ELECTRIFICACIÓN

NORMAS TÉCNICAS

ADMINISTRADOR DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS

NAE 116

CÁLCULO Y MONTAJE DEL PENDOLADO PARA LÍNEAS AÉREAS DE CONTACTO DE C.C. (LÍNEAS CONVENCIONALES)

1ª EDICIÓN: Diciembre 2007

NORMA TÉCNICA

NAE 116

CÁLCULO Y MONTAJE DEL PENDOLADO PARA LÍNEAS AÉREAS DE CONTACTO DE C.C. (LÍNEAS CONVENCIONALES)

MODIFICACIONES Y ANULACIONES

El presente documento ha sido aprobado por el Presidente del Comité para la Gestión del Conocimiento en uso de las atribuciones que le han sido delegadas.

Madrid, 26 de diciembre de 2007

EQUIPO REDACTOR

- *Dirección Ejecutiva de Mantenimiento de Infraestructura*
- *Dirección de Gestión Operativa de Activos*
- *Dirección de Innovación Tecnológica*
- *Dirección de Instalaciones*

ÍNDICE DE CONTENIDOS PÁGINA

1. INTRODUCCIÓN 5

2. OBJETO 5

3. CAMPO DE APLICACIÓN 5

4. PARÁMETROS A CONSIDERAR EN LA METODOLOGÍA DEL CÁLCULO DEL PENDOLADO 5
- 4.1. Descripción general 6
- 4.2. Datos de entrada 6
- 4.3. Datos de salida 8
- 4.4. Cantón 8

5. TIPOS DE PENDOLADO 8
- 5.1. Pendolado arbitrario 9
- 5.2. Pendolado equidistante 9
- 5.3. Pendolado por parejas 9
- 5.4. Definición de pendolado en tipo de catenaria 10

6. CRITERIOS TÉCNICOS DE DISEÑO 10
- 6.1. Descentramiento 10
- 6.2. Elevación del brazo de atirantado (E.B.C.) 11
- 6.3. Pendiente de la vía 11
- 6.4. Fuerza del pantógrafo 11
- 6.5. Elasticidad de la línea 11
- 6.6. Influencia de la flecha en el peso soportado por las péndolas 12
- 6.7. Péndola 12
- 6.8. Componente vertical máxima permitida en el brazo de atirantado 12
- 6.9. Rendimiento del brazo de atirantado 12
- 6.10. Esfuerzo radial del brazo de atirantado 13
- 6.11. Fuerzas mecánicas que intervienen en el cálculo de las péndolas 15
- 6.12. Peso de los materiales 16
- 6.13. Vano de elevación en seccionamiento 17
- 6.14. Vano de elevación de agujas 18
  - 6.14.1. Vano de elevación aguja Tangencial 18
  - 6.14.2. Vano de elevación aguja cruzada 19
- 6.15. Tense de los cables 20

7. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES 22
- 7.1. Sustentador 22
- 7.2. Hilos de contacto 23
- 7.3. Péndolas 25
- 7.4. Brazos de atirantado 25

7.5. Grifas y elementos auxiliares 25
7.6. Coeficientes de seguridad 25

8. MONTAJE 25
8.1. Consideraciones iniciales 25
8.1.1. Péndolas 26
8.1.2. Colas de anclaje 26
8.1.2.1. Conjunto de compensación 26
8.1.2.2. Hilo de contacto 27
8.1.2.3. Sustentador 27
8.1.2.4. Seccionamiento 27
8.2. Norma general en la verificación 27
8.3. Proceso de montaje 28

9. TABLAS DISTRIBUCIÓN DE PENDOLADO 29

1. INTRODUCCIÓN

La fiabilidad de la Línea Aérea de Contacto viene determinada fundamentalmente por su comportamiento dinámico, entendiendo que cuanto mayor sea la velocidad de circulación de los trenes, mejor deberá ser éste para asegurar la captación de la corriente.

Las características dinámicas vienen determinadas fundamentalmente por los siguientes parámetros:

- Velocidad máxima de circulación.
- Tensión y masa de los conductores que la componen.
- Distribución y tipo de pendolado.

Es por ello que se considera muy importante sentar las bases para él cálculo y montaje del pendolado.

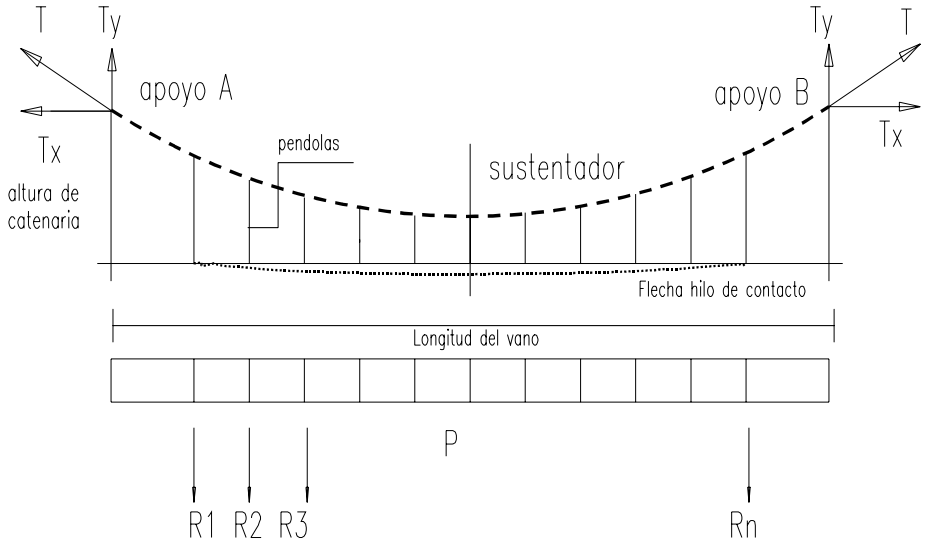
2. OBJETO

La presente Norma tiene por objeto unificar, definir y fijar las condiciones que se han de llevar a cabo tanto en los cálculos como en los trabajos de ejecución del montaje y distribución del pendolado de la Línea Aérea de Contacto de ADIF en corriente continua.

3. CAMPO DE APLICACIÓN

Será de aplicación en los trabajos de ejecución de montaje de la línea aérea de contacto (catenaria) tipo CA-160, CAU-200 y CA-220, que se lleven a cabo dentro del ámbito de cualquier proyecto constructivo de obra nueva, rehabilitación y mantenimiento.

4. PARÁMETROS A CONSIDERAR EN LA METODOLOGÍA DEL CÁLCULO DEL PENDOLADO



4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

El cálculo y montaje de las péndolas es una parte fundamental del funcionamiento dinámico de la catenaria y por ello, es necesario tener en cuenta una gran cantidad de variables en su cálculo para conseguir su correcto funcionamiento. Actualmente se recurre a aplicaciones informáticas que nos faciliten el cálculo.

Para el cálculo de las longitudes de las péndolas debemos recurrir a plantear las ecuaciones mecánicas atendiendo a los nudos formados por el sustentador, hilos de contacto y las uniones de las péndolas a ambos, así como los esfuerzos y direcciones que aparecen en el sistema en equilibrio.

En el caso de ADIF, se dispone de una aplicación informática denominada CALPE, la cual ha sido validada a lo largo del tiempo con el montaje práctico y de los resultados obtenidos. Es por ello que cualquier cálculo debe ser realizado mediante el citado programa o por otros que sean homogéneos, entendiéndose como homogéneos los que tienen la misma tolerancia en cuanto a longitud de las péndolas descritas en la normativa vigente.

Para aclarar los conceptos de los cuales parte dicha aplicación y para que puedan servir de referencia a otros, a continuación se citan los más importantes.

4.2. DATOS DE ENTRADA

Se tendrán en cuenta los datos necesarios para que la obtención de los datos de salida se ajusten a los descritos en la presente Norma. Los **datos de entrada** más relevantes son los siguientes:

A) Parámetros necesarios en vano de vía general:

- 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*

B) Parámetros necesarios vano de elevación (Seccionamientos y Agujas Tangenciales)

Además de los parámetros y características especificados en los apartados anteriores, tenemos:

- Elasticidad de catenaria.- *mm/kg* (seccionamiento)
- Longitud del vano de anclaje
- Distancia del poste de anclaje a la vía
- Tipo de vano: *Puede ser de seccionamiento o de aguja tangencial*
- Radio de Curva (seccionamiento)
- Peralte (seccionamiento)
- Longitud del vano elevación
- Longitud del vano anterior al de cálculo.
- Altura catenaria en apoyo elevación
- Altura catenaria en apoyo
- Numero de péndolas
- distancia entre péndolas
- Pesos y distancias de los cables de alimentación entre catenarias
- Distancia a vía general, separación existente entre el eje de la vía general y el eje de la vía desviada (vano elevación agujas)
- Distancia del P25 del desvío al punto de aguja (vano elevación agujas tangenciales)

C) En el caso de cálculo de un cantón completo se tendrán en cuenta además de los definidos en los apartados anteriores, los siguientes parámetros

- Número de vanos en el cantón
- Punto kilométrico del vano anclaje, principio y final del cantón
- Parámetros geométricos de la vía, rectas, curvas y transiciones entre rectas y curvas

4.3. DATOS DE SALIDA

Será necesario obtener los resultados siguientes:

- Tensión horizontal en el sustentador en los apoyos.- k*g*
- Tensión vertical del sustentador.- k*g*
- Altura del brazo.- *mm*
- Reacción del brazo.- En su componentes Rx; Ry; Rz k*g*
- Numero de péndolas
- Distancias entre péndolas y apoyos.- *m*
- Flecha del Hilo de Contacto.- *mm*
- Flecha del Sustentador.- *mm*
- Longitud de Péndolas.- *mm*.

