



**INFORME DE LÍNEA AÉREA**

Planta FV Webinar ES

2023/11/22

AVISO LEGAL

Este informe ("Informe") es proporcionado por Rated Power S.L. ("RatedPower") para el uso del Cliente, que ha suscrito un acuerdo escrito con RatedPower. Sin embargo, RatedPower no hace representaciones o garantías de ningún tipo, expresas o implícitas, en cuanto a la exactitud, integridad, idoneidad o fiabilidad del Informe, y no será responsable de los daños y perjuicios de cualquier tipo que surjan o en relación al uso del Informe por parte del Cliente. El Cliente puede proporcionar a RatedPower su logotipo para su colocación en el Informe. El Cliente declara y garantiza que tiene todos los derechos y permisos necesarios para utilizar e incluir el logotipo en el Informe, y eximirá a RatedPower de cualquier reclamación derivada del uso de dicho logotipo en el Informe.

TABLA DE CONTENIDOS

[1. INTRODUCCIÓN](#0)

[2. EMPLAZAMIENTO](#1)

[2.1. Localización](#2)

[3. DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA AÉREA](#3)

[4. CONSIDERACIONES GENERALES DE LA LÍNEA AÉREA](#4)

[4.1. Condiciones medioambientales](#5)

[4.2. Coordinación de aislamiento](#6)

[4.3. Distancias mínimas](#7)

[4.4. Distancias mínimas en los vanos](#8)

[4.5. Distancias mínimas de seguridad](#9)

[4.6. Resumen de las distancias mínimas](#10)

[5. CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA](#11)

[5.1. Cantones](#12)

[5.2. Apoyos](#13)

[5.3. Conductores](#14)

[5.4. Cables de tierra](#15)

[5.5. Aisladores](#16)

[6. CÁLCULOS ELÉCTRICOS](#17)

[6.1. Resistencia](#18)

[6.2. Inductancia](#19)

[6.3. Impedancia](#20)

[6.4. Capacitancia](#21)

[6.5. Resumen de los parámetros eléctricos](#22)

[6.6. Factor de potencia](#23)

[6.7. Caída de tensión](#24)

[6.8. Efecto corona](#25)

[6.9. Pérdidas](#26)

[7. CÁLCULOS MECÁNICOS](#27)

[7.1. Conductor](#28)

[7.2. Esfuerzos](#29)

[7.3. Aislador](#30)

[7.4. Vanos](#31)

[7.5. Catenarias](#32)

[8. GEOMETRÍA DE LOS APOYOS](#33)

[8.1. Descripción del apoyo](#34)

[8.2. Geometría del apoyo](#35)

[9. CÁLCULO DEL APOYO](#36)

[9.1. Hipótesis](#37)

[9.2. Esfuerzos debidos al conductor de fase](#38)

[9.3. Esfuerzos debidos al cable de tierra](#39)

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este informe, producido por RatedPower, es describir las especificaciones y el diseño de la línea aérea del proyecto en Spain, Andalucía.

El dimensionado y los cálculos introducidos en este informe se realizan de acuerdo con los estándares IEC y EN.

Las especificaciones actuales del proyecto pueden ser objeto de cambio en las próximas etapas del desarrollo. Las características principales del proyecto se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen de las características del proyecto

|  |  |
| --- | --- |
| **Proyecto Webinar ES** | |
| Localización | Spain, Andalucía |
| Capacidad de la subestación | 305.8MVA |
| Nivel de alta tensión | 275.0kV |
| Frecuencia | 50 Hz |
| Instalación de la subestación | Intemperie |
| Tecnología de la aparamenta | Aislamiento en aire |
| Tipo de línea | transmisión |

2. EMPLAZAMIENTO

2.1. Localización

La línea aérea de 275.0kV transportará 305.8MVA desde la instalación de la subestación de la planta en Andalucía hasta el punto de interconexión. En la Tabla 2 se muestra información adicional sobre la localización de la subestación y el inicio de la línea.

Tabla 2. Características del emplazamiento

|  |  |
| --- | --- |
| **Características del emplazamiento** | |
| Ciudad / Localidad | Colonia de Santa Ana |
| Región | Andalucía |
| País | Colonia de Santa Ana |
| Latitud | 37.1 |
| Longitud | -4.7 |
| Altitud | 416.68 m a.m.s.l. |

La línea aérea cruza la planta; por lo tanto, se aplica una franja de servidumbre con un ancho de 20.0 m.

3. DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA AÉREA

Las características generales de la línea aérea de 275.0kV se muestran en la Tabla 3:

Tabla 3. Características generales de la línea aérea

|  |  |
| --- | --- |
| **Características de la línea** | |
| Tensión nominal | 275.0 kV |
| Tensión máxima | 300.0 kV |
| Capacidad | 305.8 MVA |
| Frecuencia | 50 Hz |
| Longitud | 7621.18 m |
| Tipo de línea | transmisión |
| Disposición de los circuitos | Simplex |
| Conductores por circuito | 1 |
| Número de cables de tierra | 1 |
| Tipo de conductor de fase | 250-A1/S1A |
| Tipo de aislador en suspensión | long rod |
| Tipo de aislador en amarre | long rod |
| Tipo de apoyo | MV Single fork |
| Número de apoyos | 25 |

En total, 25 torres conectarán los conductores transmisión hasta el punto de interconexión. Las coordenadas de cada apoyo en UTM están listadas en Tabla 4:

Tabla 4. Coordenadas de los apoyos.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Apoyo** | **X** | **Y** | **Z** |
| Apoyo 1 | 345899.908 | 4104143.603 | 450.074 |
| Apoyo 2 | 346215.728 | 4104300.584 | 429.181 |
| Apoyo 3 | 346417.503 | 4104400.877 | 417.52 |
| Apoyo 4 | 346619.277 | 4104501.17 | 409.278 |
| Apoyo 5 | 346485.425 | 4104788.753 | 417.781 |
| Apoyo 6 | 346343.208 | 4105094.31 | 421.507 |
| Apoyo 7 | 346196.808 | 4105408.855 | 427.235 |
| Apoyo 8 | 346050.409 | 4105723.4 | 429.969 |
| Apoyo 9 | 345920.741 | 4106001.997 | 435.404 |
| Apoyo 10 | 345857.389 | 4106296.45 | 439.375 |
| Apoyo 11 | 345787.906 | 4106619.399 | 435.128 |
| Apoyo 12 | 345808.402 | 4106937.196 | 428.345 |
| Apoyo 13 | 345829.539 | 4107264.925 | 430.504 |
| Apoyo 14 | 345852.597 | 4107622.447 | 430.951 |
| Apoyo 15 | 345875.656 | 4107979.969 | 433.236 |
| Apoyo 16 | 345896.794 | 4108307.697 | 431.866 |
| Apoyo 17 | 345919.214 | 4108655.288 | 421.324 |
| Apoyo 18 | 345939.071 | 4108963.154 | 416.154 |
| Apoyo 19 | 345960.21 | 4109290.882 | 415.038 |
| Apoyo 20 | 346148.815 | 4109557.636 | 416.836 |
| Apoyo 21 | 346297.413 | 4109767.805 | 421.829 |
| Apoyo 22 | 346474.588 | 4110018.391 | 433.118 |
| Apoyo 23 | 346657.478 | 4110277.06 | 441.064 |
| Apoyo 24 | 346846.083 | 4110543.812 | 443.738 |
| Apoyo 25 | 347028.973 | 4110802.481 | 462.571 |

4. CONSIDERACIONES GENERALES DE LA LÍNEA AÉREA

4.1. Condiciones medioambientales

Las condiciones medioambientales se muestran en la Tabla 5. Se han utilizado para calcular algunos elementos importantes de la línea aérea como el tipo de conductor y de aislador, las catenarias de los conductores de fase y del cable de tierra, además de los esfuerzos en los apoyos.

