el conjunto de soporte de ménsula se sostendrá sobre el soporte F50, de manera que la unión de este soporte se realice sobre los nudos de la celosía.

<b>CONJUNTOS DE MÉNSULA DOBLE</b>	
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

Se utilizarán los siguientes:

<b>CONJUNTOS DE ATIRANTADO EN RECTA</b>			
<b>Tipo de conjunto de atirantado</b>	<b>Condiciones de utilización</b>		
	<b>Tipo de catenaria</b>	<b>Equipo sobre el que se monta</b>	<b>Forma de atirantado</b>
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



<b>CONJUNTOS DE ATIRANTADO EN RECTA</b>			
<b>Tipo de conjunto de atirantado</b>	<b>Condiciones de utilización</b>		
	<b>Tipo de catenaria</b>	<b>Equipo sobre el que se monta</b>	<b>Forma de atirantado</b>
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

<b>CONJUNTOS DE ATIRANTADO EN CURVA</b>			
<b>Tipo de conjunto de atirantado</b>	<b>Condiciones de utilización</b>		
	<b>Tipo de catenaria</b>	<b>Equipo sobre el que se monta</b>	<b>Forma de atirantado</b>
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

<b>CONJUNTOS DE ATIRANTADO EN COLAS DE ANCLAJE DE VIA GENERAL</b>			
<b>Tipo de conjunto de atirantado</b>	<b>Condiciones de utilización</b>		
	<b>Equipo sobre el que se monta</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Forma de atirantado</b>
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

<b>CONJUNTOS DE ATIRANTADO EN TUNEL</b>		
<b>Tipo de conjunto de atirantado</b>	<b>Condiciones de utilización</b>	
	<b>Tipo de catenaria</b>	<b>Forma de atirantado</b>
Ca7-T	Vía general recta	Fuera a silleta
Ca8-T	Vía general recta	Dentro a bóveda
Ca27T-N13/N15	Vía general curva	Fuera a silleta
Ca28T-N13/N15	Vía general curva	Dentro a bóveda

#### **2.4.6 CONJUNTOS DE SUSPENSIÓN**

Se utilizarán los siguientes:

<b>CONJUNTOS DE SUSPENSIÓN EN RECTA</b>			
<b>Tipo de conjunto de suspensión</b>	<b>Condiciones de utilización</b>		
	<b>Tipo de sustentador o feeder</b>	<b>Tipo de catenaria</b>	<b>Equipo sobre el que se monta</b>
Ca4-1M/1PRA Ca6 RT-1R	150/225/240/300	Compensada vía general	Ménsula y PRA
	72*/150	Vía secundaria	
Ca4-1T	150/225/240/300	Vía general	Túnel y paso superior
	72*/150	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

<b>CONJUNTOS DE SUSPENSIÓN EN CURVA</b>			
<b>Tipo de conjunto de suspensión</b>	<b>Tipo de sustentador o feeder</b>	<b>Condiciones de utilización</b>	
		<b>Tipo de catenaria</b>	<b>Equipo sobre el que se monta</b>
Ca2-1M/1PRA Ca6RT-1C	150/225/240/300	Compensada de vía general	Ménsula y PRA
	72*/150	Vía secundaria	
Ca2-1T	150/225/240/300	Vía general	Túnel y paso superior
	72*/150	Vía secundaria	

<b>CONJUNTOS DE SUSPENSIÓN EN CURVA</b>			
<b>Tipo de conjunto de suspensión</b>	<b>Tipo de sustentador o feeder</b>	<b>Condiciones de utilización</b>	
		<b>Tipo de catenaria</b>	<b>Equipo sobre el que se monta</b>
Ca2-1RT-MDF/PRA-150/300	150/300	Compensada de vía general	Ménsula doble
Ca2-1RT-T150/300	150/300	Compensada de vía general	Túnel y paso superior
Ca9-1	72*	Vía secundaria	Ménsula y PRA
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

(\*) El uso del sustentador de acero de 72mm<sup>2</sup> queda restringido a ampliaciones en playas de vías secundarias, y no debe ser empleado en nuevas instalaciones.

## **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<sup>2</sup>, 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<sup>2</sup> o por dos cables de Cu de 300 mm<sup>2</sup>, 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 metros 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 óptima distancia entre las conexiones.

### **En seccionamientos de compensación**

En la proximidad de los semiejes, se instalarán conexiones entre los sustentadores y los hilos de contacto mediante los conjuntos de conexión definidos en el presente libro.

### **En agujas aéreas, tangenciales o cruzadas**

Se instalará en el vano de elevación un conjunto de conexión de aguja tipo Ct8-3, que interconectará los hilos de contacto y sustentador de la catenaria de vía secundaria (o vía desviada) con el sustentador y los hilos de contacto de la catenaria de vía general (o vía de origen).

En el caso de vías secundarias con sustentador de acero, solamente se conectarán los hilos de contacto de las catenarias que forman la aguja.

## **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 mm<sup>2</sup>, 185 mm<sup>2</sup>, 240 mm<sup>2</sup> o 300mm<sup>2</sup>, 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<sup>2</sup>.

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

<b>CONEXIONES DEL CIRCUITO DE RETORNO</b>			
<b>Tipo Conexión</b>	<b>Según Potencia de los grupos de S/E</b>		
	<b>En Vía Única</b>	<b>En Vía Doble</b>	
	<b>2 x 3000MW / 1 x 6000MW</b>	<b>2 x 3000MW / 1 x 6000MW</b>	<b>2 x 6000MW</b>
Conexión entre vías	6 x 185 mm <sup>2</sup>	6 x 185 mm <sup>2</sup>	6 x 185 mm <sup>2</sup>
Conexión al pozo de negativos	6 x 185 mm <sup>2</sup>	6 x 185 mm <sup>2</sup>	12 x 185 mm <sup>2</sup>

### **Conexiones longitudinales**

Se utilizarán las indicadas en el presente libro.

### **Conexiones transversales**

Se utilizarán las descritas en el presente libro.

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

## **2.6 PROTECCIONES**

### **Pararrayos autovalvulares**

Los pararrayos que se instalarán serán del tipo formado por autoválvulas de óxidos metálicos.

Se instalará al menos uno en cada vía cada 2 cantones (es decir cada 2.5 km aproximadamente). En zonas de especial incidencia de impactos por rayo, bien en cantidad o en la energía de los mismos, se instalará uno por cada cantón y vía. En general se instalarán en la proximidad de los puntos fijos, conectados, por un lado, al sustentador de catenaria o feeder de refuerzo cuando exista, y, por el otro, a la toma de tierra y al cable tierra mediante las grapas de conexión indicadas en el presente libro.

Queda desaconsejada la instalación de otros tipos de pararrayos o descargadores de antenas.

### **Cable de Tierra**

Se utilizará cable de tierra tipo LA-110 o bien L-110, según vanos y tenses, para unir todos los postes y herrajes de electrificación. Cada 2.5 km como máximo se realizará una bajada a una toma de tierra, y en zonas de especial incidencia de impactos por rayo se realizarán dos bajadas por cada cantón. En el caso de que los macizos de fundación dispongan de una pica de puesta a tierra, no será necesario realizar las bajadas a la toma de tierra.

Las conexiones entre el cable de tierra y los postes o herrajes se realizarán mediante las grapas normalizadas tipo G36 o G39 respectivamente. Cuando existan bajadas desde la autoválvula se realizará el cruce con el cable de tierra con la grapa tipo G41.

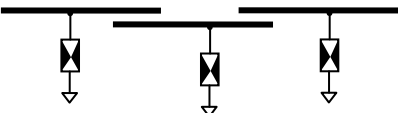
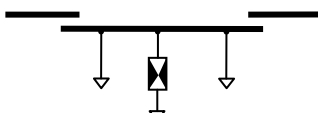
El cable de tierra de catenaria deberá conectarse a la pletina de tierra del pozo de negativos de las Subestaciones de Tracción, o en su defecto a un poste del pórtico de feederes. Cualquier cruce aéreo por encima de la catenaria deberá realizarse con cable aislado 6/10kV.

### Toma de Tierra

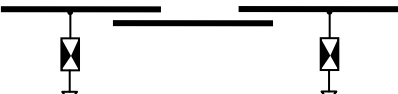
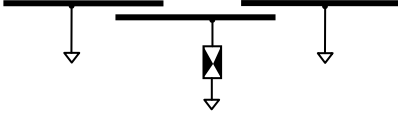
Como mínimo todos los pararrayos deben disponer de su correspondiente bajada con cable L-110 a una toma de tierra de 10 ohm, y adicionalmente cuando los macizos de fundación de postes no dispongan de pica de puesta a tierra, se instalarán bajadas del cable de tierra a una toma de tierra adicional. Las tomas de tierra serán independientes para cada una de las vías generales.