  Se determina entre los ejes medios del sustentador e hilo de contacto
- Diferencia de altura en la posición del sustentador (vanos de transición)
- Altura de catenarias en apoyos
- Diferentes alturas de catenaria, diferentes alturas de los hilos de contacto, existiendo además una pendiente de vía
- Curva, descentramiento máximo en el centro del vano
- Curva, flecha final de los hilos de contacto, teniendo en consideración la influencia del peralte
- Elevación de los hilos de contacto en el apoyo de elevación respecto del otro apoyo del seccionamiento o catenaria vía directa en agujas
- Porcentaje de longitud de zona común en los seccionamientos

4.4. CANTÓN

Desde el punto de vista del pendolado, el cantón de catenaria está formado por una serie de vanos concatenados, comprendido entre el vano de seccionamiento ó aguja de inicio y vano de seccionamiento ó aguja final, pasando por el punto fijo aproximadamente en el centro del cantón.

Para él calculo del pendolado en el cantón se admite la ausencia de los efectos producidos por las dilataciones térmicas en los cables y rozamientos de los conjuntos de sustentación de la catenaria en sus desplazamientos.

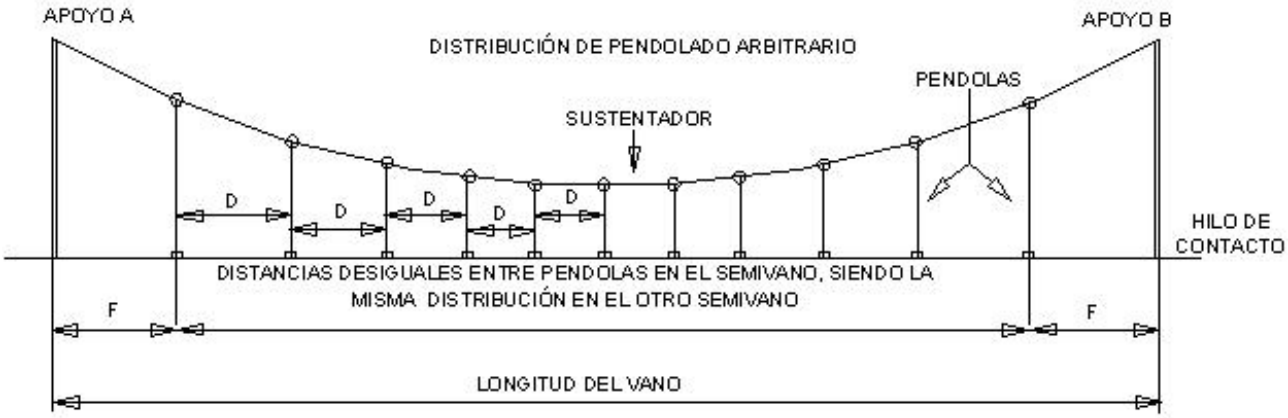
El cálculo del pendolado se realizará con la catenaria en estado de equilibrio.

5. TIPOS DE PENDOLADO

Define la distribución de la péndola a lo largo de un vano y el tipo a utilizar.

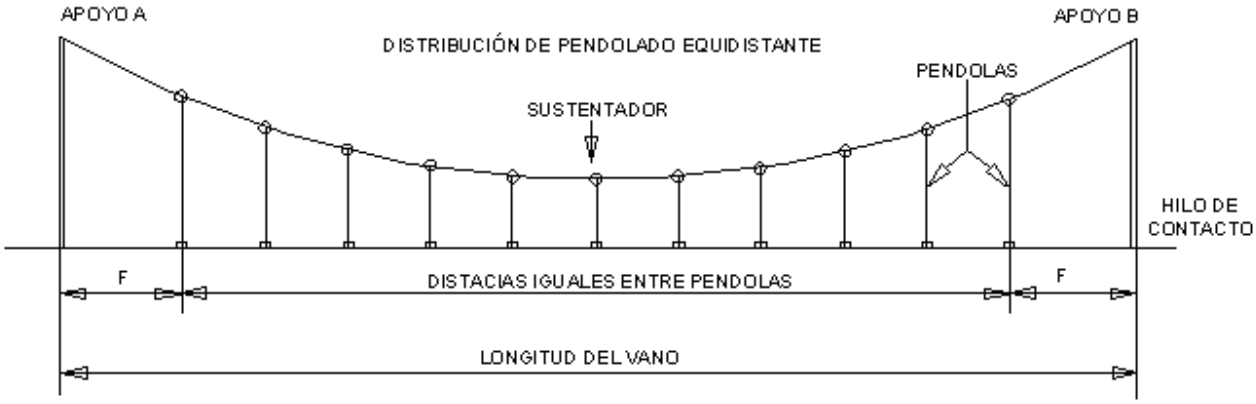
5.1. PENDOLADO ARBITRARIO

Es aquel que se caracteriza porque la distancia entre el apoyo y la primera péndola, así como la distancia entre ellas es variable.



5.2. PENDOLADO EQUIDISTANTE

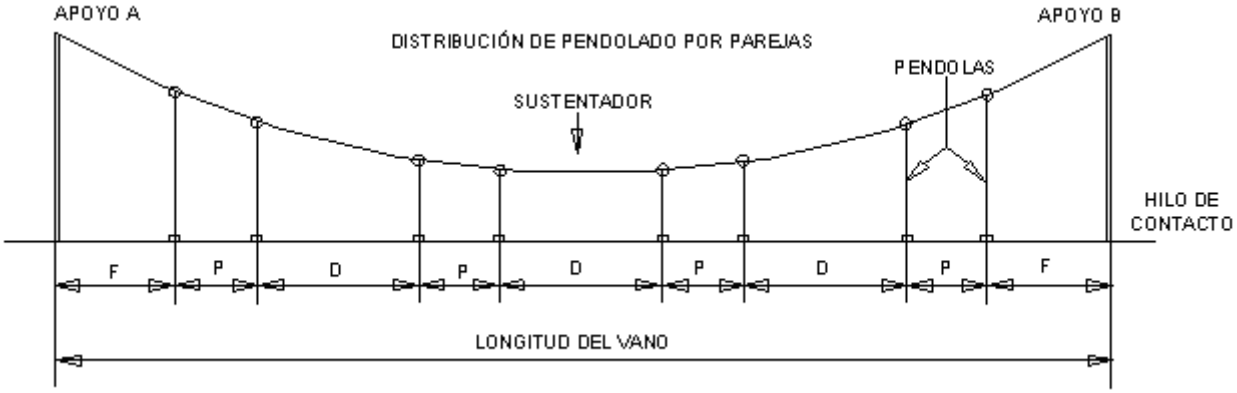
Distancia uniforme entre péndolas, excepto péndola anterior y posterior al apoyo cuya separación estará en función de la distribución del vano.



F= Distancia desde la péndola al atirantado.

5.3. PENDOLADO POR PAREJAS

Distancia uniforme en las parejas de péndolas y entre ellas a lo largo del vano, excepto parejas de péndolas anterior y posterior al apoyo, cuya separación está en función de la distribución del vano.



F= Distancia desde la péndola al atirantado.

D= Distancia entre parejas de péndolas.

P= Distancia entre par de péndolas.

5.4. DEFINICIÓN DE PENDOLADO EN TIPO DE CATENARIA

Los tipos de catenaria utilizadas en las líneas convencionales podemos decir que son fundamentalmente tres, la catenaria tipo CA-160, la CAU-200 y la CA-220.Para cada una de ellas definiremos los tipos de pendolado a utilizar en función de las características de la explotación de la vía.

De forma general el pendolado a utilizar será el indicado en la tabla siguiente:

Tabla 1 – Pendolado según tipo de vía

TIPO DE VÍA	CA-160-CAU-200	CA-220
GENERAL	Por parejas y péndolas equipotenciales	Por parejas y péndolas equipotenciales
SECUNDARIA (con sustentador de cobre)	Por parejas y péndolas equipotenciales	Por parejas y péndolas equipotenciales
SECUNDARIA (con sustentador de acero)	Equidistante-arbitraria péndolas de varilla de cobre	Por parejas-equidistante péndolas equipotenciales

6. CRITERIOS TÉCNICOS DE DISEÑO

6.1. 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.

Tanto en el ámbito de cálculo como en el montaje físico, este parámetro geométrico en la catenaria se considera como referencia el avance de la kilometración, entendiendo como descentramiento negativo el que quede a la izquierda del eje de la vía, y el valor positivo que se encuentra a la derecha del mismo, independientemente de la ubicación de los elementos de sustentación de la catenaria.

En el caso de la catenaria CA-160, CAU-200 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.

6.2. ELEVACIÓN DEL BRAZO DE ATIRANTADO (E.B.C.)

Es la altura a la que se instala la parte posterior del brazo de atirantado respecto a la horizontal que pasa por los hilos de contacto.

En este sentido hay que distinguir entre:

- **Elevación de diseño.-** que corresponde con la altura teórica, con la del diseño del brazo, para que trabaje el hilo de contacto con sus ranuras en el plano horizontal.
- **Elevación de montaje.-** es la altura a la que se instala el brazo de atirantado, respecto a la horizontal de los hilos de contacto, en función del cálculo del vano.