Tabla 5. Condiciones medioambientales del emplazamiento

|  |  |
| --- | --- |
| **Condiciones medioambientales** | |
| Altitud | 416.68 m a.m.s.l. |
| Temperatura máxima | 85°C |
| Temperatura media | 15°C |
| Temperatura mínima | -5°C |
| Nivel de contaminación | Media |
| Línea de fuga específica | 20 mm/kV |
| Velocidad máxima del viento | 120 km/h |
| Espesor máximo del hielo | 30 mm |
| Densidad máxima del hielo | 900 kg/m3 |

4.2. Coordinación de aislamiento

Los valores de coordinación de aislamiento que se han adoptado para seleccionar el aislador y calcular las distancias de seguridad se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores de coordinación de aislamiento

|  |  |
| --- | --- |
| **Coordinación de aislamiento** |  |
| Sobretensión de frente rápido | 917.6kV |
| Sobretensión de frente lento | 772.8kV |
| Tensión a frecuencia industrial | 448.5kV |
| Tensión estadística de frente lento | 391.9kV |

4.3. Distancias mínimas

Las distancias mínimas se componen de dos valores:

* Una distancia eléctrica entre conductores de fase y entre conductores y cables de tierra
* Una distancia eléctrica entre conductores de fase y objetos puestos a tierra, en este caso apoyos

Después del cálculo de la tensión de impulso tipo rayo, se han obtenido las siguientes distancias mínimas:

* Distancia fase-tierra: 2.1 m.
* Distancia fase-fase: 2.4 m.

Para estas distancias, el efecto de la altitud sobre el nivel del mar ha sido considerado

4.4. Distancias mínimas en los vanos

Las distancias mínimas en los vanos se calculan en base a las distancias eléctricas y se diseñan con el fin de evitar arcos eléctricos entre los conductores bajo la acción del viento. Estas distancias son las siguientes:

* Distancia fase-tierra en el vano.
* Distancia fase-fase en el vano.

Las distancias máximas por cantón en la línea se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Distancias máximas en el vano

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Cantón** | **Distancia fase-fase [m]** | **Distancia fase-tierra [m]** |
| Cantón 1 | 4.54 | 4.32 |
| Cantón 2 | 4.61 | 4.39 |
| Cantón 3 | 4.39 | 4.17 |
| Cantón 4 | 4.60 | 4.37 |
| Cantón 5 | 4.51 | 4.28 |

4.5. Distancias mínimas de seguridad

Las distancias mínimas de seguridad son aquellas que deberán mantenerse con respecto a los conductores de fase en el perímetro de la línea aérea. Las distancias de seguridad están compuestas por estos dos valores:

* La distancia al suelo, que está relacionada con la distancia eléctrica fase-tierra de la línea. Representa la distancia mínima entre el conductor más bajo y el terreno. Por ello, el conductor más bajo deberá encontrarse por lo menos a 7.1 m del suelo.
* La distancia a objeto, que representa la distancia mínima de seguridad entre la línea y un posible objeto presente a lo largo de la línea. Por ello, los conductores de los apoyos no deberán encontrarse a menos de 12.1 m de cualquier objeto.

Las distancias mínimas de seguridad de la línea aérea se muestran en la Figura 1.

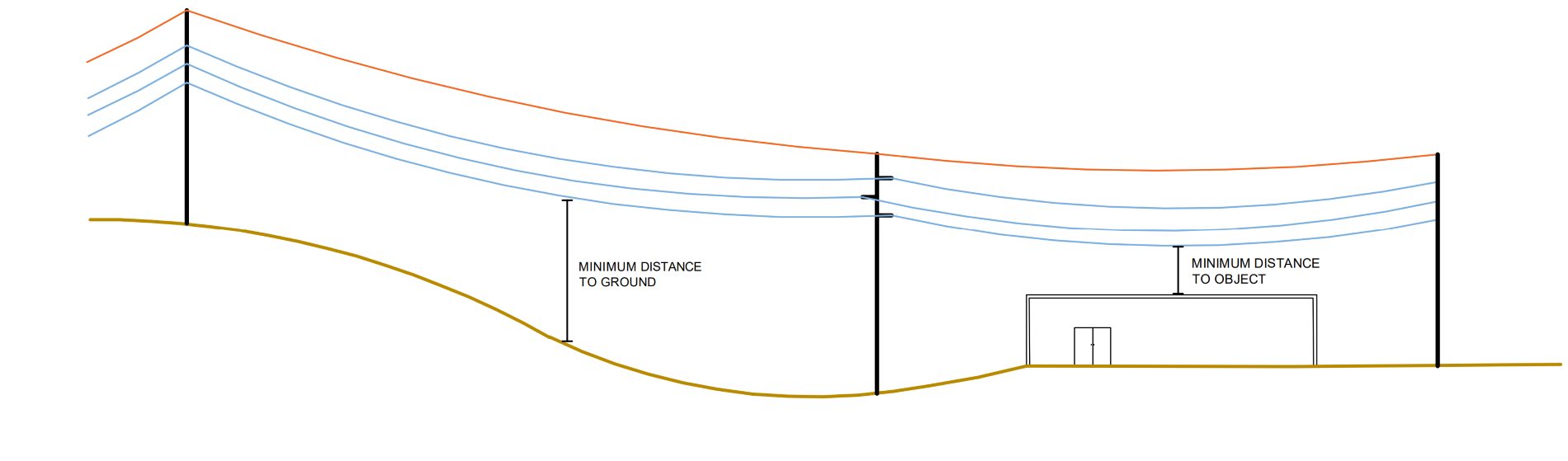


Figura 1. Distancias mínimas de seguridad

4.6. Resumen de las distancias mínimas

A continuación, un resumen de las distancias que han sido consideradas se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8. Distancias mínimas de la línea.

|  |  |
| --- | --- |
| **Valores básicos** | |
| Distancia fase-tierra | 2.1 m |
| Distancia fase-fase | 2.4 m |
| Distancia al terreno | 7.1 m |
| Distancia a objetos | 12.1 m |

5. CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA

La línea transmisión de 275.0kV tiene un circuito Simplex para transportar una capacidad de 305.8MVA. La línea tiene 7621.18 m de longitud y está compuesta por 5 cantones que determinan las desviaciones de la línea.