En caso de no disponer de datos suficientes, se realizará el correspondiente estudio geoelectrico para determinar la cantidad de picas necesarias en los pozos de tierra para obtener una resistencia inferior a 10 ohm, determinando incluso la necesidad de utilizar electrodos profundos. Habitualmente son necesarias un mínimo de 6 picas, según se indica en el presente libro. En el caso de que no exista espacio suficiente para instalar la geometría indicada en plano, se empleará una geometría en estrella, con pica principal y un mínimo de tres ramas.

La cantidad y ubicación de las tomas de tierra dependerá de la incidencia que tengan los impactos por rayo en una línea determinada, así como de si los macizos de fundación disponen de pica de puesta a tierra.

CANTIDAD Y UBICACIÓN DE LAS TOMAS DE TIERRA		
Tipo línea	Macizos de fundación con pica de p.a.t.	Macizos de fundación sin pica de p.a.t.
Zonas de especial impacto por rayos	<p>Una toma por cantón y vía para el pararrayos.</p> 	<p>Tres tomas por Cantón y vía: una para el pararrayos y dos bajadas adicionales del cable de tierra.</p> 



CANTIDAD Y UBICACIÓN DE LAS TOMAS DE TIERRA		
Tipo línea	Macizos de fundación con pica de p.a.t.	Macizos de fundación sin pica de p.a.t.
Resto de zonas	Una toma en cantones alternos para el pararrayos. 	Una toma por cantón y vía alternando pararrayos con bajadas del cable de tierra. 

### Protecciones en Pasos Superiores o Estructuras Transitables

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 indicaciones de la norma UNE-EN 50122-1.

### Dispositivos Limitadores de Tensión

En zonas de estación o en sus inmediaciones, todas las estructuras metálicas próximas a catenaria deberán estar protegidas conforme a los requisitos de la norma la norma UNE-EN 50122-1:

- Todas las estructuras metálicas estarán equipotenciales entre sí y conectadas al cable de tierra de catenaria.
- Las marquesinas, y en general cualquier estructura que por avería en catenaria pueda ponerse en tensión, deberá disponer de un "Dispositivo Limitador de Tensión" conectado al carril de retorno.

### 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**

En postes tipo X, Z, L y R se instalarán protecciones de seguridad antiescalada, así como las señales de advertencia de peligro eléctrico en los postes situados en los andenes de estaciones y en zonas frecuentadas por personas o en aquellos postes que se evidencie un elevado riesgo de electrocución.

En postes con equipos de compensación se instalarán protecciones para evitar el robo de los contrapesas.

### **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: Normas Adif Electrificación (NAE) e Instrucciones Técnicas (IT) . En su defecto aplicarán los Pliegos Técnicos de los proyectos constructivos o los procedimientos específicos aprobados para un equipo determinado.

	<b>LÍNEA AÉREA DE CONTACTO</b>  <b>MEMORIA DESCRIPTIVA</b> <b>CA 160/3KV</b>	<b>REVISIÓN:</b>  <b>JUNIO 2016</b>
---	---	---

### 3 CÁLCULOS Y FÓRMULAS

#### 3.1 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: 80°C para conductores de CuETP, y 100°C para el hilo de contacto de CuAg0.1

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

## 3.2 RESISTENCIA DEL CIRCUITO DE TRACCIÓN

### 3.2.1 RESISTENCIA DE LA CATENARIA

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

Siendo:

$l$  = longitud del conductor, suponiendo que tomamos 1 km

$S$  =sección total de la catenaria en mm<sup>2</sup>, incluyendo feeder si existe

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

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

### 3.2.2 RESISTENCIA DEL CARRIL

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

Siendo:

$l$  = longitud del carril

$S$  = sección del carril, expresada en función del peso específico

$\rho$  = peso del carril por unidad de longitud (kg/m)

$$\rho_{acero} = 0,190 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

Considerando que con los actuales circuitos de vía el retorno de tracción circula por un solo carril:

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

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

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

### 3.2.3 RESISTENCIA ELÉCTRICA TOTAL

La resistencia eléctrica total del circuito de tracción será la suma de las resistencias de la catenaria, considerando todos los conductores en paralelo, más la resistencia eléctrica del circuito de retorno compuesto por el carril.

$$R_{total} = R_{cat} + R_{carril}$$

En la siguiente tabla se presentan valores habituales de resistencia por kilómetro, considerando un solo carril de 60 kg/m como retorno de corriente.

RESISTENCIA ELECTRICA DEL CIRCUITO DE TRACCIÓN (Ohmios / km)				
	Cat. 150mm <sup>2</sup> + 2x107mm <sup>2</sup>		Cat. 150mm <sup>2</sup> + 2x120mm <sup>2</sup>	
	Sin Feeder	Con Feeder 225 mm <sup>2</sup>	Sin Feeder	Con Feeder 225 mm <sup>2</sup>
Vía Sencilla	0,07375	0,05508	0,07050	0,05380
Vía Doble	0,06133	0,04265	0,05807	0,04137

### 3.3 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.

#### 3.3.1 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, así como las secciones conductoras del sistema.

##### Determinación de la longitud máxima del cantón de compensación

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

$$D_1 = 0,5 L \alpha (t_{m\acute{a}x} - t_{med})$$

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

$$D_2 = 0,5 L \alpha (t_{med} - t_{m\grave{i}n})$$

Siendo:

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

$\alpha$  = Coeficiente de dilatación térmica del hilo de contacto ( $17 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ).

$t_{m\grave{i}n}$  = Temperatura mínima ambiental, en  $^\circ\text{C}$ .

$t_{m\acute{a}x}$  = Temperatura máxima de los conductores, en  $^\circ\text{C}$ .

$t_{med}$  = Temperatura media ambiental, en  $^\circ\text{C}$ .

El cálculo de la temperatura máxima del sustentador e hilos de contacto se deberá realizar siguiendo los criterios descritos en el apartado de dimensionamiento eléctrico. Como aproximación se podrá considerar la temperatura ambiente máxima incrementada en 30°C para líneas de la Red de Cercanías o en 25°C para el resto de líneas.

En el caso de que la relación entre los diámetros de las poleas de los equipos de compensación mecánica sea de 1:N (es decir 1:5 ó 1:3), los equipos de contrapesos recorrerán N veces la suma de la dilatación máxima y de la contracción máxima de los conductores. Este valor deberá ser menor que la longitud H (m) del tubo guía sobre el que se desplazan los contrapesos. Por tanto:

$$N (D_1 + D_2) < H (m)$$

Siendo:

$D_1$ = Dilatación máxima (m)  $D_2$ = Contracción máxima (m)

H= longitud útil del tubo guía (m)

A partir de esta ecuación se determinará la longitud máxima del cantón de compensación mecánica (L) para las temperaturas extremas de la zona consideradas en un periodo de 20 años.

### **Determinación de las secciones conductoras del sistema**

Cuando la temperatura máxima ambiente sea superior a 45°C, se deberá determinar la sección conductora del sistema, de tal forma que la temperatura máxima en los conductores no supere los 80°C para conductores de CuETP, y 100°C para el hilo de contacto de CuAg0.1, 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, según los criterios descritos en el apartado de dimensionamiento eléctrico.

### **3.3.2 VIENTO**

#### **Determinación de la fuerza del viento sobre conductores**

La carga de viento conductores  $Q_{w,c}$  se expresa en N/m. y se calculará conforme a lo descrito en la norma EN 50119 según la expresión:

$$Q_{w,c} = q_w \times G_c \times d_c \times C_c$$

Siendo:



$Q_{w,c}$ : fuerza sobre el conductor debida al viento por unidad de longitud (N/m)

$G_c$ : Factor de respuesta estructural, como está definido en la norma EN50119 que recomienda tomar el valor de 0.75.

$C_c$ : Coeficiente de resistencia aerodinámica del conductor.

$d_{HC}$ : Diámetro del conductor.

$Q_w$ : Presión dinámica del viento.

La presión dinámica del viento depende a su vez de varios parámetros y se obtiene mediante la expresión:

$$q_v = \frac{1}{2} \times G_q \times G_t \times \rho \times V_R^2$$

Donde:

$V_R^2$ : Es la *velocidad básica de referencia*, expresada en m/s. a una altura de 10 m. por encima del suelo en una media de min. Con periodo de retorno de 50 años.

$G_t$ : *Factor de terreno*. Con un valor de 1.0 para terrenos despejados. Para otras tipologías de terreno o viaductos se calculará conforme a lo expuesto en la norma EN 1991-1-4:2005.

$G_q$ : *Factor de respuesta a ráfagas*. Que para conductores tomará el valor recomendado por la norma EN50119 de 2.05.

$\rho$ : Densidad del aire. Se tomará el valor de referencia de 1.225 kg/m<sup>3</sup>, pudiendo corregirse en función de la altitud y la temperatura media de la instalación según:

$$\rho = 1,225 \times \left( \frac{288}{T} \right) \cdot e^{-1,25 \cdot 10^{-4} \cdot H}$$

Donde:

$\rho$ : Densidad del aire, expresada en Kg /m<sup>3</sup>

T: Temperatura media, expresada en Kelvin

H: Altitud, en m.