6.3. PENDIENTE DE LA VÍA

Es la variación de la altura en el plano de rodamiento medio de la vía respecto a un plano horizontal de referencia en tanto por mil, la pendiente será positiva si el sentido de avance de la kilometración es ascendente y negativo si es descendente.

Desde el punto de vista de cálculo del pendolado, cuando el valor es igual o inferior a 1 ‰ no se considera.

6.4. FUERZA DEL PANTÓGRAFO

Es la fuerza que ejerce el pantógrafo, en el sentido vertical contra el hilo de contacto. Estáticamente su valor oscila entre 8 y 12 kg. En dinámica su valor se ve incrementado en función del cuadrado de la velocidad.

Para el cálculo del pendolado dinámico se considerará una fuerza de empuje de 15 kg.

6.5. ELASTICIDAD DE LA LÍNEA

La elasticidad es un valor particular de cada una de las catenarias que se incluye en la presente Norma. Este valor depende de los tenses mecánicos, conductores, longitud del vano, etc., se considera que la diferencia de elasticidad entre unas y otras catenarias, no difiere sustancialmente entre ellas. Así mismo el valor de la elevación de la catenaria está en función del valor de empuje del pantógrafo, y éste a su vez, del esfuerzo y características aerodinámicas constructivas del mismo y velocidad de explotación.

Por lo expuesto, se toma un valor medio de elasticidad de 3 mm/kg, que es válido para los tipos de catenaria descritos en la presente Norma.

6.6. INFLUENCIA DE LA FLECHA EN EL PESO SOPORTADO POR LAS PÉNDOLAS

Definimos la flecha de los hilos de contacto para un vano determinado como la diferencia entre las alturas de los hilos de contacto entre las péndolas extremas y los hilos de contacto en el centro del vano, siendo las péndolas extremas a las que mayor peso soportan en el vano.

6.7. PÉNDOLA

Elemento que fija la posición del hilo/s de contacto respecto al sustentador. A efectos de cálculo, la longitud de las péndolas se determina entre los centros del sustentador y los hilo/s de contacto.

6.8. COMPONENTE VERTICAL MÁXIMA PERMITIDA EN EL BRAZO DE ATIRANTADO

El esfuerzo máximo permitido para el brazo de atirantado, será aquel que mantenga a los hilos de contacto en la horizontal respecto a las péndolas situadas a ambos lados del apoyo. El peso máximo a soportar por el brazo de atirantado para un vano, será el que corresponda al peso de los hilos de contacto correspondiente a la mitad de la distancia desde el apoyo hasta la primera péndola de ambos lados del atirantado.

$$p = \frac{L \times P_{hc} \times n}{2}$$

Siendo:

p= peso máximo a soportar por el brazo de atirantado

L= distancia entre las péndolas de ambos lados del atirantado

P_{hc}= peso del hilo de contacto kg/m

n= número de hilos de contacto

6.9. RENDIMIENTO DEL BRAZO DE ATIRANTADO

Es la proporción de peso del hilo de contacto hasta la primera péndola, a cada lado del punto de atirantado, aprovechando la reacción vertical que se produce al realizar el tiro con cierto ángulo. Cuanto mayor sea la tensión mecánica, mayor será la reacción vertical que se produzca.

Así un rendimiento del 100 % significará que el brazo de atirantado trabaja completamente con características similares a una péndola por cada lado del apoyo, soportando su propio peso y el peso de los hilos de contacto, correspondiente a la mitad de la distancia entre el apoyo y la primera péndola. Un rendimiento del 0 % indica que el brazo no compensa ningún peso de los hilos de contacto y que además su propio peso recae sobre los propios hilos de contacto.

Cuando en el cálculo de las péndolas y posición del brazo se considere que el peso de los hilos de contacto es el total, el rendimiento del brazo es del 100 %, siendo del 0 % cuando se considere que no soporta ningún peso.

Para establecer el valor de porcentaje del rendimiento en función del diseño del brazo de atirantado, catenaria (pesos, esfuerzos, tensiones radiales, etc.), el rendimiento del brazo de atirantado tendrá que ser de tal valor que mantenga siempre al brazo en su posición normal de trabajo, siendo ésta la que especifique el fabricante en el diseño del mismo y lo descrito en la normativa vigente.

6.10. ESFUERZO RADIAL DEL BRAZO DE ATIRANTADO

Un parámetro importante a considerar es el valor del peso del brazo de atirantado. (Este valor no incluye el peso del aislador). Es decir solamente se considera el peso del brazo hasta la primera articulación. Por tanto si se utilizan dos brazos el peso que se debe poner es el doble de su valor.

Las reacciones del brazo de atirantado son las fuerzas en que se descompone, siguiendo los tres ejes, la tensión mecánica en el punto de amarre del brazo al hilo de contacto como consecuencia del descentramiento de la catenaria respecto de la horizontal. Estas fuerzas son las siguientes:

***Rz*, Vertical.-** Es la reacción vertical que compensa el peso de hilo de contacto.

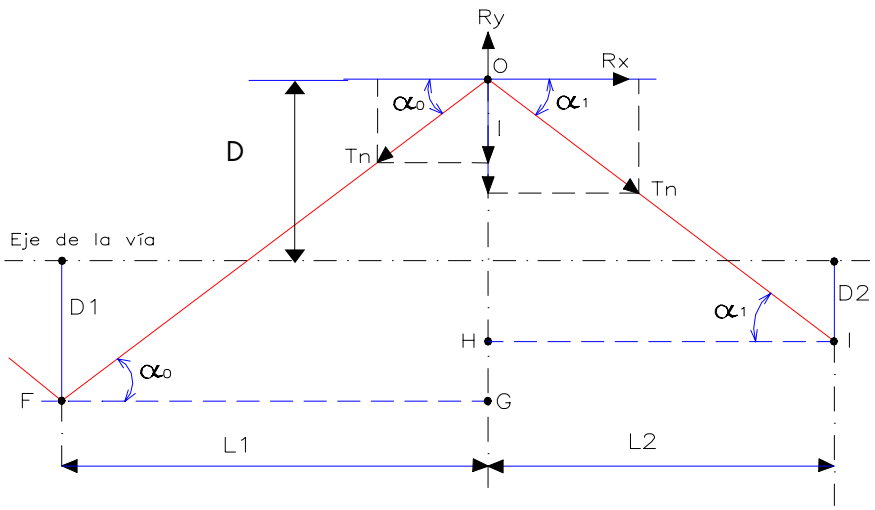
***Ry*, Horizontal.-** Es la componente de efecto radial.

El esfuerzo radial Ry es una fuerza horizontal, generada por la tensión mecánica de los hilos de contacto y descentramiento.

***Rx*, Longitudinales.-** Es la componente que actúa en el sentido de los conductores en el caso que existan diferencias de tensión a ambos lados de descentramiento.

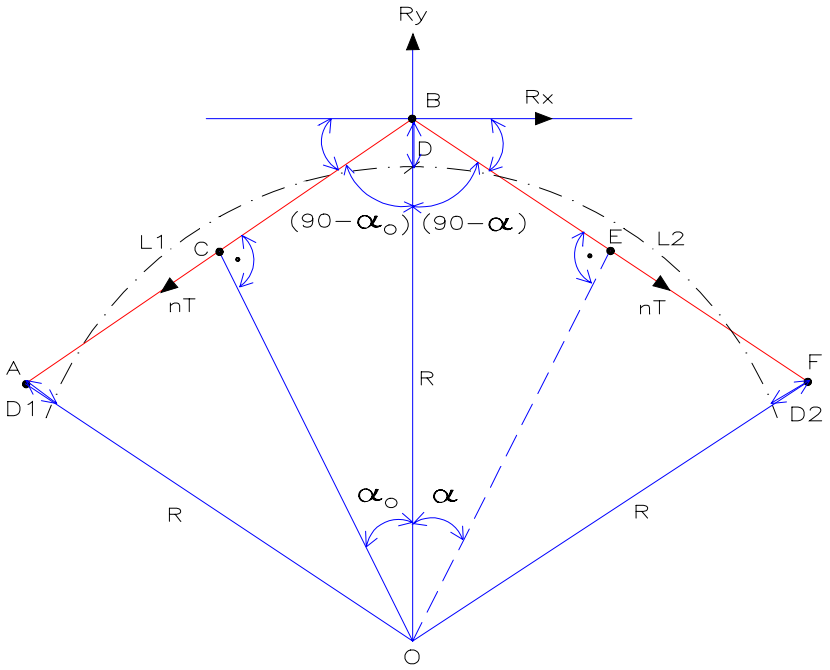
El equilibrio mecánico se produce cuando:

$$Ry = n \bullet T \bullet sen\,\alpha_0 + n \bullet T \bullet sen\,\alpha_1$$



Croquis atirantado recta

Expresión simplificada del esfuerzo radial en recta: $Ry = n \bullet T \bullet \left(\frac{D + D_1}{L_1} + \frac{D + D_2}{L_2} \right)$



Croquis atirantado curva

Expresión simplificada del esfuerzo radial en curva:

$$Ry = n \bullet T \left(\frac{L_1^2 + (R+D)^2 - (R+D_1)^2}{2L_1(R+D)} + \frac{L_2^2 + (R+D)^2 - (R+D_2)^2}{2L_2(R+D)} \right)$$

Siendo:

