

CUSTOM  
*Logo*

# 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

## 2. EMPLAZAMIENTO

### 2.1. Localización

## 3. DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA AÉREA

## 4. CONSIDERACIONES GENERALES DE LA LÍNEA AÉREA

### 4.1. Condiciones medioambientales

### 4.2. Coordinación de aislamiento

### 4.3. Distancias mínimas

### 4.4. Distancias mínimas en los vanos

### 4.5. Distancias mínimas de seguridad

### 4.6. Resumen de las distancias mínimas

## 5. CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA

### 5.1. Cantones

### 5.2. Apoyos

### 5.3. Conductores

### 5.4. Cables de tierra

### 5.5. Aisladores

## 6. CÁLCULOS ELÉCTRICOS

### 6.1. Resistencia

### 6.2. Inductancia

### 6.3. Impedancia

### 6.4. Capacitancia

### 6.5. Resumen de los parámetros eléctricos

### 6.6. Factor de potencia

### 6.7. Caída de tensión

### 6.8. Efecto corona

### 6.9. Pérdidas

## 7. CÁLCULOS MECÁNICOS

### 7.1. Conductor

### 7.2. Esfuerzos

### 7.3. Aislador

### 7.4. Vanos

### 7.5. Catenarias

## 8. GEOMETRÍA DE LOS APOYOS

### 8.1. Descripción del apoyo

### 8.2. Geometría del apoyo

## 9. CÁLCULO DEL APOYO

- 9.1. Hipótesis
- 9.2. Esfuerzos debidos al conductor de fase
- 9.3. Esfuerzos debidos al cable de tierra

## 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/m <sup>3</sup>

### 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.

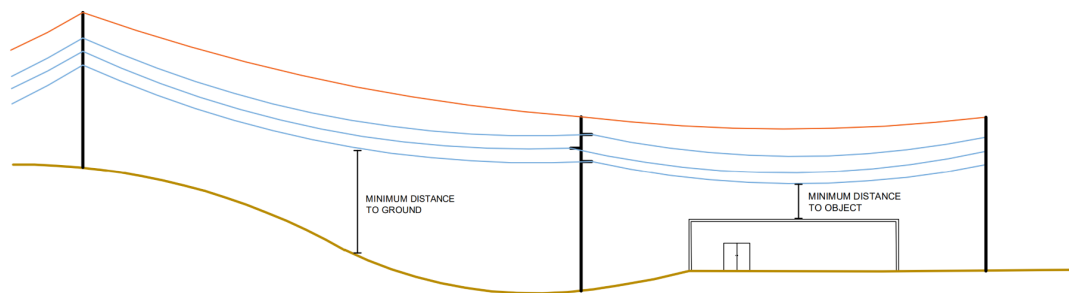


Figura 1. Distancias mínimas de seguridad

#### 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.

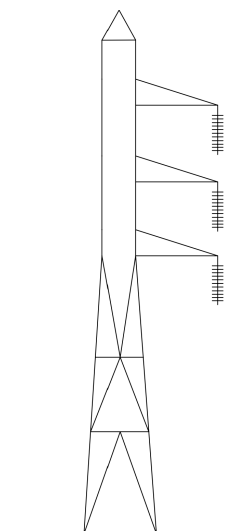


Figura 2. Ilustración del apoyo de la línea

### 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 cm <sup>2</sup>
Resistividad	0.03 $\Omega$ .mm
Elasticidad	67.7 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia [AC]	0.15 $\Omega$ /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 cm <sup>2</sup>
Coeficiente de expansión térmica	0.000016 °C <sup>-1</sup>
Elasticidad	10.9 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia [AC]	0.27 Ω/km
Capacidad de cortocircuito	213.70 kA <sup>2</sup> /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.

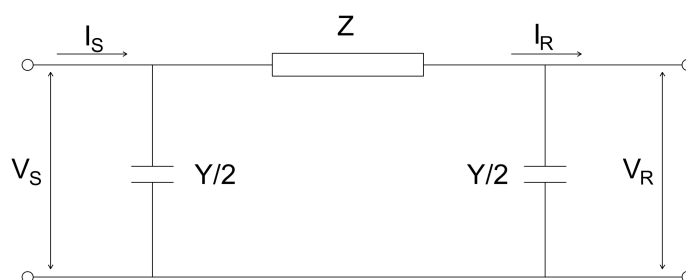


Figura 6. Modelo de PI

### 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  $20.73 \cdot 10^{-6}$  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 $\Omega$
Inductancia	0.010 H
Reactancia inductiva	3.20 $\Omega$
Impedancia de secuencia positiva	3.39 $\Omega$
Impedancia de secuencia cero	9.24 $\Omega$
Capacitancia	0.0660 $\cdot 10^{-6}$ F
Susceptancia	20.73 $\cdot 10^{-6}$ 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 cm <sup>2</sup>
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/m<sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup> 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.

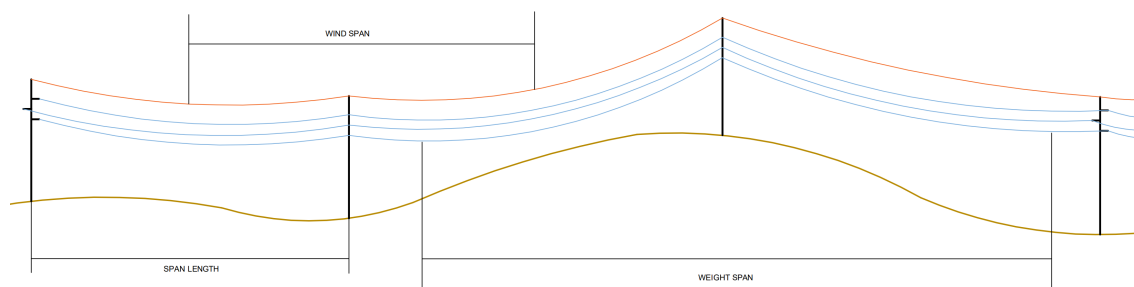


Figura 7. Ilustración de los tipos de vano

- *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 presentan 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 catenarias 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 en 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 catenarias 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. Catenarias 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

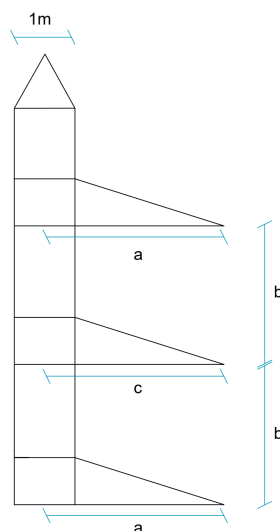


Figura 8. Ilustración de la geometría superior del apoyo



## 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/m<sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup>, 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/m<sup>3</sup>, 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