COEFICIENTES DE SEGURIDAD Y DIÁMETRO DE CONDUCTORES		
Tipo de conductor	Diámetro (mm)	$C_w$
<b>Hilo de contacto</b>		
107 mm <sup>2</sup>	12,4	1,2
120 mm <sup>2</sup>	13,2	1,1
150 mm <sup>2</sup> (*)	14,8	1,1
<b>Sustentador</b>		
95 mm <sup>2</sup> (*)	12,5	1,2
150 mm <sup>2</sup>	16,1	1,0
185 mm <sup>2</sup> (*)	19,0	1,0

(\*) Estos conductores no forman parte de la catenaria tipo CA-160/3kV y se incluyen solo como referencia

Quando los conductores gemelos funcionen en paralelo, se aplicará una reducción en la carga de viento del conductor a sotavento del 20%, cuando la separación en ambos conductores sea mayor a una distancia de 5 veces el diámetro del conductor.

### Determinación del vano máximo por 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.

Para determinar el vano máximo se calculará la desviación lateral máxima del hilo de contacto debido a la acción del viento, conforme al apartado 5.2.5 de la UNE-EN 50367 y a los criterios de cálculo de la UNE-EN 50119:2010.

Para pantógrafos de 1950mm, la desviación lateral máxima de los hilos de contacto, debido a tanto a la acción del viento como a otras aleatoriedades (basculación del tren y del pantógrafo, oscilaciones de las estructuras de catenaria, etc.) será  $c \leq 550$  mm.

### *Vano en recta con descentramiento*

El valor de la desviación lateral máxima perpendicular a la vía viene dado por la expresión:

$$c = \frac{a^2}{4 \times \frac{Q_{w,HC} \times L^2}{8 \times T_{HC}}} + \frac{Q_{w,HC} \times L^2}{8 \times T_{HC}}$$

Siendo:

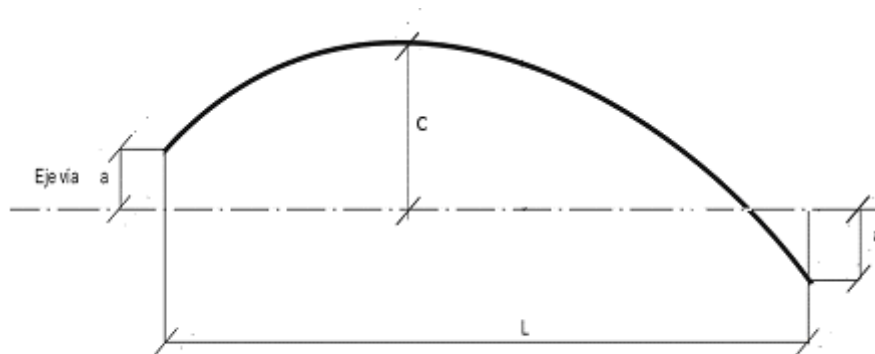
c : desviación lateral, perpendicular a la vía, expresado en m.

a : descentramiento en los apoyos, en m.

$Q_{w,HC}$  : fuerza del viento por unidad de longitud (N/m)

L : longitud del vano

$T_{HC}$  : tensión mecánica del hilo de contacto, expresada en N.



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:

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

Siendo:

L = longitud del vano

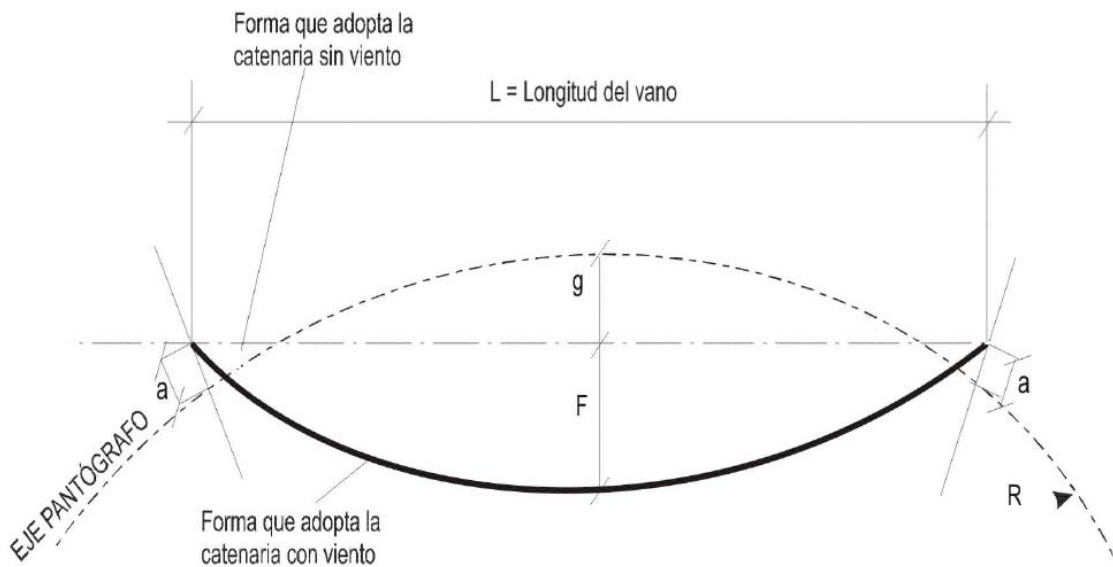
R = radio de la curva

$T_{HC}$  = tensión mecánica hilos de contacto

c = desviación lateral máxima admisible

a = descentramiento en los apoyos

$Q_{w,HC}$  = fuerza del viento por unidad de longitud (N/m)



### **Determinación de la fuerza del viento sobre elementos de la estructura**

La determinación de las cargas de viento sobre los elementos de la estructura se hará conforme a lo dispuesto en la norma UNE EN 50119 en su apartado

#### **3.3.3 SOBRECARGA DE HIELO**

En aquellas instalaciones donde exista riesgo de formación de manguito de hielo se tendrá en cuenta el incremento en el peso de los conductores y el aumento en el diámetro de estos.

Para la cuantificación de la sobrecarga por manguito de hielo se tomarán como referencia las normas UNE EN 50119 y UNE EN 50125-2, adoptándose los siguientes valores en función de la altitud de la instalación sobre el nivel del mar y la probabilidad de incidencias por hielo.

SOBRECARGA LINEAL DEL MANGUITO DE HIELO					
Criterio de selección	Altitud (m)	0 – 500	500 – 1000	500 – 1000	1000 – 1500
	Incidencias registradas por manguito	-	NO	SÍ	-
Clase de Carga (Según UNE EN 50125)		I0 (Sin hielo)	I1 (Carga baja)	I2 (Carga media)	I3 (Carga fuerte)
Carga lineal por hielo		0 N/m	3.5 N/m	7 N/m	15 N/m
Densidad del hielo		-	750 kg./m <sup>3</sup>	750 kg./m <sup>3</sup>	900 kg./m <sup>3</sup>
Reducción del 50% de la carga de hielo sobre el hilo de contacto		-	SÍ	SÍ	NO

Estas sobrecargas se aplicarán linealmente a todos los conductores con diámetros entre 10 – 20 mm (sustentador, hilos de contacto, cable de tierra, feederes, etc).

Para los hilos de contacto se considera una reducción del 50% de la carga de hielo, solo en determinadas hipótesis, según la tabla anterior.

### 3.4 CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE CATENARIA

En los postes de catenaria los mayores esfuerzos se dan en la base del poste. El momento resultante determinará por tanto la elección de un tipo de poste u otro.

#### Tipos de carga

1. *Cargas permanentes.* Se trata de las cargas que afectan a la estructura En cualquier caso de carga. A este tipo de cargas pertenecen:
  - o *Peso propio de la estructura:* Conjunto de atirantado, conjunto de suspensión, ménsula, etc.
  - o *Esfuerzos radiales:* Entendiendo estos como los esfuerzos radiales de atirantado de los conductores y los esfuerzos radiales de los conductores auxiliares en curva.

CUANTIFICACIÓN DE LOS ESFUERZOS RADIALES	
Atirantado en recta	En curva
$\tau_1 = \frac{2 \times d \times n}{L/2} \times T$	$\tau_2 = \frac{n \times L}{R} \times T$
Donde: L: Vano d: Descentramiento (m.) n: Número de conductores T: Tense del conductor R: Radio de curvatura	

- *Peso propio de los conductores:* Peso propio del o de los hilos de contacto, sustentador y pendolado.
  - *Peso propio de los conductores auxiliares:* Federes, cables de tierra y de señalización
2. *Cargas de viento:* Se tendrá en cuenta la carga de viento sobre los conductores (de catenaria o auxiliares) en dos orientaciones distintas.
    - *Viento lateral:* En las dos disposiciones (a izquierda y derecha). Aplicada sobre el poste y los conductores.
    - *Viento en el plano de la vía:* Se aplicará sólo sobre el poste y sobre dintel y postes en el caso de los pórticos.
  3. *Cargas de hielo:* Se considerarán las cargas de hielo sobre los hilo de contacto, sustentador y conductores auxiliares tal y como están definidas en el apartado 3.3.3.
  4. *Cargas térmicas:* Por ser la catenaria compensada no existen esfuerzos provocados por la dilatación de los conductores significativos. Cuando proceda se tendrá en cuenta la dilatación de los componentes de la estructura.
  5. *Cargas de mantenimiento y construcción:* Se entiende por estas cargas aquellas que pueden darse durante las labores de montaje o mantenimiento de la estructura:
    - Cargas derivadas de la sustitución de conductores. Sustitución del sustentador o hilo/s de contacto.
    - Simulación del peso de un operario. En estructuras con dinteles. Se

podrá tomar un peso de 150 kg. en la situación más desfavorable de la estructura.