R= Radio de la curva

R_y= Componente en el eje de las y (dirección de la ménsula) del esfuerzo radial

R_x= Componente horizontal del esfuerzo radial. Dirección de la vía

L_1= Longitud del vano anterior

L_2= Longitud del vano posterior

D= Descentramiento

D_1= Descentramiento del apoyo anterior

D_2= Descentramiento del apoyo posterior

n= número de hilos de contacto

T= Tensión mecánica de un hilo de contacto

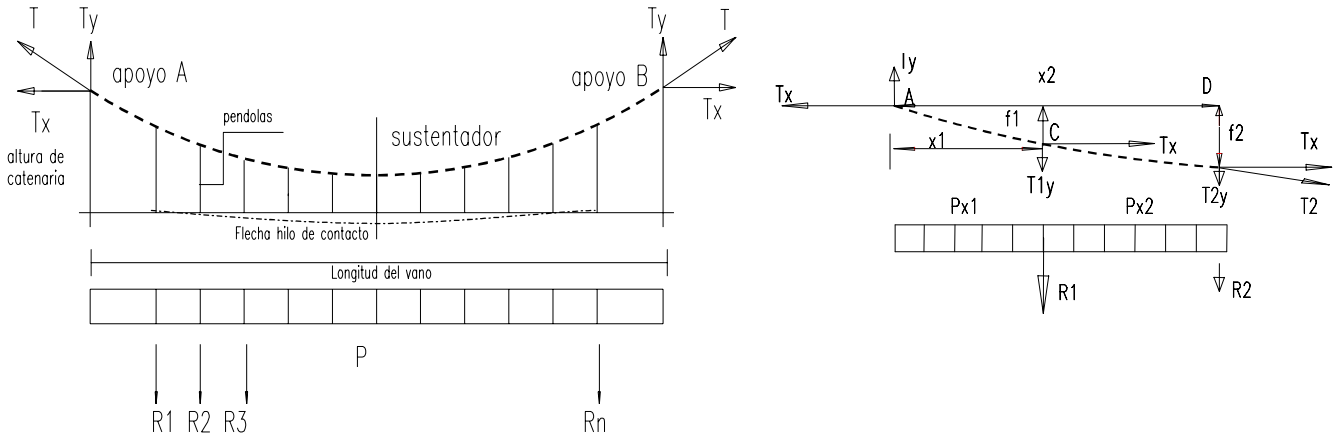
α_o= ángulo anterior

α_1 = ángulo posterior

6.11. FUERZAS MECÁNICAS QUE INTERVIENEN EN EL CÁLCULO DE LAS PÉNDOLAS

En todo vano y para que el conjunto esté en equilibrio se tiene que verificar que la suma de todas las fuerzas tiene que ser igual a cero, y la suma de todos los momentos también ha de ser igual a cero.

$$\sum F = 0 \qquad \sum M = 0$$



Conocido el valor de los momentos en el punto C respecto de A, sus expresiones son:

$$T_y \bullet x_1 - P \bullet x_1 \bullet \frac{x_1}{2} - T_x \bullet f_1 = 0 \qquad f_1 = \frac{T_y \bullet x_1 - P \bullet {x_1^2}/{2}}{T_x}$$

Siendo:

T_y= Componente vertical de la tensión mecánica. Representa el peso soportado en cada apoyo

P= Peso por unidad de longitud

T_x= Componente horizontal de la tensión mecánica

x_1= Distancia desde el apoyo al punto C

f_1= Flecha en el punto C. Representa la diferencia de cotas entre la horizontal, apoyos y la posición del sustentador en el punto C

Si consideramos ahora dos péndolas, y teniendo en cuenta que también en el punto D, la suma de momentos deberá ser cero. Sustituyendo el valor de los momentos respecto de A, tendremos:

$$T_y \bullet x_2 - R_1(x_2 - x_1) - T_x \bullet f_2 - P \bullet x_2 \bullet \frac{x_2}{2} = 0 \;\; ; \; f_2 = \frac{T_y \bullet x_2 - R_1(x_2 - x_1) - P \bullet x_2 \bullet \frac{x_2}{2}}{T_x}$$

Considerando además de los parámetros anteriores:

x_2= Distancia desde el apoyo A hasta el punto D (posición de la segunda péndola)

R_1= Peso resultante en la péndola correspondiente al peso de la propia péndola más el peso de los hilos de contacto que soporta

f_2= Flecha en el punto C. Representa la diferencia de cotas entre la horizontal entre apoyos y la posición del sustentador en el punto C

Conocidos los valores de los momentos del sustentador en el punto de sujeción de cada una de las péndolas, se determina a continuación el valor de la componente horizontal de la tensión mecánica en el sustentador

La componente horizontal de la tensión mecánica en el sustentador, que es la que se mantiene constante, se obtiene mediante la expresión $Thoriz = \sqrt{T_{sust}^2 - P_{apoyo}^2}$

siendo:

$Thoriz$= Tensión horizontal en el sustentador

T_{sust} =Tensión máxima del sustentador

P_{apoyo} = Peso del semivano soportado por el apoyo

El proceso se repetiría para todas las péndolas integrantes del vano, determinándose los valores de las distancias entre el sustentador y la horizontal entre los apoyos.

En la optimización del cálculo de las longitudes de las péndolas hay que considerar otros parámetros, como son la flecha inicial que forman los hilos de contacto, esfuerzos radiales con motivo de curvas, peraltes, pendiente descentramiento, rendimiento del brazo de atirantado, elevaciones, vanos consecutivos, transiciones entre ellos, etc.

6.12. PESO DE LOS MATERIALES

En el proceso de cálculo del pendolado, el peso de los cables y piezas que componen la catenaria son determinantes para que los resultados a obtener se ajusten a las condiciones óptimas de diseño de la instalación.

Considerando esta condición, se deben tener en cuenta en los cálculos las siguientes circunstancias:

- Cable sustentador, péndola y grifas que por su funcionalidad, no sufren desgastes o pérdida de masa de material
- Hilo de contacto nuevo
- Hilo de contacto desgastado: el desgaste a considerar es la media aritmética de las mediciones efectuadas en el tramo a pendolar, en el cálculo se modifica el peso del hilo de contacto por el peso por metro, siendo éste el que corresponde al peso real del hilo. Si como resultado de las mediciones, el desgaste es inferior al 10 % de la sección nominal, el peso a considerar es como si fuera nuevo. Sí el desgaste es superior al 10 % se tendrá en cuenta el peso total para los cálculos, pero se reducirá el tense mecánico de diseño proporcionalmente al desgaste.
- Cuando el hilo de contacto, debido al desgaste, vea reducido su coeficiente de seguridad a valores igual o menor de 2 ($K \leq 2$), en su sección útil, no se debe cambiar el pendolado reduciéndose el tense mecánico y aumentando el coeficiente de seguridad hasta el valor establecido.

$$Crt = Su * Crk \; ; \; K = Su * Crt / Tmc$$

K= Coeficiente de seguridad

Su= Sección útil en %

Crk= Coeficiente carga de rotura kg/mm^2 en función características hilo de contacto

Crt= Carga de rotura resultante kg/mm^2

Tmc = Tensión mecánica en kg

6.13. VANO DE ELEVACIÓN EN SECCIONAMIENTO

Éstos pueden ser de dos tipos, sin eje y con eje. Una de las características constructivas a tener en cuenta fundamentalmente en los seccionamientos sin eje es la zona común, pues cuando el pantógrafo pasa por el seccionamiento eleva los hilos de contacto, produciendo una zona común de rozamiento entre las dos catenarias.

La máxima zona común está determinada por las características constructivas del seccionamiento, elasticidad de la línea, el empuje del pantógrafo, el pendolado, pesos de los materiales, tenses mecánicos de los cables, longitud del vano etc., siendo un valor determinante la elevación de la catenaria en el semieje de elevación, este valor vendrá determinado por el tipo de diseño de montaje o normativa vigente.

Manteniendo constantes la elasticidad de la línea y el empuje del pantógrafo, el sistema permite obtener, dentro de los márgenes constructivos, el porcentaje que se indique en la zona común máxima posible de frotamiento del pantógrafo con las dos catenarias, siendo esta zona menor que la correspondiente a la zona de elevación.

Los valores normales de zona común en función del cálculo estarán situados entre el 50 y el 100 %, admitiéndose valores entre el 15 % y el 50 % por las características constructivas de la catenaria en su trazado, y no admitiéndose valores menores del 15 %, excepto en aquellos casos que autorice expresamente la Dirección facultativa.