5.1. Cantones

Los cantones de la línea se presentan en la Tabla 9 junto con sus correspondientes vanos de regulación, sus apoyos al principio y al final de cada cantón, y sus longitudes totales.

Tabla 9. Cantones de la línea

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Cantón** | **Coordenadas del inicio** | **Coordenadas del final** | **Vano de regulación [m]** | **Longitud [m]** |
| Cantón 1 | {345,899.9; 4,104,143.6} | {346,619.3; 4,104,501.2} | 288.25 | 803.33 |
| Cantón 2 | {346,619.3; 4,104,501.2} | {345,920.7; 4,106,002} | 332.25 | 1655.43 |
| Cantón 3 | {345,920.7; 4,106,002} | {345,787.9; 4,106,619.4} | 316.77 | 631.53 |
| Cantón 4 | {345,787.9; 4,106,619.4} | {345,960.2; 4,109,290.9} | 335.95 | 2677.03 |
| Cantón 5 | {345,960.2; 4,109,290.9} | {347,029; 4,110,802.5} | 311.19 | 1851.27 |

5.2. Apoyos

La línea aérea tiene 25 apoyos en total, 19 de ellos son apoyos de suspensión, 4 son apoyos de amarre en ángulo y dos apoyos son de fin de línea. Los apoyos en suspensión se posicionan a lo largo de un recorrido recto y los apoyos de amarre en ángulo están sujetos a mayor tensión debido a un ángulo de desviación de la línea.

El tipo de apoyo de esta línea es MV Single fork con una disposición de circuitos Simplex. El apoyo seleccionado se muestra en la Figura 2.

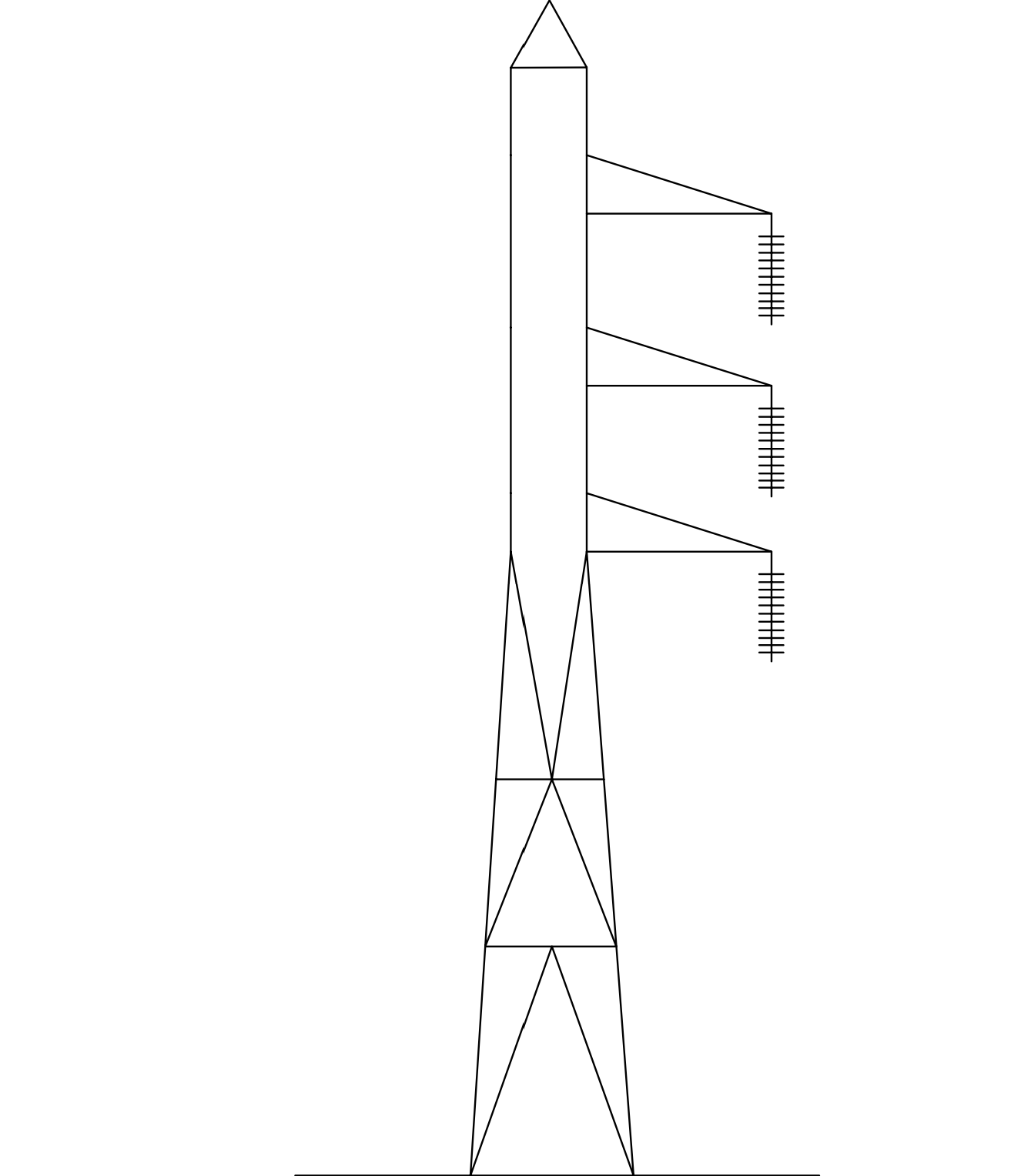


Figura 2. Ilustración del apoyo de la línea

5.3. Conductores

El conductor de fase de 275.0kV que ha sido seleccionado para la línea es de tipo 250-A1/S1A, las consideraciones eléctricas consisten en el gradiente de tensión, la corriente máxima admisible y la caída de tensión máxima. Las características se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Características del conductor

|  |  |
| --- | --- |
| **Características del conductor** | |
| Denominación | 250-A1/S1A |
| Composición | Al x Steel |
| Hilos | 22x7 |
| Diámetro total | 21.6 mm |
| Masa unitaria | 0.8806 Kg/m |
| Carga de rotura | 68720 N |
| Sección | 2.74 cm2 |
| Resistividad | 0.03 Ω.mm |
| Elasticidad | 67.7 N/mm² |
| Resistencia [AC] | 0.15 Ω/km |
| Corriente máxima admisible | 0.708 kA |
| Gradiente de tensión | 22.88 kV/cm |

Además, la línea tiene una disposición en haz de un conductor por fase.

La longitud del conductor de la línea es 7619.66 m.