### **Hipótesis de carga**

Las hipótesis de carga a considerar serán las siguientes:

1. *Hipótesis de cargas permanente:* Se tendrán en cuenta tan sólo las cargas permanentes, tal y como están definidas en el punto anterior.
2. *Hipótesis de viento:* Cargas permanentes + cargas de viento. Se combinará la carga permanente con la carga de viento en las tres disposiciones distintas, e incompatibles; viento lateral en los dos sentidos y viento en dirección de la vía.
3. *Hipótesis de hielo:* Cargas permanentes + carga de hielo sobre los conductores
4. *Hipótesis combinada de viento y hielo:* Cargas permanentes + cargas de hielo + cargas de viento en las tres disposiciones.
5. *Hipótesis de temperatura.* Cargas permanentes + sobrecargas térmicas.
6. *Hipótesis de cargas de mantenimiento y montaje.* Cargas permanentes + sobrecargas de mantenimiento y montaje.

Para el caso de combinaciones de cargas de viento y de hielo, se calcularán las cargas de viento con una reducción de un 50% en la velocidad de éste, considerando el aumento en el diámetro del conductor según lo indicado en el punto 3.3.3.

Normalmente para el caso de los postes las hipótesis más desfavorables serán aquellas que corresponden con los vientos laterales y combinaciones con la hipótesis de hielo (en caso de que se considere) o sustitución de conductores, por lo que las hipótesis de viento en la dirección de la vía no será necesario calcularlas. Así mismo, en la mayoría de los casos, los mayores esfuerzos se concentrarán en la base del poste

En el caso de los pórticos la hipótesis de viento en la dirección del a vía adquiere una especial relevancia, ya que los postes en su base son muy sensibles a las cargas de viento sobre el dintel y el propio poste.

Para el caso de postes simples no será necesario calcular los efectos ocasionados por la dilatación de la estructura.

### **Coefficientes de mayoración**

Con objeto de hacer más fiable la estructura las cargas calculadas se mayorarán multiplicando éstas por un coeficiente que variará en función de su naturaleza.

<b>COEFICIENTES DE MAYORACIÓN DE LAS CARGAS</b>	
<b>Tipo de carga</b>	<b>Coefficiente</b>
Permanente	1.3
Viento	1.3
Hielo	1.0
Térmicas	1.0
Mantenimiento y construcción	1.5

Tanto para las cargas térmicas como para las cargas de hielo se recomienda tomar un valor de 1.0 por considerarse ya mayoradas.

Algunas cargas permanentes pueden tener un efecto favorable para la estructura. En estos casos se recomienda tomar un coeficiente de mayoración de 1.0 ó en el caso de que por alguna razón exista la posibilidad de que a lo largo de la vida útil de la estructura dichas cargas sean eliminadas se supondrá una hipótesis en la que dichas cargas no estén presentes.

### **Resistencia de la estructura**

La estructura ha de dimensionarse de forma que todos sus elementos soporten los esfuerzos máximos que pueden darse para todas las hipótesis de carga.

De la misma forma que se mayorán las cargas aplicadas sobre la estructura, se minorará la resistencia de los materiales.

Las comprobaciones de resistencia, así como los coeficientes de mayoración pueden tomarse del apartado 6.4 de la norma EN 50119:2010.

### **Comprobaciones geométricas de la estructura.**

Para postes la flecha vertical no puede superar el valor de  $L/250$ , siendo  $L$  la longitud del poste (base del poste a cabeza de poste).



En pórticos la flecha del dintel no puede superar el valor de  $L/500$  en vertical, donde "L" es la luz del dintel. La flecha en horizontal (ocasionada por las cargas de viento en la dirección de la vía sobre el dintel) no puede sobrepasar el valor de  $L/250$ .

### 3.5 CÁLCULO DEL PENDOLADO

Datos en el cálculo del pendolado

- Longitud del vano.-  $m$
- Sección del sustentador.-  $mm^2$
- Peso lineal del sustentador.-  $kg/m$
- Sección del hilo de contacto.-  $mm^2$
- 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.

### **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-160/3kV**

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 el presente libro
- 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 el presente libro
- El pendolado será de tipo Co7/Co8
- La distribución será equidistante.

### **Valores de referencia**

En la siguiente tabla se muestran valores de referencia tanto para el pendolado por parejas como para pendolado equidistante, considerando en ambos casos los tenses normalizados para sustentador de 150mm<sup>2</sup> e hilos de contacto de 107mm<sup>2</sup>.

Estos valores son orientativos y deben calcularse en cada situación particular con un programa de cálculo de péndolas validado por Adif.

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

<b>CA-160</b>					
<b>TABLA DE REFERENCIA SOBRE DISTRIBUCIÓN DE PÉNDOLAS POR PAREJAS</b>					
<b>VÍAS GENERALES</b>					
<b>Vano (m)</b>	<b>Número de Péndolas</b>	<b>Nº de Parejas</b>	<b>Distancia de 1ª péndola al apoyo (m)</b>	<b>Distancia interior par</b>	<b>Distancia entre parejas</b>
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
40,00	12	6	4,75	0,50	5,50
39,50	12	6	4,75	0,50	5,40

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
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

<b>CA-160</b>					
<b>TABLA DE REFERENCIA SOBRE DISTRIBUCIÓN DE PÉNDOLAS POR PAREJAS</b>					
<b>VÍAS GENERALES</b>					
<b>Vano (m)</b>	<b>Número de Péndolas</b>	<b>Nº de Parejas</b>	<b>Distancia de 1ª péndola al apoyo (m)</b>	<b>Distancia interior par</b>	<b>Distancia entre parejas</b>
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

<b>CA-160</b>			
<b>TABLA DE REFERENCIA SOBRE DISTRIBUCIÓN DE PÉNDOLAS EQUIDISTANTE 2 HILOS DE CONTACTO</b>			
<b>VÍAS SECUNDARIAS</b>			
<b>Vano (m)</b>	<b>Nº péndolas</b>	<b>Distancia de 1ª péndola al apoyo (m)</b>	<b>Distancia entre péndolas (m)</b>
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

<b>CA-160</b>			
<b>TABLA DE REFERENCIA SOBRE DISTRIBUCIÓN DE PÉNDOLAS EQUIDISTANTE 1 HILOS DE CONTACTO</b>			
<b>VÍAS SECUNDARIAS</b>			
<b>VANO (m)</b>	<b>Nº PÉNDOLAS</b>	<b>DISTANCIA DE 1ª PÉNDOLA AL APOYO (m)</b>	<b>DISTANCIA ENTRE PÉNDOLAS (m)</b>
60	10	3,00	6
59	9	5,50	6
54	9	3,00	6

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)
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

### 3.6 CÁLCULO DE FEEDER Y DE CABLE DE TIERRA

Los *feeders* y cables de tierra, por no estar compensados son sensibles al cambio de temperatura, lo que influye directamente en la flecha de los conductores y en su tense.

Las temperaturas bajas combinadas con las sobrecargas de hielo o viento y hielo ocasionan incrementos de tense que pueden provocar la rotura de conductores.

Las temperaturas elevadas, y la combinación de las temperaturas elevadas con viento pueden ocasionar incrementos en la flecha o desplazamiento de los conductores que pueden hacer que estos no respeten las distancias de



seguridad.

### 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:

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

Si se hace:

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

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

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).

$\theta_1$  = Temperatura inicial del conductor (°C).

$\theta_2$  = Temperatura correspondiente a la tensión que se quiere determinar (°C).

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

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

$S$  = Sección del conductor (mm<sup>2</sup>).

$\varepsilon$  = Coeficiente de alargamiento elástico (mm<sup>2</sup>/N), inverso al módulo de elasticidad E.

$\alpha$  = Coeficiente de dilatación lineal del cable (°C<sup>-1</sup>).

$a$  = 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).

### 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 2.5, para unas condiciones de temperatura y sobrecargas correspondientes a la zona por la que transcurre la línea.

Las condiciones de tracción máxima se calcularán según los siguientes parámetros.

Tramo	Coeficiente de seguridad	Condiciones tracción máxima		
		T (N)	t (°C)	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 los siguientes parámetros.

Tramo	Vano regulación, V (m)	Flecha, 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 °C 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. Se reflejarán los resultados obtenidos según los siguientes parámetros.