En los resultados de cálculo de los vanos de elevación en seccionamientos sin eje y con eje tendremos que distinguir las distintas zonas de pendolado a lo largo del vano:

1° caso- Zona de pendolado y la zona de elevación del hilo de contacto

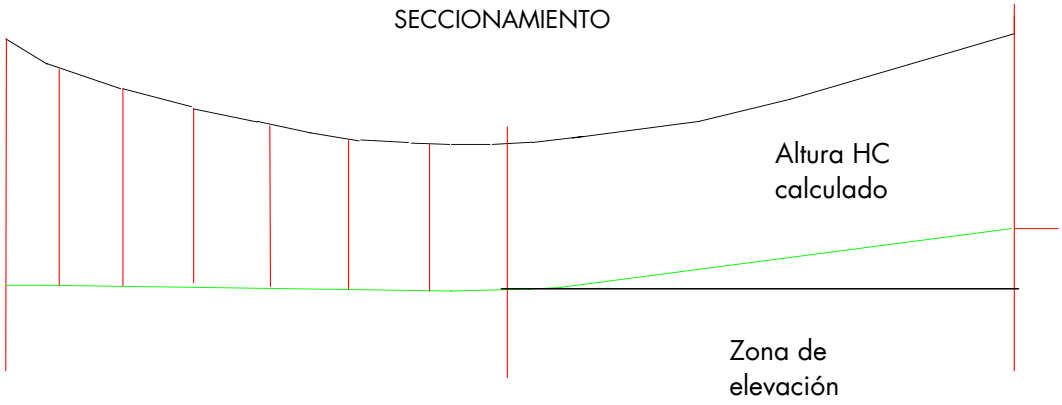
2° caso.- Zona de pendolado, zona de elevación y zona de transición

Zona de pendolado: Se define como zona de pendolado, a la parte del vano que hay desde el punto de atirantado hasta la ultima péndola.

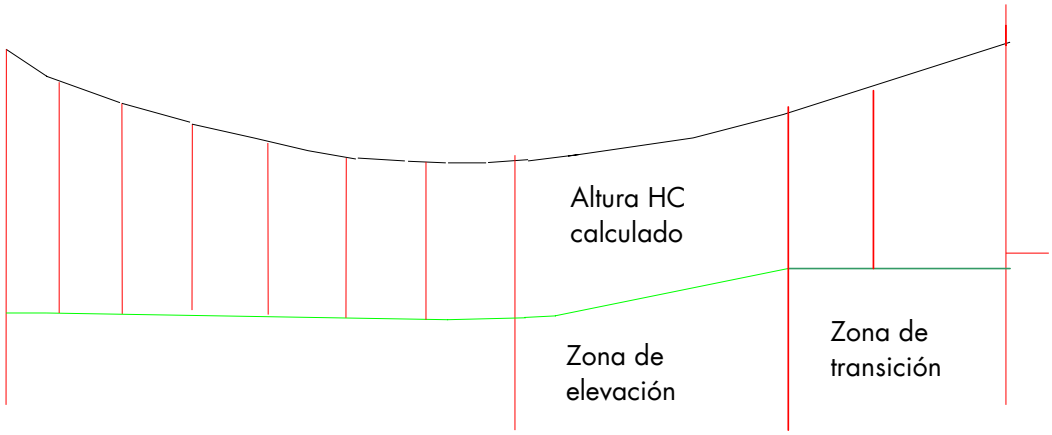
Zona de elevación: Se define la zona de elevación como la parte del vano que hay entre el punto donde los hilos de contacto empiezan a elevar y el punto donde se consigue la altura definida para el montaje en el semieje. Esta altura vendrá determinada en función del peso de los hilos de contacto, tensión mecánica y longitud del vano.

Zona de transición: Se define la zona de transición como la parte del vano que hay entre la posición del hilo de contacto donde termina la elevación a su altura calculada y de ésta, hasta el semieje de elevación donde se inicia la cola de anclaje. La zona de transición vendrá determinada en función del peso del hilo de contacto, de la tensión mecánica y de la longitud del vano.

VANO DE ELEVACIÓN DE SECCIONAMIENTO



VANO DE ELEVACIÓN DE SECCIONAMIENTO CON TRANSICIÓN



6.14. VANO DE ELEVACIÓN DE AGUJAS

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

El vano de elevación corresponde a la catenaria de vía desviada.

En función del tipo del tipo de aguja habrá que considerar los siguientes aspectos:

6.14.1. VANO DE ELEVACIÓN AGUJA TANGENCIAL

En este tipo de vano, en su distribución del pendolado, hay que distinguir en su cálculo dos casos en función de las características en la configuración de la elevación del hilo de contacto a lo largo del vano:

1° caso.- Zona de pendolado y la zona de elevación del hilo de contacto.

2° caso.- Zona de pendolado, zona de elevación y zona de transición.

- **Zona de pendolado:** Se define como zona de pendolado desde el punto de atirantado del punto de aguja, hasta el punto 25 del desvío aproximadamente.

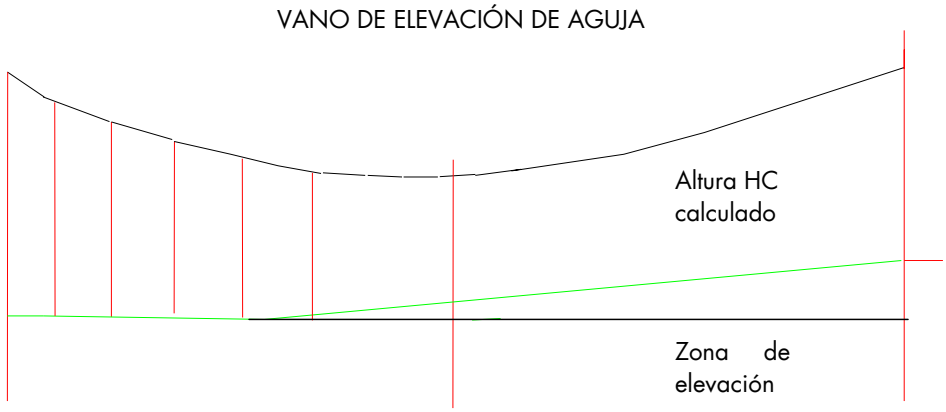
- **Zona de elevación:** Se determina la longitud de la zona de elevación, considerando la posición del hilo de contacto desde el punto 50 aproximadamente del desvío elevándose a continuación hasta una altura de montaje comprendida entre una distancia máxima y mínima necesaria para lograr la elevación de diseño en él calculo, la longitud necesaria para conseguir esta altura se denomina zona de elevación. Esta altura vendrá determinada en función del peso del hilo de contacto, tensión mecánica y longitud del vano.
- **Zona de transición:** La longitud entre la posición del hilo de contacto donde termina la elevación a su altura calculada y de ésta hasta el semieje de elevación donde se inicia la cola de anclaje queda definida como zona de transición.

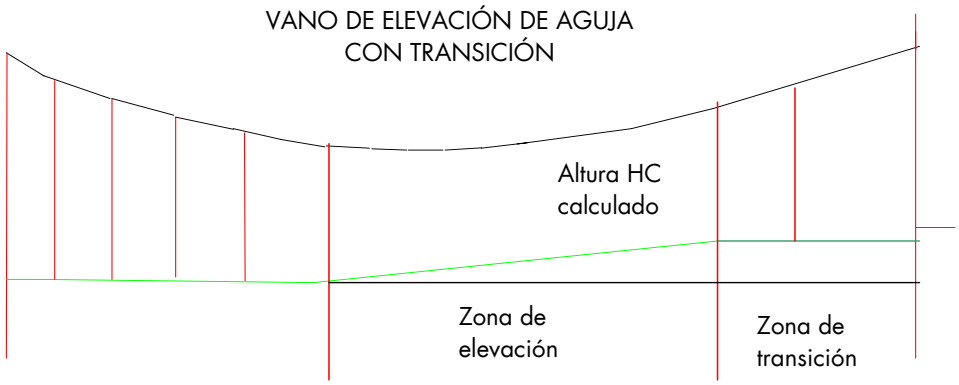
6.14.2. VANO DE ELEVACIÓN AGUJA CRUZADA

En este tipo de vano, en su distribución del pendolado, hay que distinguir en su cálculo dos partes en función de las características en la configuración de la elevación del hilo de contacto a lo largo del vano: zona de pendolado y zona de elevación del hilo de contacto.

- **Zona de pendolado:** Se define como zona de pendolado desde el punto donde se inicia la elevación del hilo de contacto, más aquellas péndolas próximas cuya influencia en el diseño constructivo de la aguja se determina en el desarrollo del cálculo en el vano de elevación.
- **Zona de elevación:** Se determina la longitud de la zona de elevación, considerando la posición del hilo de contacto desde el punto común de frotamiento del pantógrafo en estática, en el perfil donde se ubican los brazos atirantados de aguja, con las dos catenarias, elevándose a continuación hasta una altura de montaje en el perfil de elevación; la longitud necesaria para conseguir la altura se define zona de elevación. Esta altura vendrá determinada en función del peso del hilo de contacto, tensión mecánica y longitud de la elevación, en este montaje no se considera flecha en los hilos de contacto.

VANO DE ELEVACIÓN DE AGUJA





Es el vano correspondiente a una Línea Aérea de Contacto donde el hilo de contacto va elevándose de acuerdo con la siguiente expresión, obteniéndose la elevación (y) correspondiente a una distancia determinada (x).

Siendo:

y= elevación (m)

x= distancia zona de elevación (m)

T= tensión mecánica de los hilos de contacto (kg)

P= peso del hilo de contacto (kg/m)

$$y = \frac{x^2 \cdot P}{2 \cdot T}$$

6.15. TENSE DE LOS CABLES

En el cálculo del pendolado, el tense mecánico de los cables se considera de la siguiente forma:

(Total kg n° rodelas + 10,3 kg) x razón de regulación

Siendo 10,3 kg el sobrepeso estimado de las piezas en el conjunto de compensación.