Figura 3. Ilustración del conductor de la línea [fuente: Southwire]

**Este conductor no se ajusta a los límites de gradiente de tensión requeridos. El gradiente de tensión viene definido por la disposición del conductor y del circuito, así como por la tensión de la línea.**

5.4. Cables de tierra

La línea aérea de 275.0kV está protegida por 1 cable(s) de tierra de tipo OPGW-2S 1/48B1 (0/165-213.7), cuyas características se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Cable de tierra

|  |  |
| --- | --- |
| **Características del cable de tierra** | |
| Denominación | OPGW-2S 1/48B1 (0/165-213.7) |
| Número de fibras | 48 |
| Diámetro total | 17.2 mm |
| Masa unitaria | 0.7960 Kg/m |
| Carga de rotura | 106300.00 N |
| Sección | 1.65 cm2 |
| Coeficiente de expansión térmica | 0.000016 °C−1 |
| Elasticidad | 10.9 N/mm² |
| Resistencia [AC] | 0.27 Ω/km |
| Capacidad de cortocircuito | 213.70 kA²/s-1 |

La longitud total de los cables de tierra es de 7644.72 m.



Figura 4. Ilustración del cable de tierra de la línea [fuente: Faso]

5.5. Aisladores

La línea aérea de 275.0kV está aislada con 1 aislador(es) por fase de tipo long rod para los apoyos en suspensión, y de tipo long rod para apoyos de amarre. Los aisladores seleccionados soportan tanto los impulsos tipo rayo como las tensiones a frecuencia industrial bajo lluvia.

La masa total del aislador de tipo compuesto no ha sido calculada.

Las características del aislador de suspensión se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Características del aislador de suspensión

|  |  |
| --- | --- |
| **Características del aislador de suspensión** | |
| Denominación | U210B |
| Longitud | 2.89 m |
| Diámetro total | 300.0 mm |
| Masa total | 122.40 Kg |
| Carga mínima de rotura | 210000.0 N |
| Número de elementos | 17 |
| Impulso tipo rayo | 1360.0kV |
| Frecuencia industrial bajo lluvia | 585.0kV |
| Línea de fuga | 6.29 m |

Las características del aislador de amarre se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Características del aislador de amarre

|  |  |
| --- | --- |
| **Características del aislador de amarre** | |
| Denominación | U210B |
| Longitud | 2.89 m |
| Diámetro total | 300.0 mm |
| Masa total | 122.40 Kg |
| Carga mínima de rotura | 210000.0 N |
| Número de elementos | 17 |
| Impulso tipo rayo | 1360.0kV |
| Frecuencia industrial bajo Lluvia | 585.0kV |
| Línea de fuga | 6.29 m |



Figura 5. Ilustración de un aislador de la línea [fuente: NGK]

6. CÁLCULOS ELÉCTRICOS

El circuito equivalente de la línea aérea de 275.0kV está representado mediante el modelo de PI; la representación se muestra en la Figura 6. El rendimiento eléctrico viene determinado por la resistencia, la inductancia y la capacitancia. En los siguientes apartados, las propiedades eléctricas de la línea se presentan suponiendo un sistema trifásico balanceado.

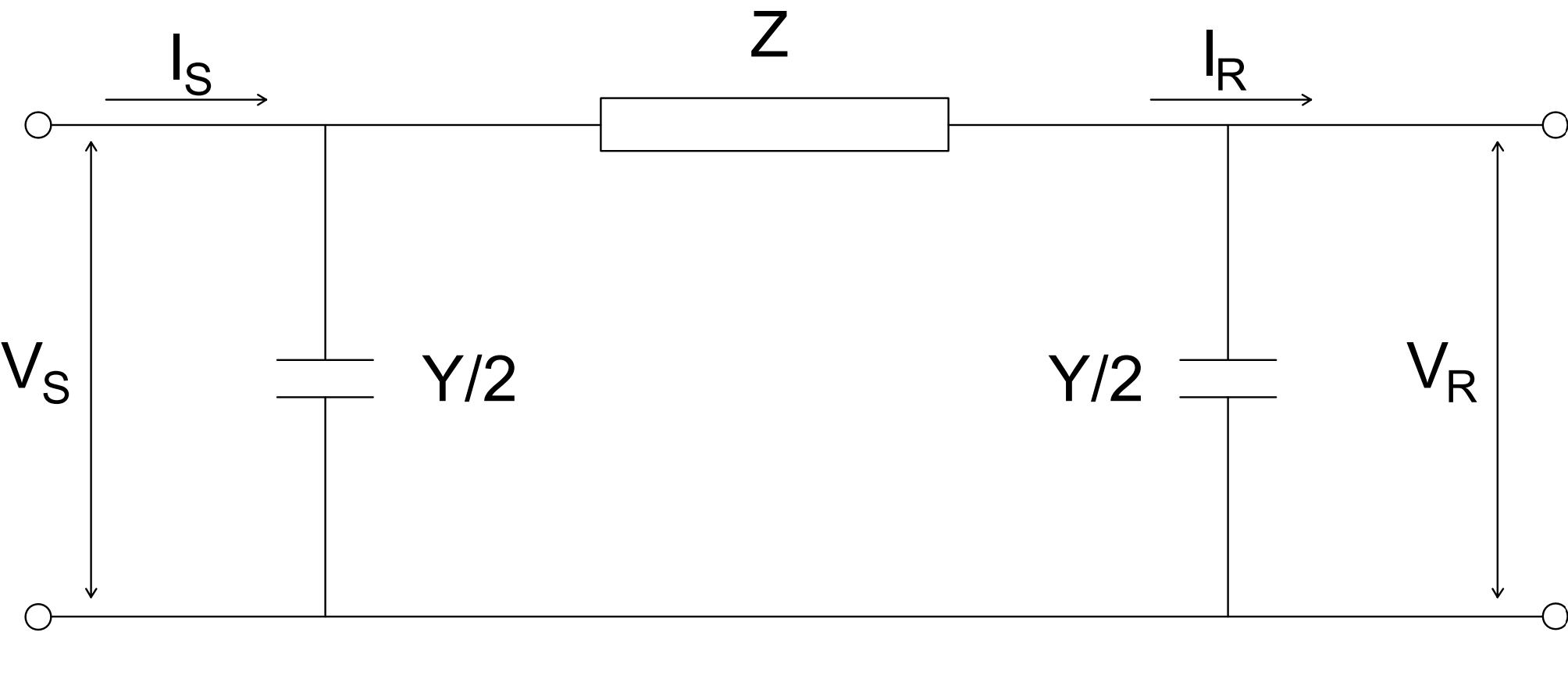


Figura 6. Modelo de PI

6.1. Resistencia

La resistencia eléctrica es una de las propiedades más importantes que determinan la optimización de una línea aérea. La resistencia dc de la línea se ha calculado en base a la resistencia y el resto de las características del conductor. La resistencia resultante es de 1.11Ω.