Vano regulación v (m)	Condiciones iniciales (=máx. Tracción)			Condiciones finales			E.D.S. (%)
	$T_1$ (N)	$t_1$ (°C)	$p_1$ (N/m)	$T_2$ (N)	$t_2$ (°C)	$p_2$ (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 °C 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:

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

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)	$t_1$ (°C)	$p_1$ (N/m)	$T_2$ (N)	$t_2$ (°C)	$p_2$ (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	$T_2/C_R \times 100$

### 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.

Se reflejarán los resultados obtenidos según los siguientes parámetros:

Hipótesis	Peso unitario $P_2$ (N/m)	Temperatura $t_2$ (°C)	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 según los siguientes parámetros.

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  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $+50^{\circ}\text{C}$ , sin sobrecarga. En ellas quedarán reflejados los distintos valores de tensión mecánica y flecha para cada vano en función de la temperatura.

### 3.7 COEFICIENTES DE SEGURIDAD EN LA CATENARIA

#### Coeficiente de seguridad en conductores compensados

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:

COEFICIENTES DE SEGURIDAD		
Sustentador	Hilos de contacto	Cables de colas de anclaje
2.5	2.5*	3

\*Teniendo en cuenta el máximo desgaste permitido

#### Coeficiente de seguridad en conductores no compensados

El coeficiente de seguridad mínimo para los cálculos de las tensiones mecánicas de conductores no compensados (feeder, cable de tierra, etc.) será al menos de 3.

#### Coeficiente de seguridad en componentes

Para los elementos estructurales y otros componentes se emplearán los siguientes coeficientes de seguridad

COEFICIENTES DE SEGURIDAD			
Piezas de anclaje	Herrajes estructurales	Brazos de atirantado y péndolas *	Aisladores
Igual a la carga de rotura del cable	2	5	3 – 5*

(\*) En general para cualquier pieza no estructural sometida a esfuerzos de fatiga se aplicará un CS=5

## **ANEJOS**

**A.1. ESQUEMAS DE MACIZOS DE FUNDACIÓN PARA POSTES Y ANCLAJES**

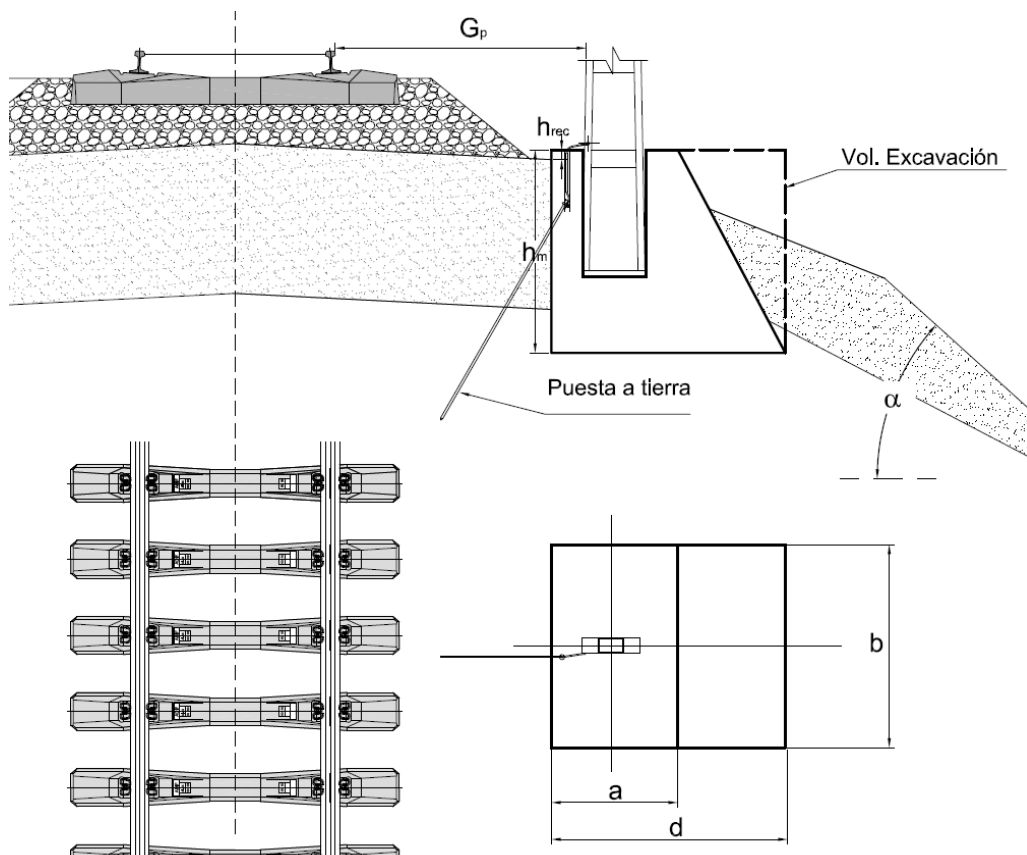
**A.2. MAPA DE VIENTO MEDIO**

## **ANEJO 1**

### **ESQUEMAS DE MACIZOS DE FUNDACIÓN PARA POSTES Y ANCLAJES**

## MACIZOS PARA POSTES DE PLANTA RECTANGULAR

### Macizo en Terraplen tipo "t"

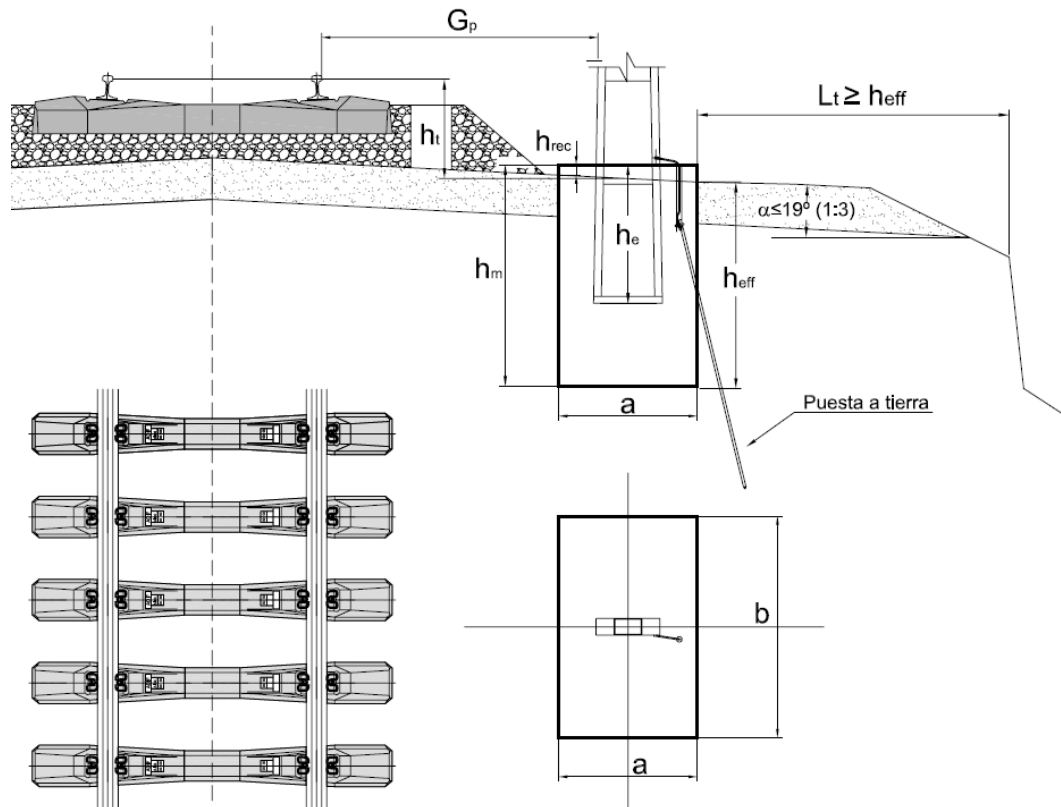




**Tabla I. Dimensiones de los macizos tipo "t" de planta rectangular**

Tipo	Dimensiones					
	a (m)	b (m)	d (m)	h <sub>m</sub> (m)	Vol. Excavación (m <sup>3</sup> )	Vol. Hormigonado (m <sup>3</sup> )
t <sub>1</sub>	0,9	0,9	1,75	1,6	2,4	1,9
t <sub>2</sub>	1	1	1,85	1,6	2,8	2,3
t <sub>3</sub>	1,1	1,1	1,95	1,6	3,2	2,7
t <sub>4</sub>	1,2	1,2	2,05	1,6	3,7	3,1
t <sub>5</sub>	1,3	1,3	2,15	1,6	4,2	3,6
t <sub>6</sub>	1,4	1,4	2,25	1,6	4,7	4,1
t <sub>7</sub>	1,5	1,5	2,35	1,6	5,3	4,6
t <sub>8</sub>	1,6	1,6	2,45	1,6	5,9	5,2
t <sub>9</sub>	1,7	1,7	2,55	1,6	6,5	5,8
t <sub>10</sub>	1,8	1,8	2,65	1,6	7,2	6,4
t <sub>11</sub>	1,9	1,9	2,75	1,6	7,8	7,1
t <sub>12</sub>	2	2	2,85	1,6	8,6	7,8
t <sub>13</sub>	2,1	2,1	2,95	1,6	9,3	8,5
t <sub>14</sub>	2,3	2,3	3,15	1,6	10,9	10,0
t <sub>15</sub>	2,4	2,4	3,25	1,75	12,9	11,9
t <sub>16</sub>	2,5	2,5	3,35	1,75	13,8	12,8
t <sub>17</sub>	2,6	2,6	3,45	1,75	14,8	13,8
t <sub>18</sub>	2,7	2,7	3,55	1,75	15,8	14,8
t <sub>19</sub>	2,8	2,8	3,65	1,75	16,9	15,8
t <sub>20</sub>	3,1	3,1	3,85	2,25	25,7	24,2
t <sub>21</sub>	3,4	3,4	4	2,6	34,0	32,7