Los valores de la tensión mecánica para el cable sustentador e hilo de contacto (para los compuestos de CuETP y CuAg0,1) se indican en las siguientes tablas:

Tabla 2 - Tenses para el cable sustentador

	Cu 150 CA-160	**Cu 150 CAU-200**	**Cu 185 CA-220**	**AC 72**
Razón de regulación	1:5 – 1:3	1:5 – 1:3	1:5	-
Tense kg Relación 1:3	1470,9	1650,9	-	-
Número de rodelas. Relación 1:3	16 RT19	18 RT19		
Tense kg Relación 1:5	1476,5	1626,5	2526,5	-
Número de rodelas. Relación 1:5	9 RT19 + 1 RT20	10 RT19 + 1 RT20	16 RT19 + 1 RT20	-
Tense Kg Vías sencudarias	-	-	-	1200

Tabla 3 - Tenses para 1 hilo de contacto

	1HC 107 CA-160	**1HC 120 CA-160**	**1HC 120 CAU-200**	**1HC 150 CA-220**
Razón de regulación	1:5 - 1:3	1:5 - 1:3	1:5 - 1:3	1:5
Tense kg Relación 1:3	1065,9	1200,9	1515,9	-
Número de rodelas. Relación 1:3	11 RT19 +1 RT20	13 RT19	16 RT19 +1 RT20	-
Tense kg Relación 1:5	1101,5	1251,5	1551,5	1851,5
Número de rodelas Relación 1:5	7 RT19	8 RT19	10 RT19	12 RT19

Tabla 4 - Tenses para 2 hilos de contacto

	2HC 107 CA-160	**2HC 120 CA-160**	**2HC 120 CAU-200**	**2HC 150 CA-220**
Razón de regulación	1:5 - 1:3	1:5 - 1:3	1:5	1:5
Tense kg relación 1:3	2100,9	2415,9	-	-
Número de rodelas relación 1:3	23 RT19	26 RT19+1 RT20	-	-
Tense kg Relación 1:5	2151,5	2451,5	1650,9	3801,5
Número de rodelas Relación 1:5	14 RT19	16 RT19	18 RT19	25 RT19

En líneas antiguas, mientras no se realice una gran intervención o renovación se mantendrán las características existentes.

7. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

7.1. SUSTENTADOR

En la electrificación de tracción en corriente continua, de las vías de ADIF, se utiliza como sustentador, cable de cobre o de acero, según los casos, denominados por el valor de sus secciones. Los cables más usuales son los denominados Cu 150, Cu 185, ambos de cobre electrolítico y Ac 72, de acero galvanizado, cuyas características son las que se recogen en la tabla siguiente:

Tabla 5 – Características del sustentador

CARACTERÍSTICAS	Cu 150	Cu 185	Ac 72
Sección nominal mm²	147,1	184,5	72,23
Nº de hilos	37	37	19
Estructura	1+6+12+18	1+6+12+18	1+6+12
Diámetro aparente del cable mm	15,75	17,64	11,00
Diámetro de cada hilo mm	2,25	2,52	2,20
Peso lineal kg/m	1,344	1,687	0,563
Carga de rotura kN [kg]	55,9 kN [5710 kg]	67,1 kN [6844 kg]	105,9 kN [10805 kg]
Módulo elástico kg/mm²	10500	10500	22000
Coeficiente de alargamiento °C⁻¹	$17x10^{-6}$	$17x10^{-6}$	$13x10^{-6}$
Resistencia óhmica Ω/km	0,126	0,101	2,736
Coeficiente de seguridad mínimo	3	3	3

7.2. HILOS DE CONTACTO

El hilo de contacto que actualmente se utiliza en el montaje de la catenaria, se denomina por la forma del hilo, el tipo de ranura de sujeción, la sección y su designación, con arreglo al código: BC-S/D o BF-S/D, siendo:

- B indica el único tipo de ranura de sujeción admitido por Adif
- La segunda letra indica C: sección circular, F: sección aplanada
- S, la sección del hilo (107 mm^2; 120 mm^2; 150 mm^2)
- D, la designación simbólica del material (CuETP, cobre duro electrolítico; CuAg, cobre plata)

Las características de ellos son, de acuerdo a la Norma UNE-EN 50149 y la ET 03.364.291.9, las que se recogen en las tablas siguientes:

TABLAS DE CARACTERÍSTICAS

- **DESIGNACIÓN**: CuETP
- COMPOSICIÓN: Cu > 99,9 %
- DENSIDAD (g/cm^3): 8,890
- MÓDULO DE ELASTICIDAD (kg/mm^2): 12800

Tabla 6 – Características del Hilo de Contacto CuETP

CARACTERÍSTICAS	HC 107 BC-107/CuETP	HC 120 BC-120/CuETP	HC 150 BC-150/CuETP
Sección nominal mm²	107	120	150
Diámetro nominal mm	12,24	12,85	14,50
Peso lineal kg/m	0,951	1,067	1,334
Carga de rotura kN [kg]	38,5 kN [3928 kg]	43.2 kN [4408 kg]	54.0 kN [5510 kg]
Resistencia óhmica Ω/km	0,171	0,153	0,122
Coeficiente seguridad mínimo	2,5	2,5	2,5

- **DESIGNACIÓN**: CuAg0,1
- COMPOSICIÓN: Cu, 0,08≤ Ag≤ 0,12
- DENSIDAD (g/cm^3): 8,890
- MÓDULO DE ELASTICIDAD (kg/mm^2): 12800

Tabla 7 – Características del Hilo de Contacto CuAg0,1

CARACTERÍSTICAS	HC 107 BC-107/CuAg0,1	HC 120 BC-120/CuAg0,1	HC 150 BC-150/Cu-Ag 0,1
Sección nominal mm²	107	120	150
Diámetro nominal mm	12,24	12,85	14,50
Peso lineal kg/m	0,951	1,067	1,334
Carga de rotura kN [kg]	38,5 kN [3928 kg]	43.2 kN [4408 kg]	54.0 kN [5510 kg]
Resistencia óhmica Ω/km	0,171	0,153	0,122
Coeficiente seguridad mínimo	2,5	2,5	2,5

7.3. PÉNDOLAS

Tabla 8 – Péndolas

Tipo de cable	Diámetro en mm	Peso en kg/m
Varilla Cu de ∅ 5 mm	5	0,174
Cable de 25 mm²	5,8	0,234

7.4. BRAZOS DE ATIRANTADO

El peso y características geométricas dimensionales corresponden al modelo en montaje indicado en L.A.C. CA-160/220 en vigor, los rangos de utilización de cada unos de ellos serán los correspondientes a su diseño con los márgenes previstos en montaje.

7.5. GRIFAS Y ELEMENTOS AUXILIARES

Se tendrá en cuenta el peso y las características indicadas en L.A.C. CA-160/220 con los condicionantes específicos de cada fabricante según los elementos a utilizar.

7.6. COEFICIENTES DE SEGURIDAD

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:

Tabla 9 – Coeficientes de seguridad

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

*Teniendo en cuenta el máximo desgaste permitido

8. MONTAJE

8.1. CONSIDERACIONES INICIALES

El pendolado como elemento encargado de sostener en su posición de trabajo los hilos de contacto, tiene como objetivo que el pantógrafo pueda conseguir la captación de corriente necesaria al tren a su velocidad nominal, manteniendo un contacto uniforme, sin despegues, y el mínimo esfuerzo de rozamiento entre el pantógrafo y la catenaria.

Aparte de la definición de los conceptos y parámetros que intervienen en el cálculo y distribución de las péndolas para las distintos configuraciones de vanos en la presente Norma,

en la ejecución de los trabajos de montaje es necesario verificar otros elementos de la catenaria que intervienen directamente en el objetivo que el pendolado debe cumplir, como se ha descrito en el párrafo anterior.

Tomando como referencia los datos de salida para el cálculo de las péndolas, descritos en el apartado 4.3 de la presente Norma, la ejecución en el montaje del pendolado debe cumplir las prescripciones siguientes:

8.1.1. PÉNDOLAS

1. Se realizará un muestreo verificando longitudes de las péndolas como mínimo dos por vano antes de proceder al montaje según resultado de cálculo, teniendo en cuenta las tolerancias según norma.

2. Estado del material y correcta configuración de la péndola según diseño para la instalación a montar.

3. Que la composición del material de las péndolas que se van a montar en el cantón sea de las mismas características y propiedades mecánicas.

4. Verificar que en el proceso de montaje de la péndola, en su distribución en los vanos, su ubicación sea coincidente según cálculo y en correcta posición de trabajo de acuerdo a norma.

5. En el caso que las péndolas en el proceso de verificación no estén en posición correcta de trabajo (corta, larga ó no mantuviera la verticalidad con respecto al P.M.R) se procederá a sustituir las péndolas por material provisional y dejar los hilos de contacto en posición correcta de funcionamiento hasta la identificación de la no-coincidencia de los parámetros geométricos y mecánicos de la catenaria según cálculo diseñado.