6.2. Inductancia

La inductancia da una idea sobre el rendimiento de la línea, su cálculo considera el haz de conductores y depende de la geometría del apoyo. Para la geometría del apoyo de esta línea y las características del conductor, la inductancia calculada es de 0.010H.

Por lo tanto, la reactancia inductiva corresponde a 3.20 Ω.

6.3. Impedancia

La impedancia en secuencia directa está representada mediante un número complejo a partir de la resistencia y la reactancia. La impedancia resultante es de 3.39 Ω.

Del mismo modo, la impedancia de secuencia cero de la línea que representa la resistencia y reactancia de secuencia cero es 9.24 Ω.

6.4. Capacitancia

La capacitancia de la línea aérea es responsable de generar potencia reactiva para los requerimientos del sistema. La capacitancia a lo largo de los conductores y la tierra está distribuida a lo largo de los conductores de la línea. La capacitancia se calcula en base a la altura del conductor sobre la tierra y depende de la disposición de los circuitos.

Por consiguiente, la susceptancia resulta en 20.73 ·10-6 S.

6.5. Resumen de los parámetros eléctricos

Los parámetros eléctricos principales de la línea de 275.0 se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Parámetros eléctricos de la línea

|  |  |
| --- | --- |
| **Parámetros eléctricos** | |
| Resistencia | 1.11 Ω |
| Inductancia | 0.010 H |
| Reactancia inductive | 3.20 Ω |
| Impedancia de secuencia positiva | 3.39 Ω |
| Impedancia de secuencia cero | 9.24 Ω |
| Capacitancia | 0.0660 ·10-6 F |
| Susceptancia | 20.73 ·10-6 S |

6.6. Factor de potencia

El factor de potencia en el punto final de la línea aérea ha sido calculado en base al modelo de PI, considerando la tensión y la corriente al final de la línea. El factor de potencia resultante se muestra en la Tabla 15.

6.7. Caída de tensión

Debido a los parámetros eléctricos, principalmente a la resistencia, inductancia y capacitancia, la caída de tensión de la línea transmisión de 7621.18 m se calcula con respecto al modelo de PI considerando la tensión en el punto final.

La tensión en el punto final se calcula en base a la impedancia característica y la constante de propagación, que da como resultado 273.3kV.

Por lo tanto, la caída de tensión de 1.7kV y la caída de tensión porcentual correspondiente es de 0.624 %. Un resumen de la caída de tensión se presenta en la Tabla 15.

Tabla 15. Resultados de caída de tensión

|  |  |
| --- | --- |
| **Caída de tensión** | |
| Tensión máxima | 275.0 kV |
| Tensión en el punto final | 273.3 kV |
| Caída de tensión | 1.7 kV |
| Caída de tensión porcentual | 0.624 % |
| Factor de potencia | 0.991 |

6.8. Efecto corona

El efecto corona ocurre cuando el campo eléctrico alcanza el gradiente de tensión superficial crítico del conductor. Esto se caracteriza por una tensión mínima de fase a neutro llamada tensión disruptiva crítica que se requiere para que ocurra el efecto corona

La línea aérea tiene una tensión crítica disruptiva de 168.1kV bajo condiciones de humedad, como la tensión máxima de la línea es de 275.0kV, esto significa que el efecto corona ocurrirá.

6.9. Pérdidas

Las pérdidas en la línea aérea son las óhmicas y las provocadas por el efecto corona, en caso de producirse, a continuación, se detallan ambas pérdidas.

* *Pérdidas por efecto Joule:*

Las pérdidas óhmicas son las principales pérdidas que ocurren en los conductores de la línea. El cálculo de las pérdidas por efecto Joule tiene en cuenta la potencia en el punto final y en el punto inicial de la línea, resultando en 1.378 MW.

* *Pérdidas por efecto Corona:*

La posible existencia del efecto corona conducirá a unas pérdidas en la línea de 0.984184 MW.

Tabla 16. Pérdidas en la línea

|  |  |
| --- | --- |
| **Pérdidas** | |
| Efecto Joule | 1.378MW |
| Efecto Corona | 0.984184MW |

**Consecuentemente, la personalización de este diseño resultará en una línea de alta tensión de baja eficiencia causada por los siguientes parámetros:**

Tabla 17. Alertas de diseño.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Parámetro** | **Valor ineficiente** | **Valor máximo admisible** |
| Gradiente de tensión | 22.88 kV/cm | 17.00 kV/cm |

7. CÁLCULOS MECÁNICOS

Los cálculos mecánicos de la línea abarcan la selección del conductor y del aislador, las cargas en conductores y cables de tierra y las catenarias a lo largo de la línea. En los siguientes apartados, los diferentes resultados mecánicos serán introducidos.

7.1. Conductor

Las consideraciones mecánicas para seleccionar el conductor están relacionadas con la tensión que el conductor deberá soportar bajo distintas condiciones de operación. El resumen de las características mecánicas del conductor se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18. Características mecánicas del conductor

|  |  |
| --- | --- |
| **Características mecánicas del conductor** | |
| Denominación del conductor | 250-A1/S1A |
| Sección | 2.74 cm2 |
| Carga de rotura | 68720 N |

7.2. Esfuerzos

Los esfuerzos por el peso, viento y hielo por unidad de longitud en el conductor se calculan para diferentes hipótesis. Las hipótesis consideradas son las siguientes:

* *Temperatura máxima:* Con una temperatura de 85°C y una carga máxima porcentual del 70%.
* *Temperatura mínima*: Con una temperatura de -5°C, un espesor de hielo de 30 mm, una densidad de hielo de 900 kg/m3 y una carga máxima porcentual del 70%.
* *Viento máximo*: Con una temperatura de 10°C, una velocidad del viento de 33.3 m/s y una carga máxima porcentual del 70%.
* *Condiciones normales (EDS)*: Con una temperatura de 15°C y una carga máxima porcentual del 22%.
* *Carga pesada*: Con una temperatura de -5°C, una velocidad del viento de 23.3 m/s, un espesor de hielo de 30 mm, una densidad de hielo de 900 kg/m3 y una carga máxima porcentual del 70%.

En la Tabla 19 los diferentes esfuerzos por unidad de longitud sobre el conductor de fase se presentan para las distintas hipótesis mencionadas previamente.