**Macizo en Desmonte tipo "d"**

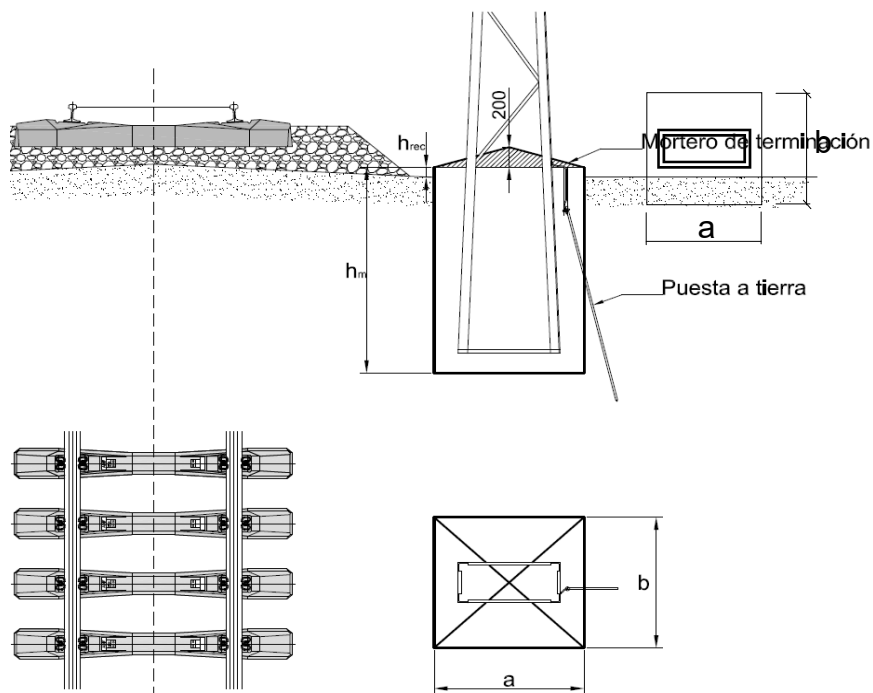


**Tabla II. Dimensiones de los macizos tipo "d" de planta rectangular**

Tipo	Diemnsiones				
	a (m)	b (m)	h <sub>m</sub> (m)	Vol. Excavación (m <sup>3</sup> )	Vol. Hormigonado (m <sup>3</sup> )
<b>d<sub>2</sub></b>	1	1	1,6	1,50	1,60
<b>d<sub>3</sub></b>	1	1	1,75	1,65	1,75
<b>d<sub>4</sub></b>	1	1,1	1,9	1,98	2,09
<b>d<sub>5</sub></b>	1	1,2	2	2,28	2,40
<b>d<sub>6</sub></b>	1	1,3	2,05	2,54	2,67
<b>d<sub>7</sub></b>	1	1,35	2,1	2,70	2,84
<b>d<sub>8</sub></b>	1,1	1,6	2,1	3,52	3,70
<b>d<sub>9</sub></b>	1,1	1,8	2,1	3,96	4,16
<b>d<sub>10</sub></b>	1,2	2	2,1	4,80	5,04
<b>d<sub>11</sub></b>	1,3	2,2	2,1	5,72	6,01
<b>d<sub>12</sub></b>	1,5	2,4	2,1	7,20	7,56
<b>d<sub>13</sub></b>	1,5	2,5	2,1	7,50	7,88
<b>d<sub>14</sub></b>	1,5	2,6	2,1	7,80	8,19
<b>d<sub>15</sub></b>	1,8	2,4	2,1	8,64	9,07
<b>d<sub>16</sub></b>	1,9	2,55	2,1	9,69	10,17
<b>d<sub>17</sub></b>	2	2,55	2,1	10,20	10,71
<b>d<sub>18</sub></b>	2,1	2,6	2,1	10,92	11,47
<b>d<sub>19</sub></b>	2,15	2,6	2,1	11,18	11,74
<b>d<sub>20</sub></b>	2,4	2,8	2,25	14,45	15,12
<b>d<sub>21</sub></b>	2,65	3	2,6	19,88	20,67

**MACIZOS PARA POSTES TIPO L Y R**

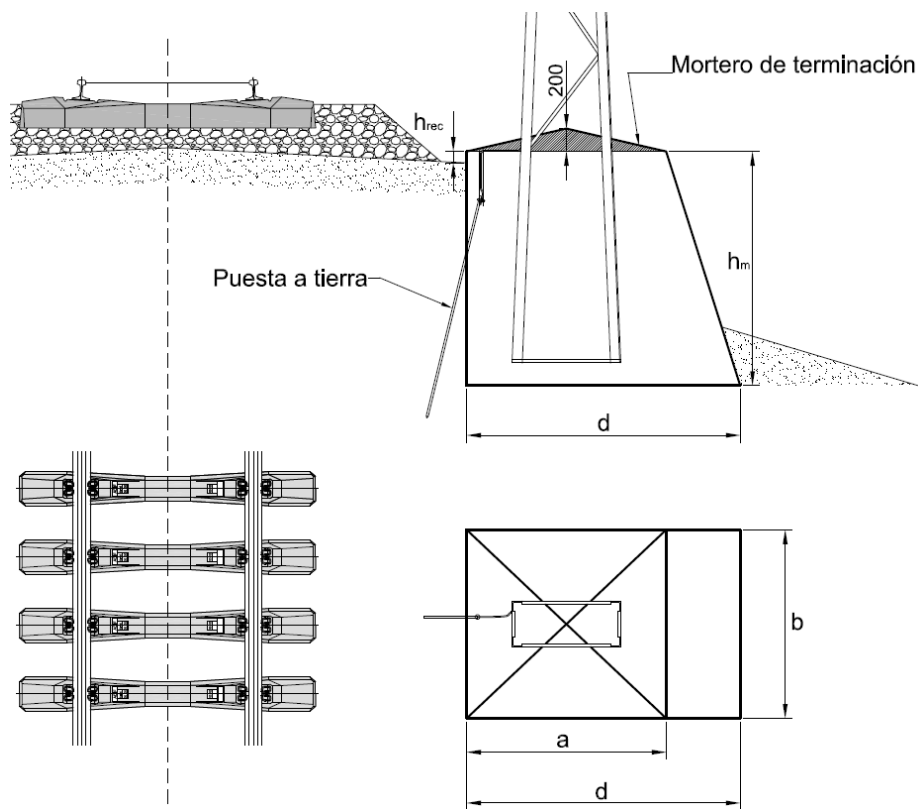
**Macizos en desmante**



**Tabla III. Macizos de planta rectangular para postes L y R en desmante**

Tipo de macizo Desmante	Dimensiones			
	a (m)	b (m)	$h_m$ (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )
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