8.1.2. COLAS DE ANCLAJE

Se verificará que no existan tensiones mecánicas verticales y horizontales tanto en el sustentador e hilo de contacto en el perfil de elevación no contempladas en el cálculo, que impidan el correcto funcionamiento del sistema. Se verificarán los siguientes parámetros:

8.1.2.1. CONJUNTO DE COMPENSACIÓN

En el conjunto de compensación se verificarán las siguientes prescripciones:

1. *Posición de los contrapesos en la barra guía según temperatura especificada en norma.*

2. *Libertad de movimientos.*

3. *Números de rodelas según la tensión mecánica de diseño.*

4. *Las poleas de compensación estén libre de giro.*

5. *Las vueltas del cable de sujeción de los contrapesos en las poleas según temperaturas, y no existan sobrehilados que cambien la relación de la tensión mecánica.*

8.1.2.2. HILO DE CONTACTO

Verificar si el montaje a realizar o el montaje existente a modificar el pendolado es coincidente con los datos de cálculo siguientes:

1. *Tipo de hilo.*
2. *Tensión mecánica.*
3. *Disminución sección de cable por desgaste si existiera.*
4. *Influencia de la pendiente en la vía.*

8.1.2.3. SUSTENTADOR

Verificar si el montaje a realizar o el montaje existente a modificar el pendolado es coincidente con los datos de cálculo siguientes:

1. *Tipo de cable.*
2. *Tensión mecánica real.*
3. *Influencia de la pendiente en la vía.*

8.1.2.4. SECCIONAMIENTO

Verificar si el montaje a realizar o el montaje existente a modificar el pendolado es coincidente con los datos de cálculo siguientes:

1. *Elevación de las colas.*
2. *Pendiente de elevación.*
3. *Solape de ambas catenarias.*
4. *Estado del hilo de contacto, desgaste etc.*
5. *Influencia de la pendiente en la vía.*

8.2. NORMA GENERAL EN LA VERIFICACIÓN

Si como consecuencia de la verificación detallada de los elementos, no cumpliese las prescripciones descritas, datos de salida en el cálculo del pendolado y los parámetros mecánicos y geométricos con los que se ha realizado él calculo inicial, será necesario realizar un recálculo nuevo del pendolado, optimizando la toma de datos con el objetivo de que en la realización del montaje se cumplan los parámetros del nuevo calculo y se ajuste a las prescripciones.

8.3. PROCESO DE MONTAJE

Previo a todo proceso de montaje es necesaria la verificación del cumplimento de las normas de seguridad y salud laboral para trabajos en instalaciones ferroviarias así como la disponibilidad de los materiales y medios necesarios para la ejecución correcta y segura de los diferentes trabajos a realizar en dicho proceso.

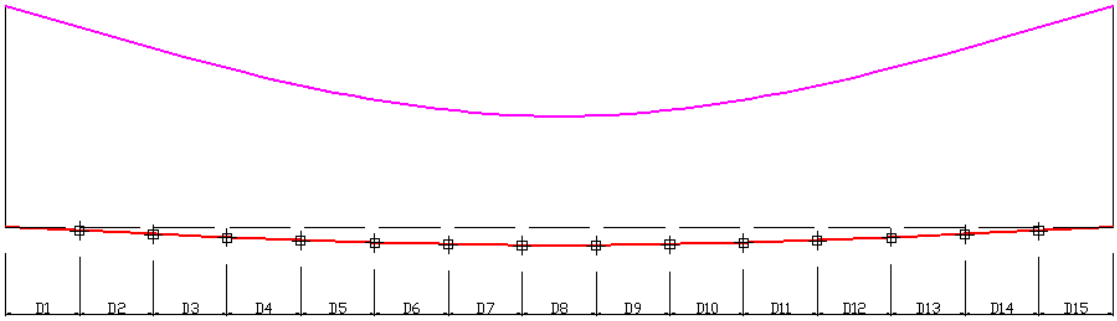
El proceso de montaje del pendolado en un vano se debe realizar partiendo de una situación con las ménsulas montadas correctamente, con los hilos de contacto y cable sustentador tendidos, atirantados y con sus respectivas tensiones de trabajo. Una vez verificada la situación de partida, el proceso de montaje consta de las siguientes etapas:

- Verificaciones previas:

  Se debe comprobar que la longitud del vano y altura de la catenaria en los apoyos.

- Marcado de la posición de péndolas:

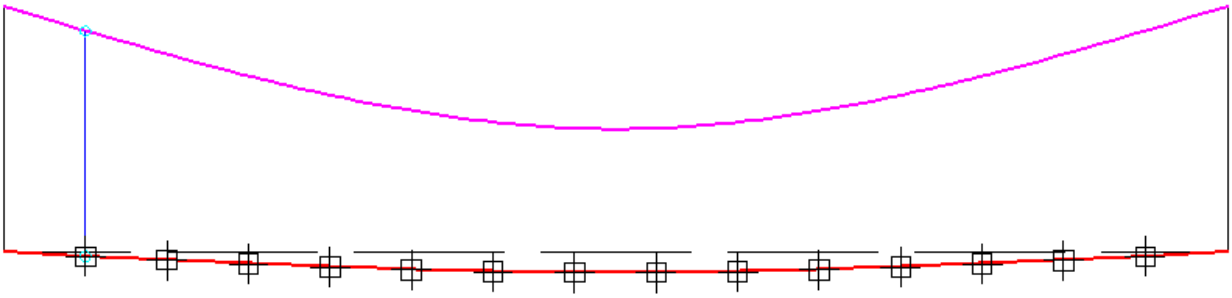
  Siempre se deben medir sobre el hilo de contacto empleando un flexómetro calibrado tomando como punto de partida uno de los apoyos, respetando la separación entre péndolas considerada en la etapa de cálculo.

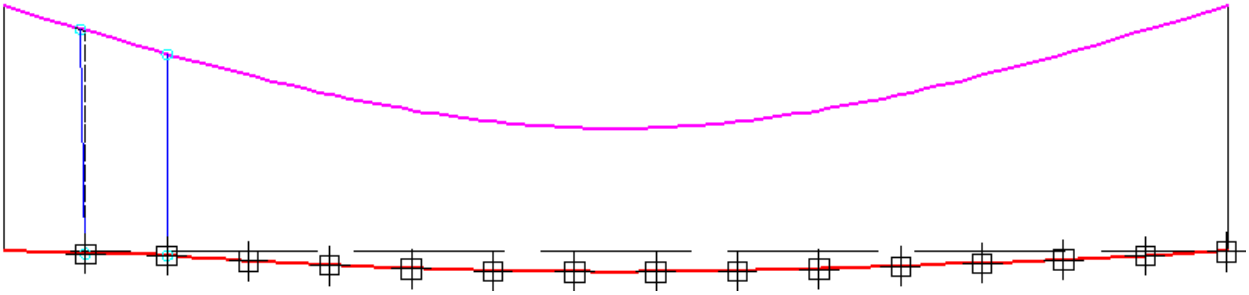


  El marcado se realizará mediante un rotulador de tinta indeleble, dejando una marca clara. Nunca se debe marcar sobre el hilo de contacto mediante herramientas cortantes, tales como limas, sierras, o cualesquiera otros medios que produzcan una degradación de la superficie del hilo de contacto

- Montaje de las péndolas:

  El montaje se debe realizar respetando la longitud de las péndolas obtenida en el cálculo previo de la distribución. Las péndolas se irán montando de una en una, partiendo de uno de los apoyos para terminar en el otro, para facilitar el proceso de montaje es preferible montar primero la grifa sobre el cable sustentador sin un apriete excesivo, para después montar la grifa del hilo de contacto. Durante el montaje será necesario ajustar la posición de la grifa del sustentador, de tal forma que la péndola quede vertical.



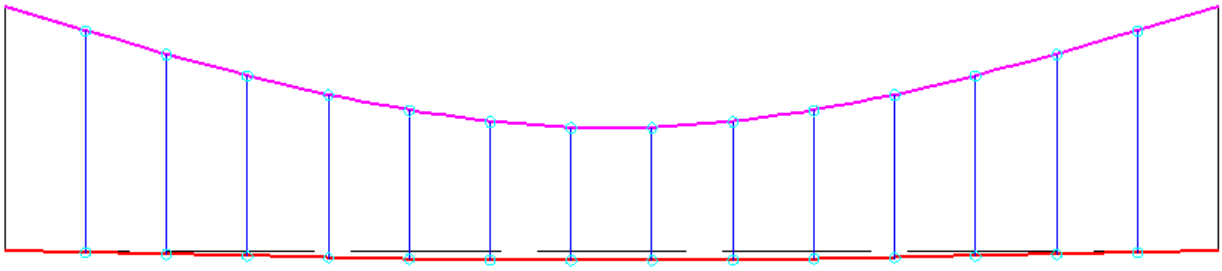


Las grifas se deben montar completas y se deben apretar respetando el par de apriete indicado en Libro de Línea Aérea de Contacto y empleando las herramientas adecuadas, **se recuerda que es obligatorio el empleo de llaves dinamométricas de apriete**.

- Regulación y verificación final:

  Una vez realizado el montaje completo del vano se verifica la correcta posición de las péndolas, regulándose definitivamente su posición comprobando que son correctas:

  - La altura del hilo de contacto
  - La flecha inicial.



9. TABLAS DISTRIBUCIÓN DE PENDOLADO

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

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

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

- **Vía general:**
  - Tensión mecánica de los conductores, será la indicada en la norma.
  - 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 la norma.
  - El pendolado será de tipo Co7 y Co8
  - La distribución será equidistante.