Tabla 19. Cargas por unidad de longitud sobre los conductores

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Esfuerzo** | **Temperatura máxima** | | **Temperatura mínima** | | **Viento máximo** | | **EDS** | | **Carga pesada** |
| Peso | 8.6 N/m | 8.6 N/m | | 8.6 N/m | | 8.6 N/m | | 8.6 N/m | |
| Viento | -- | -- | | 14.7 N/m | | -- | | 8.3 N/m | |
| Hielo | -- | 43.0 N/m | | -- | | -- | | 43.0 N/m | |
| Esfuerzo total | 8.6 N/m | 51.6 N/m | | 17.0 N/m | | 8.6 N/m | | 52.3 N/m | |

En la Tabla 20 los diferentes esfuerzos sobre el cable de tierra se presentan para las distintas hipótesis mencionadas previamente

Tabla 20. Cargas por unidad de longitud en el cable de tierra

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Esfuerzo** | **Temperatura máxima** | | **Temperatura mínima** | | **Viento máximo** | | **EDS** | | **Carga pesada** |
| Peso | 7.8 N/m | 7.8 N/m | | 7.8 N/m | | 7.8 N/m | | 7.8 N/m | |
| Viento | -- | -- | | 11.7 N/m | | -- | | 6.6 N/m | |
| Hielo | -- | 39.3 N/m | | -- | | -- | | 39.3 N/m | |
| Esfuerzo total | 8.6 N/m | 51.6 N/m | | 17.0 N/m | | 8.6 N/m | | 52.3 N/m | |

7.3. Aislador

Al seleccionar los aisladores de la línea, los esfuerzos de los conductores sobre dichos aisladores, suspensión, amarre y fin de línea deben ser respetados. La carga mínima de rotura de los aisladores debe soportar la carga de los conductores sobre ellos; por ello, el número de aisladores por fase calculado es 1.

Las características de los distintos aisladores de la línea se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21. Características mecánicas de los aisladores

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Característica mecánica** | **Aislador en suspensión** | **Aislador de amarre** | **Aislador de fin de línea** |
| Denominación | U210B | U210B | U210B |
| Carga de rotura | 210000.0 | 210000.0 | 210000.0 |
| Carga total | 54539.7 | 77913.8 | 77913.8 |

7.4. Vanos

Los diferentes vanos de la línea se presentan a continuación, los gravivanos y eolovanos se han calculado en base a las longitudes de los vanos y las catenarias. En la Tabla 22 se listan todos los vanos.

Tabla 22. Vanos de la línea

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Número de vano** | **Longitud de vano [m]** | **Eolovano [m]** | **Gravivano [m]** |
| Vano 1 | 352.68 | 176.34 | 229.67 |
| Vano 2 | 225.33 | 289.00 | 342.80 |
| Vano 3 | 225.33 | 225.33 | 132.75 |
| Vano 4 | 317.21 | 271.27 | 198.51 |
| Vano 5 | 337.03 | 327.12 | 359.91 |
| Vano 6 | 346.95 | 341.99 | 340.71 |
| Vano 7 | 346.95 | 346.95 | 354.10 |
| Vano 8 | 307.29 | 327.12 | 331.23 |
| Vano 9 | 301.19 | 304.24 | 276.98 |
| Vano 10 | 330.34 | 315.77 | 351.30 |
| Vano 11 | 318.46 | 324.40 | 349.01 |
| Vano 12 | 328.41 | 323.43 | 251.43 |
| Vano 13 | 358.26 | 343.34 | 374.21 |
| Vano 14 | 358.26 | 358.26 | 357.14 |
| Vano 15 | 328.41 | 343.34 | 352.54 |
| Vano 16 | 348.31 | 338.36 | 359.18 |
| Vano 17 | 308.51 | 328.41 | 326.36 |
| Vano 18 | 328.41 | 318.46 | 281.07 |
| Vano 19 | 326.69 | 327.55 | 331.46 |
| Vano 20 | 257.40 | 292.04 | 292.33 |
| Vano 21 | 306.89 | 282.14 | 247.02 |
| Vano 22 | 316.79 | 311.84 | 324.57 |
| Vano 23 | 326.69 | 321.74 | 354.12 |
| Vano 24 | 316.79 | 321.74 | 258.47 |

La representación de la longitud de vano, eolovano y gravivano se muestra en la Figura 7.

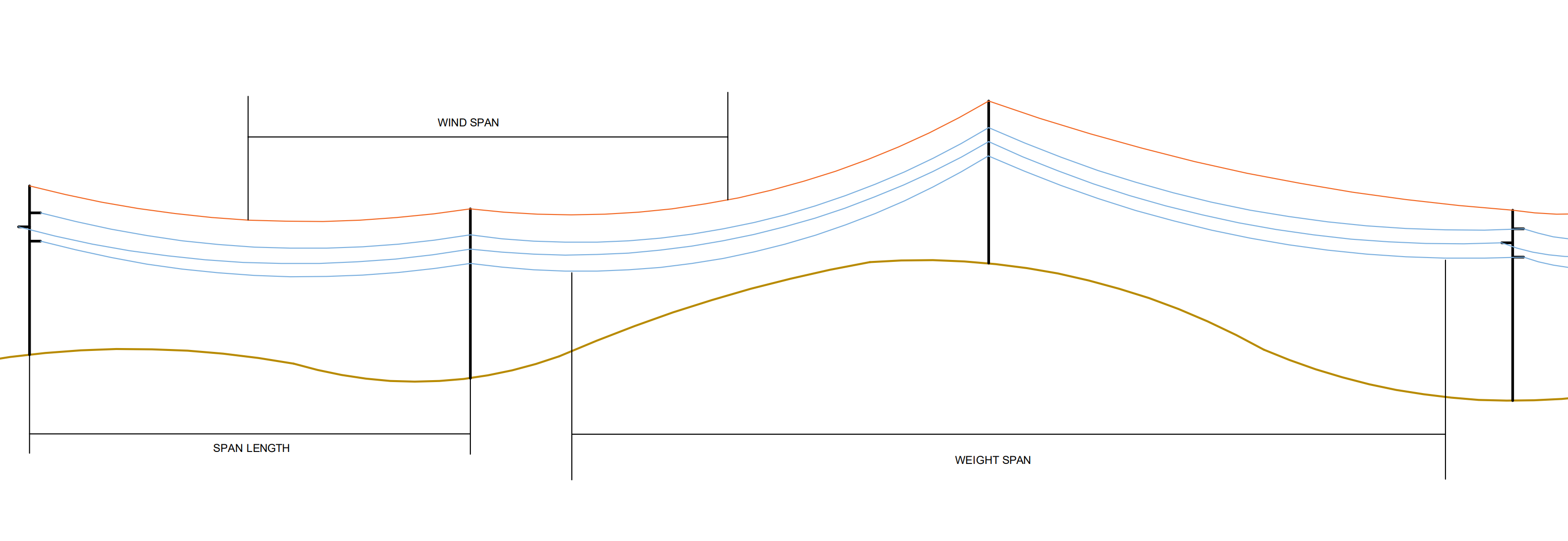


Figura 7. Ilustración de los tipos de vano

* *Ángulos de desviación:*

Bajo ciertas condiciones meteorológicas donde el viento excede cierta velocidad, los aisladores en suspensión se balancearán en el sentido del viento. Es importante considerar el ángulo de desviación cuando se calculan las distancias de seguridad en los vanos entre conductores, además de cuando se determina la geometría de los apoyos.

Para apoyos en amarre, solo se considera el balanceo del conductor al calcular el ángulo de desviación.

En la Tabla 23 se presenten los ángulos de desviación máximos por cantón.

Tabla 23. Ángulos de desviación de los aisladores

|  |  |
| --- | --- |
| **Apoyo** | **Ángulo de desviación** |
| Cantón 1 | 65.6° |
| Cantón 2 | 65.6° |
| Cantón 3 | 60.3° |
| Cantón 4 | 59.9° |
| Cantón 5 | 59.2° |

7.5. Catenarias

* *Catenaria del conductor de fase*

La catenaria de los conductores es un paso crucial en el cálculo mecánico de las líneas aéreas. Los resultados de las catenaries para los conductores de fase presentan la tensión horizontal máxima y la flecha máxima para las distintas hipótesis presentadas previamente por cada cantón. Los resultados se presentan el la Tabla 24.

Tabla 24. Catenarias de los conductores de fase

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Cantón** | **Vano de reg.** | **Temp. máxima**  **Flecha**  **[m]** | **Temp. máxima**  **Tensión [daN]** | **Temp. mínima**  **Flecha [m]** | **Temp. mínima**  **Tensión**  **[daN]** | **EDS**  **Flecha [m]** | **EDS**  **Tensión**  **[daN]** | **Viento máximo**  **Flecha [m]** | **Viento máximo**  **Tensión**  **[daN]** | **Carga pesada**  **Flecha [m]** | **Carga pesada**  **Tensión**  **[daN]** |
| Cantón 1 | 288.3 | 15.99 | 830 | 16.65 | 4765 | 12.91 | 1027 | 7.01 | 1888 | 16.49 | 4810 |
| Cantón 2 | 332.3 | 15.87 | 821 | 16.36 | 4762 | 13.62 | 956 | 7.22 | 1801 | 16.19 | 4810 |
| Cantón 3 | 316.8 | 14.12 | 824 | 14.60 | 4763 | 11.90 | 977 | 6.35 | 1827 | 14.45 | 4810 |
| Cantón 4 | 336.0 | 16.94 | 821 | 17.45 | 4761 | 14.59 | 952 | 7.72 | 1795 | 17.27 | 4810 |
| Cantón 5 | 311.2 | 14.00 | 825 | 14.50 | 4763 | 11.72 | 985 | 6.27 | 1838 | 14.35 | 4810 |

* *Catenarias de los cables de tierra*

Las catenaries de los cables de tierra se representan a partir de las flechas máximas bajo las distintas hipótesis y por las tensiones horizontales de cada cantón. Los resultados de las catenarias se presentan en la Tabla 25.

Tabla 25. Catenaries de los cables de tierra

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Cantón** | **Vano de reg.** | **Temp. máxima**  **Flecha**  **[m]** | **Temp. máxima**  **Tensión [daN]** | **Temp. mínima**  **Flecha [m]** | **Temp. mínima**  **Tensión**  **[daN]** | **EDS**  **Flecha [m]** | **EDS**  **Tensión**  **[daN]** | **Viento máximo**  **Flecha [m]** | **Viento máximo**  **Tensión**  **[daN]** | **Carga pesada**  **Flecha [m]** | **Carga pesada**  **Tensión**  **[daN]** |
| Cantón 1 | 288.3 | 14.48 | 843 | 16.06 | 4586 | 11.85 | 1030 | 7.07 | 1725 | 15.95 | 4618 |
| Cantón 2 | 332.3 | 14.19 | 830 | 15.39 | 4622 | 12.29 | 958 | 7.15 | 1645 | 15.27 | 4658 |
| Cantón 3 | 316.8 | 12.80 | 834 | 13.98 | 4609 | 10.90 | 979 | 6.39 | 1668 | 13.88 | 4644 |
| Cantón 4 | 336.0 | 15.14 | 829 | 16.40 | 4625 | 13.16 | 954 | 7.65 | 1639 | 16.27 | 4660 |
| Cantón 5 | 311.2 | 12.49 | 836 | 13.69 | 4606 | 10.57 | 988 | 6.21 | 1679 | 13.58 | 4641 |

8. GEOMETRÍA DE LOS APOYOS

8.1. Descripción del apoyo

El apoyo seleccionado para la línea de 275.0kV es de tipo MV Single fork con una forma de 2. El apoyo es Simplex y tiene 1 cables de tierra.

8.2. Geometría del apoyo

Las dimensiones de la parte superior del apoyo se han calculado en base a las distancias de seguridad entre fases y entre fase y tierra. Puede darse el caso en el que no se haya encontrado una torre estandarizada (C Atorinillada) que se ajuste a las torres calculadas; por tanto, las dimensiones presentadas a continuación pueden incluir torres calculadas por el modelo y representan dimensiones mayores a las estandarizadas.

Los resultados de las geometrías de los apoyos se presentan en la Tabla 26. Además, la ilustración del apoyo se muestra en la Figura 8.

Tabla 26. Geometría del apoyo

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Apoyo** | **Tipo de apoyo** | **a** | **b** | **c** | **d** |
|
| Cantón 1 | 2 | 5.19 | 4.99 | 5.19 | 4.37 |
| Cantón 2 | 2 | 4.96 | 5.42 | 4.96 | 4.83 |
| Cantón 3 | 2 | 4.90 | 5.27 | 4.90 | 4.73 |
| Cantón 4 | 2 | 5.03 | 5.43 | 5.03 | 4.95 |
| Cantón 5 | 2 | 5.05 | 5.31 | 5.05 | 5.00 |

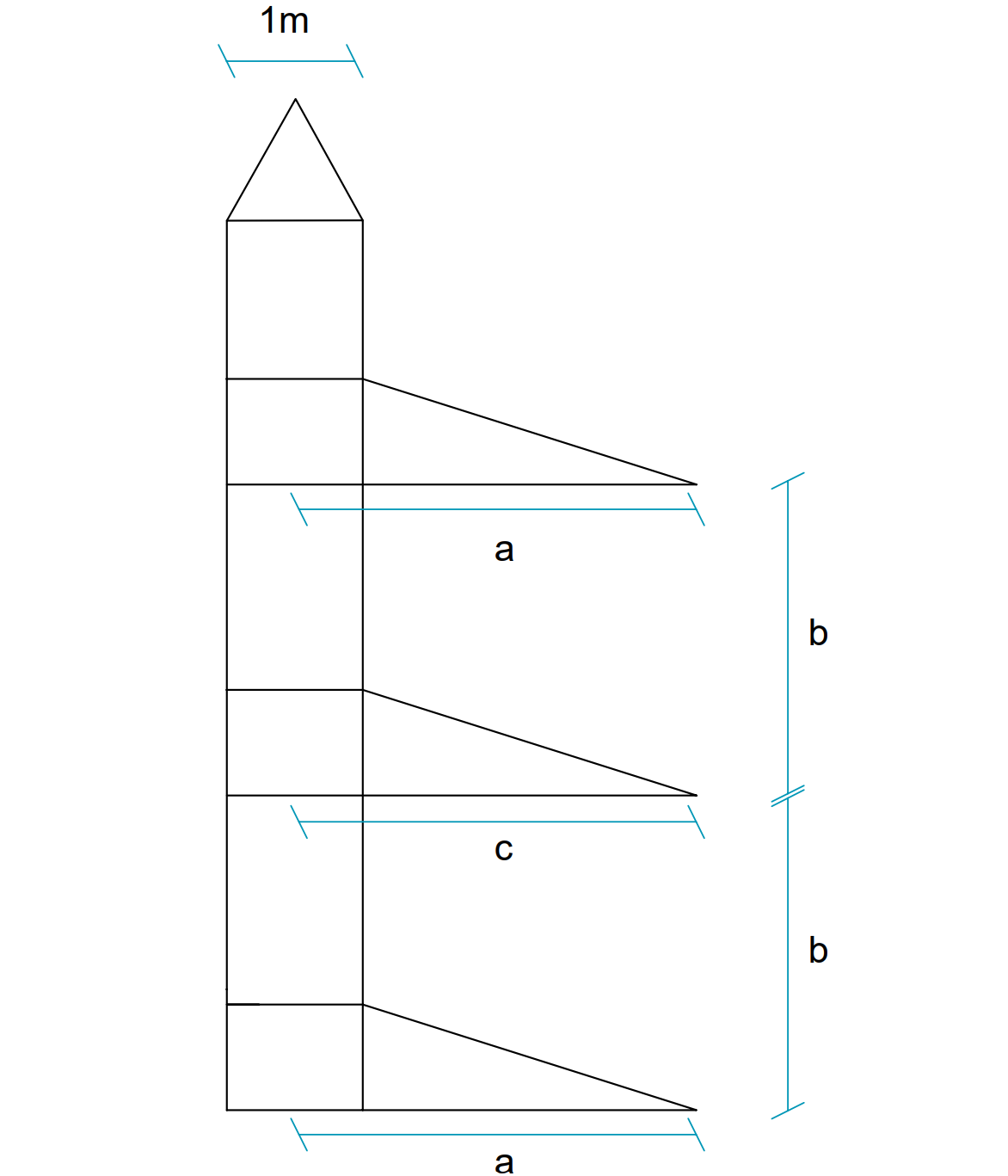


Figura 8. Ilustración de la geometría superior del apoyo

9. CÁLCULO DEL APOYO

Este apartado se centra en el cálculo de los esfuerzos sobre los apoyos de la línea aérea. Los esfuerzos se han calculado bajo cuatro hipótesis especiales.

9.1. Hipótesis

Las hipótesis que se han considerado en los cálculos de los esfuerzos de los apoyos son las siguientes:

* *Viento máximo* [H1]: La temperatura considerada es de 10°C, la velocidad del viento es de 120 km/h y una carga longitudinal en apoyos de fin de línea del 100%.
* *Hielo máximo* [H2]: La temperatura considerada es de -5°C con un espesor de hielo de 30 mm y una densidad de 900 kg/m3 y una carga longitudinal en apoyos de fin de línea del 100%.
* *Desequilibrio de tracciones* [H3]: La temperatura considerada es de -5°C con un espesor de hielo de 30 mm y una densidad de 900 kg/m3, una carga longitudinal en apoyos en suspensión del 15% y en apoyos en tensión del 50%.
* *Rotura del conductor* [H4]: La temperatura considerada es de -5°C con un espesor de hielo de 30 mm y una densidad de 900 kg/m3, una carga longitudinal en apoyos en suspensión del 50% y en apoyos en tensión del 100%.

9.2. Esfuerzos debidos al conductor de fase

Los resultados de los esfuerzos sobre las torres se muestran en la Tabla 27. Los resultados representan los esfuerzos verticales, transversales y longitudinales en los conductores de fase por cantón.

Tabla 27. Esfuerzos en los conductores de fase

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Cantón** | **H1[N] Vert. [daN]** | **H1 Trans. [daN]** | **H1 Long. [daN]** | **H2 Vert. [daN]** | **H2 Trans. [daN]** | **H2 Long. [daN]** | **H3 Vert. [daN]** | **H3 Trans. [daN]** | **H3 Long. [daN]** | **H4 Vert. [daN]** | **H4 Trans. [daN]** | **H4 Long. [daN]** |
| Cantón 1 | 481 | 2861 | 1888 | 1892 | 6715 | 4810 | 1890 | 6649 | 4765 | 1890 | 6649 | 1706 |
| Cantón 2 | 470 | 2861 | 0 | 1980 | 6715 | 0 | 1978 | 6649 | 4733 | 1978 | 6649 | 2366 |
| Cantón 3 | 571 | 971 | 0 | 2043 | 1325 | 0 | 2042 | 1312 | 4733 | 2042 | 1312 | 2366 |
| Cantón 4 | 571 | 1452 | 0 | 2053 | 2617 | 0 | 2052 | 2591 | 4717 | 2052 | 2591 | 2359 |
| Cantón 5 | 533 | 1452 | 1838 | 1951 | 2617 | 4810 | 1951 | 2591 | 4763 | 1951 | 2591 | 2292 |

9.3. Esfuerzos debidos al cable de tierra

Los resultados de los esfuerzos sobre las torres se muestran en la Tabla 28. Los resultados representan los esfuerzos verticales, transversales y longitudinales en los cables de tierra por cantón.

Tabla 28. Esfuerzos en los conductores de tierra

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Cantón** | **H1 Vert. [daN]** | **H1 Trans. [daN]** | **H1 Long. [daN]** | **H2 Vert. [daN]** | **H2 Trans. [daN]** | **H2 Long. [daN]** | **H3 Vert. [daN]** | **H3 Trans. [daN]** | **H3 Long. [daN]** | **H4 Vert. [daN]** | **H4 Trans. [daN]** | **H4 Long. [daN]** |
| Cantón 1 | 327 | 2803 | 1888 | 1618 | 6715 | 4810 | 1615 | 6649 | 4765 | 1615 | 6649 | 1706 |
| Cantón 2 | 316 | 2803 | 0 | 1698 | 6715 | 0 | 1696 | 6649 | 4733 | 1696 | 6649 | 2366 |
| Cantón 3 | 313 | 875 | 0 | 1657 | 1325 | 0 | 1655 | 1312 | 4733 | 1655 | 1312 | 2366 |
| Cantón 4 | 323 | 1357 | 0 | 1765 | 2617 | 0 | 1763 | 2591 | 4717 | 1763 | 2591 | 2359 |
| Cantón 5 | 310 | 1357 | 1838 | 1670 | 2617 | 4810 | 1669 | 2591 | 4763 | 1669 | 2591 | 2292 |