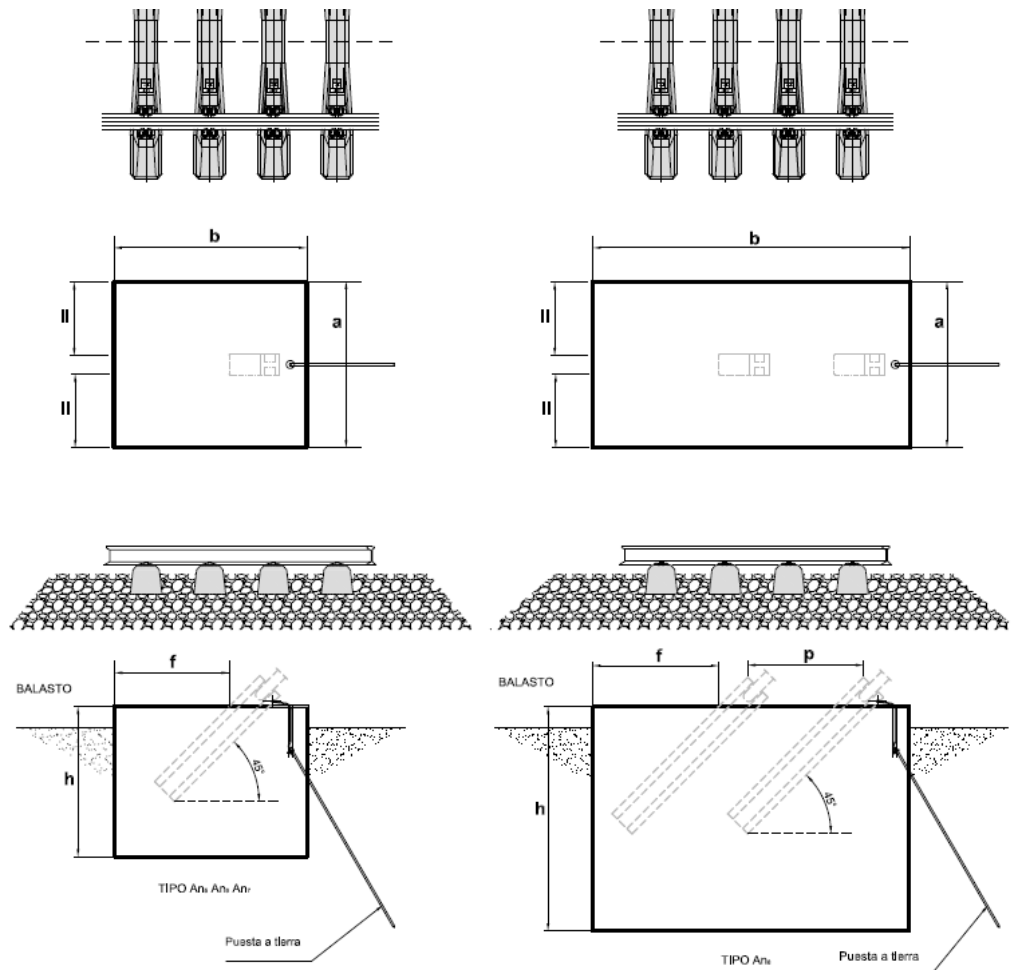
**Macizos en terraplén**



**Tabla IV. Macizos de planta rectangular para postes L y R en terraplén**

Tipo de macizo Terraplén	Dimensiones				
	a (m)	b (m)	d (m)	h (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )
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**

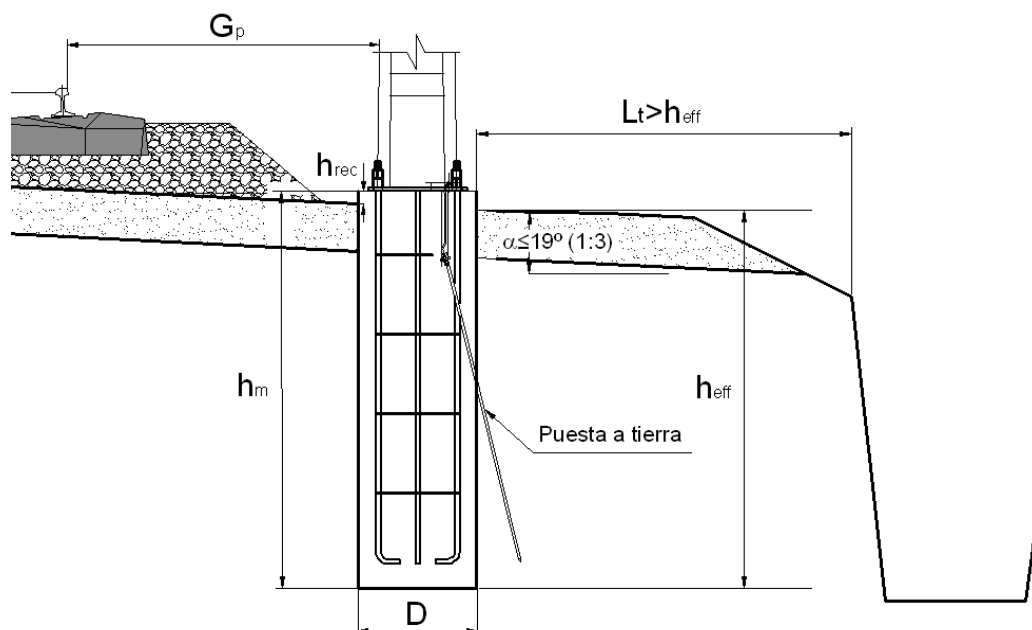


**Tabla V. Macizos de anclaje de planta rectangular tipos An<sub>5</sub> a An<sub>8</sub>**

Tipo	Dimensiones					
	a (m)	b (m)	h (m)	f (m)	Vol.excavación (m <sup>3</sup> )	Vol. Hormigonado (m <sup>3</sup> )
<b>An<sub>5</sub></b>	1,2	1,2	1	0,8	1,296	1,44
<b>An<sub>6</sub></b>	1,3	1,3	1,2	0,8	1,859	2,028
<b>An<sub>7</sub></b>	1,3	1,3	1,5	0,8	2,366	2,535
<b>An<sub>8</sub></b>	1,3	2,5	1,7	0,8	5,2	5,525

## MACIZOS PARA POSTES DE PLANTA CIRCULAR

### Macizos en desmante

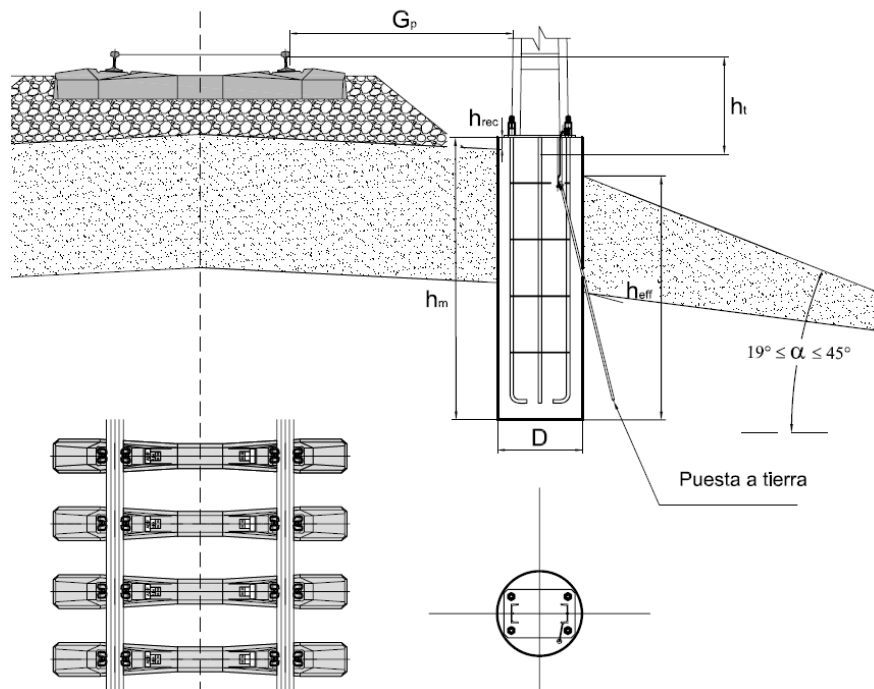


**Tabla VI. Macizos cilíndricos en desmante, tipos Cd<sub>1</sub> a Cd<sub>8</sub>**

Tipo	Dimensiones						
	D (m)	h <sub>ef</sub> (m)	h <sub>rec min</sub> (m)	h <sub>rec max</sub> (m)	Vol. Excavación (m <sup>3</sup> )	Vol. Min Hormigonado (m <sup>3</sup> )	Vol. Max* Hormigonado (m <sup>3</sup> )
Cd <sub>1</sub>	0.75	2.5	0.1	0.5	1.1	1.15	1.38
Cd <sub>2</sub>	0.75	2.75	0.1	0.5	1.2	1.26	1.49
Cd <sub>3</sub>	1	2.5	0.1	0.5	2.0	2.04	2.49
Cd <sub>4</sub>	0.75	3	0.1	0.5	1.3	1.37	1.60
Cd <sub>5</sub>	0.75	3.25	0.1	0.5	1.4	1.48	1.71
Cd <sub>6</sub>	1	3	0.1	0.5	2.4	2.43	2.88
Cd <sub>7</sub>	1	3.5	0.1	0.5	2.7	2.83	3.28
Cd <sub>8</sub>	1	3.75	0.1	0.5	2.9	3.02	3.47

(\*Valor calculado considerando la inclinación máxima del terreno y el recrecido)

### Macizos en terraplén



**Tabla VII. Macizos cilíndricos en terraplén, tipos Ct<sub>1</sub> a Ct<sub>8</sub>**

Tipo	Dimensiones						
	D (m)	h <sub>ef</sub> (m)	h <sub>rec min</sub> (m)	h <sub>rec max</sub> (m)	Vol. Excavación (m <sup>3</sup> )	Vol. Min Hormigonado (m <sup>3</sup> )	Vol. Max* Hormigonado (m <sup>3</sup> )
<b>Ct<sub>1</sub></b>	0.75	2.75	0.1	0.5	1.2	1.32	1.54
<b>Ct<sub>2</sub></b>	0.75	3	0.1	0.5	1.3	1.43	1.65
<b>Ct<sub>3</sub></b>	0.75	3.25	0.1	0.5	1.4	1.54	1.76
<b>Ct<sub>4</sub></b>	1	3	0.1	0.5	2.4	2.57	3.00
<b>Ct<sub>5</sub></b>	0.75	3.5	0.1	0.5	1.5	1.65	1.87
<b>Ct<sub>6</sub></b>	1	3.5	0.1	0.5	2.7	2.96	3.40
<b>Ct<sub>7</sub></b>	1	4	0.1	0.5	3.1	3.36	3.79
<b>Ct<sub>8</sub></b>	1	4.5	0.1	0.5	3.5	3.75	4.18

(\*) Valor calculado considerando la inclinación máxima del terreno y el recorcido



### Macizos de anclaje

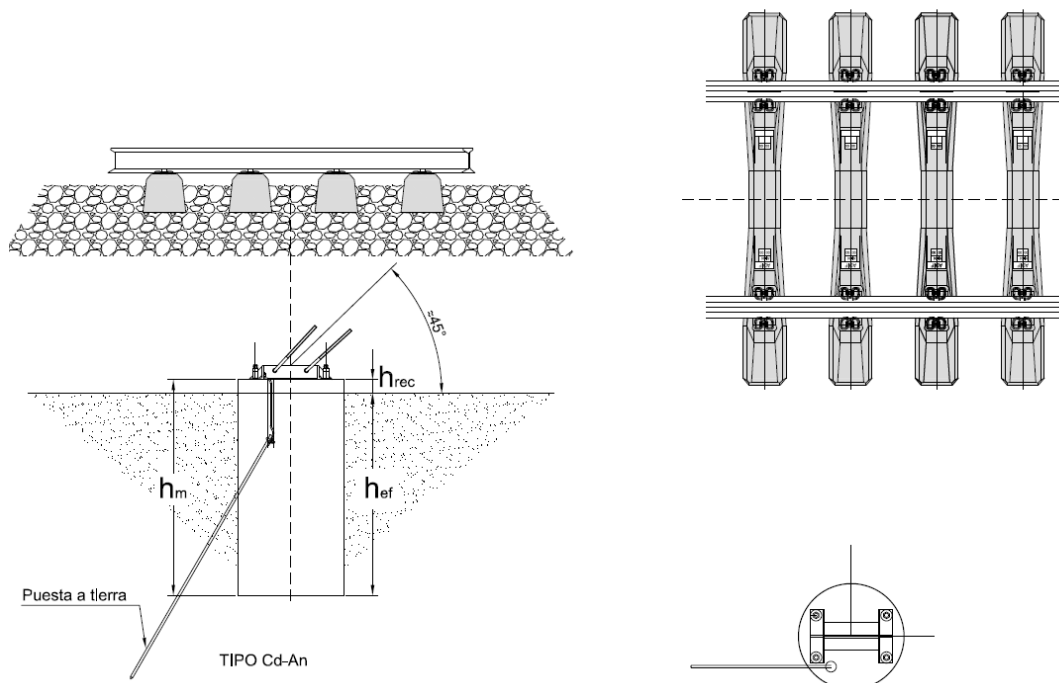
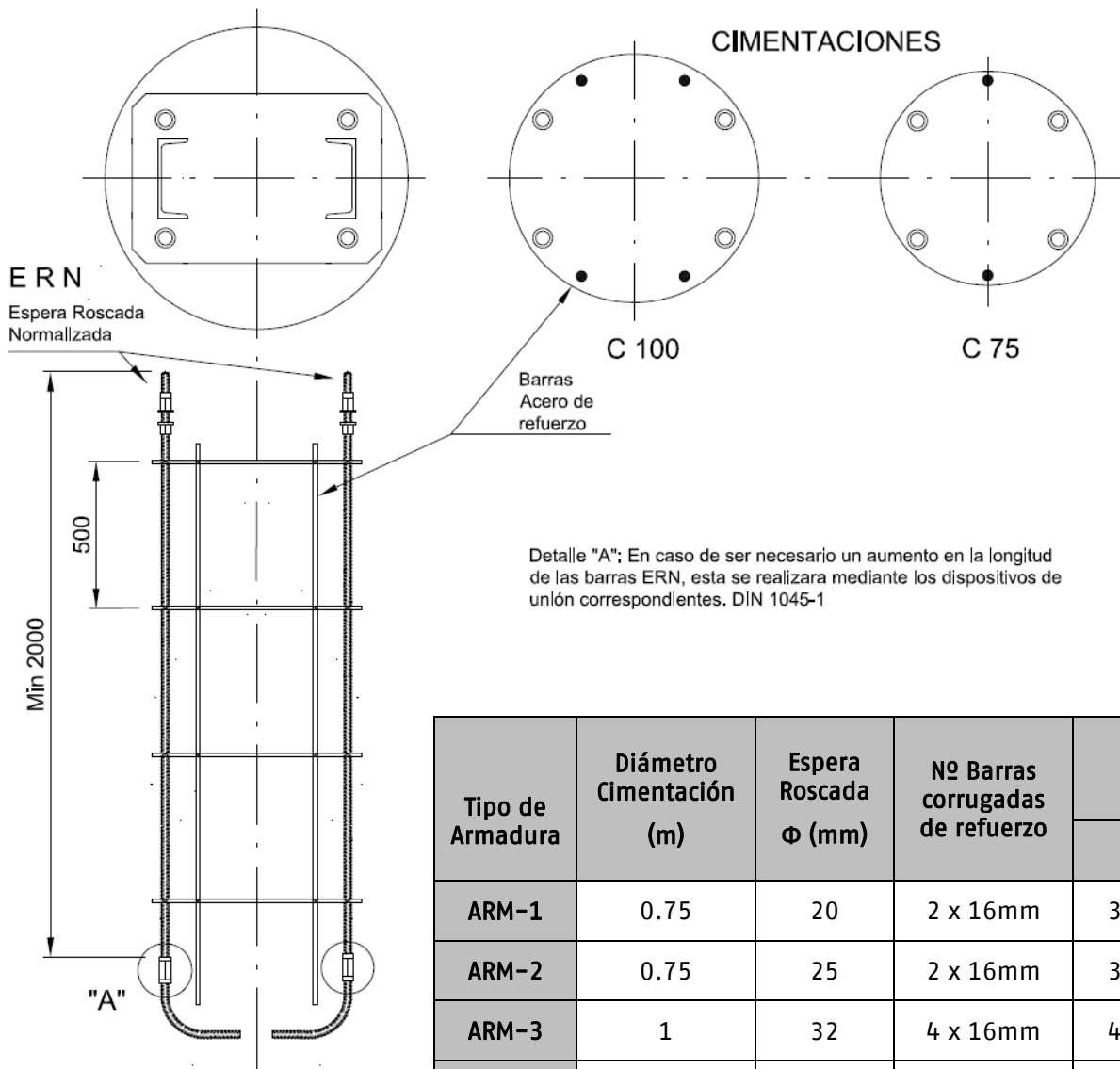


Tabla VIII. Macizos cilíndricos de anclaje tipos Cd-An<sub>x</sub>

Tipo	Dimensiones								
	D (m)	$h_{ef}$ (m)	$h_{rec}$ (m)	V (m <sup>3</sup> )	P (daN)	Vt (m <sup>3</sup> )	$R_L$ (daN)	$R_{arranque}$ (daN·m)	F (daN·m)
Cd-An <sub>1</sub>	1	1,5	0,1	1,26	2765	2,29	15000	5975	8000
Cd-An <sub>2</sub>	0,75	2	0,1	0,93	2041	3,96	15000	7578	10500
Cd-An <sub>3</sub>	1	2	0,1	1,65	3629	4,59	20000	10054	14000
Cd-An <sub>4</sub>	0,75	2,5	0,1	1,15	2527	7,55	18750	13094	18500
Cd-An <sub>5</sub>	1	2,5	0,1	2,04	4492	7,97	25000	15655	22000
Cd-An <sub>6</sub>	0,75	3	0,1	1,37	3013	11,21	22500	18703	26000
Cd-An <sub>7</sub>	1	3	0,1	2,43	5356	12,63	30000	23045	32500
Cd-An <sub>8</sub>	0,75	3,5	0,1	1,59	3499	16,82	26250	27053	37000
Cd-An <sub>9</sub>	1	3,5	0,1	2,83	6220	18,77	35000	32496	45500

**Tipos de Armaduras**



Tipo de Armadura	Diámetro Cimentación (m)	Espera Roscada $\Phi$ (mm)	Nº Barras corrugadas de refuerzo	Dimensiones (mm)	
				a	b
ARM-1	0.75	20	2 x 16mm	300	500
ARM-2	0.75	25	2 x 16mm	300	500
ARM-3	1	32	4 x 16mm	400	700
ARM-4	1	40	4 x 16mm	400	700

## **ANEJO 2**

### **MAPA DE VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO**