Tabla 10 – Pendolado por parejas

CA-160/CAU-200 TABLA DE REFERENCIA SOBRE DISTRIBUCIÓN DE PÉNDOLAS POR PAREJAS					
VÍAS GENERALES					
Vano m	**Número de Péndolas**	**Nº de Parejas**	**Distancia de 1ª péndola al apoyo (m)**	**Distancia interior par**	**Distancia entre parejas**
62,00	18	9	4,75	0,50	6,00
61,50	18	9	4,70	0,50	5,95
61,00	18	9	4,85	0,50	5,85
60,50	18	9	4,80	0,50	5,80
60,00	18	9	4,75	0,50	5,75
59,50	18	9	4,70	0,50	5,70
59,00	18	9	4,65	0,50	5,65
58,50	18	9	4,80	0,50	5,55
58,00	18	9	4,75	0,50	5,50
57,50	18	9	4,70	0,50	5,45
57,00	18	9	4,65	0,50	5,40
56,50	18	9	4,80	0,50	5,30
56,00	18	9	4,75	0,50	5,25
55,50	18	9	4,70	0,50	5,20
55,00	18	9	4,65	0,50	5,15
54,50	18	9	4,60	0,50	5,10
54,00	16	8	4,70	0,50	5,80
53,50	16	8	4,80	0,50	5,70
53,00	16	8	4,90	0,50	5,60
52,50	16	8	4,65	0,50	5,60
52,00	16	8	4,75	0,50	5,50
51,50	16	8	4,85	0,50	5,40
51,00	16	8	4,95	0,50	5,30

CA-160/CAU-200 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**
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
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

CA-160/CAU-200 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**
29,00	8	4	4,80	0,50	5,80
28,50	8	4	4,70	0,50	5,70
28,00	8	4	4,75	0,50	5,50
27,50	8	4	4,80	0,50	5,30
27,00	8	4	4,70	0,50	5,20
26,50	8	4	4,75	0,50	5,00
26,00	8	4	4,65	0,50	4,90
25,50	8	4	4,70	0,50	4,70
25,00	8	4	4,75	0,50	4,50
24,50	8	4	4,65	0,50	4,40
24,00	8	4	4,70	0,50	4,20
23,50	8	4	4,60	0,50	4,10
23,00	6	3	4,85	0,50	5,90
22,50	6	3	4,80	0,50	5,70
22,00	6	3	4,75	0,50	5,50
21,50	6	3	4,75	0,50	5,25
21,00	6	3	4,75	0,50	5,00
20,50	6	3	4,75	0,50	4,75
20,00	6	3	4,75	0,50	4,50
19,50	6	3	4,75	0,50	4,25
19,00	6	3	4,75	0,50	4,00

Tabla 11 – Pendolado equidistante, 1 Hilo de Contacto

CA-160/CAU 200 TABLA DE REFERENCIA SOBRE DISTRIBUCIÓN DE PÉNDOLAS EQUIDISTANTES 1 HILO DE CONTACTO			
VÍAS SECUNDARIAS			
Vano (m)	**Nº de Péndolas**	**Distancia de 1ª Péndola al apoyo (m)**	**Distancia entre Péndolas (m)**
60	10	3,00	6
59	9	5,50	6
54	9	3,00	6
53	8	5,50	6
48	8	3,00	6
47	7	5,50	6
42	7	3,00	6
41	6	5,50	6
36	6	3,00	6
35	5	5,50	6
30	5	3,00	6
29	5	4,50	5
24	4	4,50	5
23	4	4,00	5
22	4	3,50	5
21	4	3,00	5
20	4	4,00	4

Tabla 12 – Pendolado equidistante, 2 Hilos de Contacto

CA-160/CAU-200 TABLA DE REFERENCIA SOBRE DISTRIBUCIÓN DE PÉNDOLAS EQUIDISTANTES 2 HILOS DE CONTACTO			
VÍAS SECUNDARIAS			
Vano (m)	**Nº Péndolas**	**Distancia de 1ª Péndola al apoyo (m)**	**Distancia entre Péndolas (m)**
60	18	4,50	3
57	18	3,00	3
56	16	5,50	3
51	16	3,00	3
50	14	5,50	3
45	14	3,00	3
44	12	5,50	3
39	12	3,00	3
38	10	5,50	3
33	10	3,00	3
32	8	5,50	3
27	8	3,00	3
26	6	5,50	3
21	6	3,00	3
20	4	5,50	3

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

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

- **Vía general**
  - Tensión mecánica de los conductores, será la indicada en la norma
  - 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 la norma
  - Pendolado tipo Co7 / Co8
  - Distancia entre péndolas equidistantes

Tabla 13 – Distribución de péndolas por parejas

CA-220/CAU-200 TABLA DE REFERENCIA SOBRE DISTRIBUCIÓN DE PÉNDOLAS POR PAREJAS					
VÍAS GENERALES Y SECUNDARIAS					
Vano (m)	**Número de Péndolas**	**Nº de parejas**	**Distancia de 1ª Péndola al apoyo (m)**	**Distancia Interior par**	**Distancia entre parejas**
62,00	16	8	5,20	0,50	6,80
61,50	16	8	5,30	0,50	6,70
61,00	16	8	5,40	0,50	6,60
60,50	16	8	5,15	0,50	6,60
60,00	16	8	5,25	0,50	6,50
59,50	16	8	5,35	0,50	6,40
59,00	16	8	5,10	0,50	6,40
58,50	16	8	5,20	0,50	6,30
58,00	16	8	5,30	0,50	6,20
57,50	16	8	5,40	0,50	6,10
57,00	16	8	5,15	0,50	6,10
56,50	16	8	5,25	0,50	6,00
56,00	16	8	5,00	0,50	6,00
55,50	16	8	5,10	0,50	5,90
55,00	16	8	5,20	0,50	5,80
54,50	16	8	5,30	0,50	5,70
54,00	14	7	5,15	0,50	6,70
53,50	14	7	5,20	0,50	6,60
53,00	14	7	5,25	0,50	6,50
52,50	14	7	5,30	0,50	6,40
52,00	14	7	5,35	0,50	6,30
51,50	14	7	5,25	0,50	6,25

CA-220/CAU-200
TABLA DE REFERENCIA SOBRE DISTRIBUCIÓN DE PÉNDOLAS POR PAREJAS

VÍAS GENERALES Y SECUNDARIAS

Vano (m)	Número de Péndolas	Nº de parejas	Distancia de 1ª Péndola al apoyo (m)	Distancia Interior par	Distancia entre parejas
51,00	14	7	5,15	0,50	6,20
50,50	14	7	5,20	0,50	6,10
50,00	14	7	5,25	0,50	6,00
49,50	14	7	5,30	0,50	5,90
49,00	14	7	5,20	0,50	5,85
48,50	14	7	5,25	0,50	5,75
48,00	14	7	5,15	0,50	5,70
47,50	14	7	5,20	0,50	5,60
47,00	12	6	5,25	0,50	6,70
46,50	12	6	5,25	0,50	6,60
46,00	12	6	5,25	0,50	6,50
45,50	12	6	5,25	0,50	6,40
45,00	12	6	5,25	0,50	6,30
44,50	12	6	5,25	0,50	6,20
44,00	12	6	5,25	0,50	6,10
43,50	12	6	5,25	0,50	6,00
43,00	12	6	5,25	0,50	5,90
42,50	12	6	5,25	0,50	5,80
42,00	12	6	5,25	0,50	5,70
41,50	12	6	5,25	0,50	5,60
41,00	12	6	5,25	0,50	5,50
40,50	12	6	5,25	0,50	5,40
40,00	12	6	5,25	0,50	5,30
39,50	10	5	5,30	0,50	6,60
39,00	10	5	5,25	0,50	6,50
38,50	10	5	5,20	0,50	6,40
38,00	10	5	5,15	0,50	6,30
37,50	10	5	5,10	0,50	6,20
37,00	10	5	5,25	0,50	6,00
36,50	10	5	5,20	0,50	5,90
36,00	10	5	5,15	0,50	5,80
35,50	10	5	5,10	0,50	5,70
35,00	10	5	5,25	0,50	5,50
34,50	10	5	5,20	0,50	5,40
34,00	10	5	5,15	0,50	5,30
33,50	10	5	5,10	0,50	5,20
33,00	10	5	5,25	0,50	5,00
32,50	8	4	5,20	0,50	6,70
32,00	8	4	5,25	0,50	6,50
31,50	8	4	5,15	0,50	6,40
31,00	8	4	5,20	0,50	6,20
30,50	8	4	5,25	0,50	6,00

CA-220/CAU-200
TABLA DE REFERENCIA SOBRE DISTRIBUCIÓN DE PÉNDOLAS POR PAREJAS

VÍAS GENERALES Y SECUNDARIAS

Vano (m)	Número de Péndolas	Nº de parejas	Distancia de 1ª Péndola al apoyo (m)	Distancia Interior par	Distancia entre parejas
30,00	8	4	5,15	0,50	5,90
29,50	8	4	5,20	0,50	5,70
29,00	8	4	5,10	0,50	5,60
28,50	8	4	5,15	0,50	5,40
28,00	8	4	5,20	0,50	5,20
27,50	8	4	5,25	0,50	5,00
27,00	8	4	5,00	0,50	5,00
26,50	8	4	5,05	0,50	4,80
26,00	8	4	5,10	0,50	4,60
25,50	8	4	5,15	0,50	4,40
25,00	6	3	5,25	0,50	6,50
24,50	6	3	5,20	0,50	6,30
24,00	6	3	5,25	0,50	6,00
23,50	6	3	5,20	0,50	5,80
23,00	6	3	5,15	0,50	5,60
22,50	6	3	5,20	0,50	5,30
22,00	6	3	5,25	0,50	5,00
21,50	6	3	5,10	0,50	4,90
21,00	6	3	4,85	0,50	4,90
20,50	6	3	4,80	0,50	4,70
20,00	6	3	4,75	0,50	4,50

adif

ADMINISTRADOR DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS